


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Агрофизический научно-исследовательский институт»



Материалы III международной  
научной конференции  
**«ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АГРОФИЗИКИ:  
ОТ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И  
РАСТЕНИЕВОДСТВА К ТЕХНОЛОГИЯМ  
БУДУЩЕГО»**


ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия  
14–15 сентября 2021 г.

Proceedings of the III International  
Scientific Conference  
**«TRENDS IN AGROPHYSICS: FROM URGENT TASKS  
IN THE FIELD OF AGRICULTURE AND CROP  
PRODUCTION TO ADVANCED TECHNOLOGIES»**

Agrophysical Research Institute,  
St. Petersburg, Russia  
September 14–15, 2021

Санкт-Петербург  
2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Агрофизический научно-исследовательский институт»



Материалы III международной  
научной конференции  
«ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АГРОФИЗИКИ:  
ОТ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И  
РАСТЕНИЕВОДСТВА К ТЕХНОЛОГИЯМ БУДУЩЕГО»  
ФГБНУ АФИ, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, РОССИЯ  
14-15 сентября 2021 г.

Proceedings of the III International  
Scientific Conference  
«TRENDS IN AGROPHYSICS: FROM URGENT TASKS IN  
THE FIELD OF AGRICULTURE AND CROP PRODUCTION  
TO ADVANCED TECHNOLOGIES»  
Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia  
September 14–15, 2021

Санкт-Петербург  
2021

Материалы III международной научной конференции **«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего»** ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия, 14–15 сентября 2021 г. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. – 531 с.

В сборнике представлены результаты научных исследований по широкому спектру проблем агрофизики, включающему влияние различных сельскохозяйственных мероприятий на физические, биохимические, микробиологические, гидрофизические и теплофизические свойства почв; выяснение механизмов регуляции и интерпретацию физиологических процессов в растительных системах различного уровня сложности в ходе онтогенеза и адаптации, механизмов устойчивости и продуктивности растений; изучение генетических, физиологических, биохимических механизмов действия стрессовых факторов на растения; применение новейших методов и технологий селекции растений, современных достижений в области идентификации и локализации эффективных аллелей генов и полигенных систем, контролирующих особенности морфологии и устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам важнейших сельскохозяйственных культур; использование математических методов, моделей продуктивности и анализа характеристик посевов, оценки состояния земельных ресурсов для оперативного управления ресурсным потенциалом регионов; использование наземных и дистанционных данных в решении управленческих и мониторинговых задач; применение информационных технологий и методов дистанционного зондирования в точном земледелии и мониторинге состояния агроэкосистем.

The proceedings of the Conference include the wide range of innovative and multidisciplinary research results related to agrophysics: soil-plant complex and agroecosystem investigations; crop production and soil fertility management; land quality assessment under climate change; mathematical modeling and information technology application in arable farming and agroecology; the development of modern genetic-selection approaches and methods for plant breeding; problems of agrophysical approaches in development and in control of agricultural technologies.

*Материалы даны в авторской редакции*

Ответственные за выпуск:

*Бучкина Н. П.*

*Гурова Т. А.*

---

## ПЛЕНАРНАЯ СЕКЦИЯ

---

### АГРОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМЕ АДАПТИВНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Ю. В. ЧЕСНОКОВ

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),  
Санкт-Петербург, [yuv\\_chesnokov@agrophys.ru](mailto:yuv_chesnokov@agrophys.ru)

**Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы агрометеорологических климатических рисков, развития агротехнологий как составной части адаптивных систем земледелия, а также современная концепция высокоточного земледелия и некоторые особенности сортовой агротехники и агроприемов. Показано, что несмотря на некоторый прогресс в макроклиматической дифференциации земледелия, остаются актуальными проблемы его адаптации к специфическим условиям климата Российской Федерации. В этой связи пространственная дифференциация земледелия должна сочетаться с адаптацией агротехнологий к динамике климатических характеристик, определяющих продукционные процессы сельскохозяйственных культур с учетом изменения климата. Современные агротехнологии представляют собой комплексы технологических операций по управлению продукционным процессом сельскохозяйственных культур в агроэкоценозах с целью получения планируемой урожайности и качества продукции при обеспечении экологической безопасности и определенной экономической эффективности. Особую роль в развитии передовых агротехнологий играет точное земледелие. Переход к дифференцированным адресным технологиям точного земледелия в настоящее время является одним из самых перспективных направлений развития сельскохозяйственного производства, поскольку открывает перед сельхозтоваропроизводителями новые возможности, особенно в плане обеспечения условий для получения большего количества экологически безопасных продуктов растениеводства. Однако, учитывая динамичность факторов внешней среды, лимитирующих величину и качество урожая в открытом грунте, которые обычно весьма велика, особое внимание следует оказывать сортовым агротехникам и агроприемам, при использовании которых можно регулировать находящиеся под агротехническим контролем факторы окружающей среды. Поскольку обязательным условием разработки сортовой агротехники и агроприемов является знание особенностей variability хозяйственно ценных признаков каждого генотипа, линии и сорта под влиянием как регулируемых, так и не регулируемых факторов внешней среды, особое значение приобретает разработка подходов и методов экспресс-оценки специфики адаптивных физиолого-генетических реакций культивируемых растений на уровне генотипов, линий, сортов, видов и агроценозов. Приводятся примеры некоторых предлагаемых ФГБНУ АФИ методов и подходов неинвазивной оценки в полевых и лабораторных условиях, которые могут быть использованы для диагностики физиологического статуса растений и принятия решений о необходимости оптимизации роста и развития растений, включая интенсивность и эффективность фотосинтеза, в условиях открытого и защищенного грунта. Предлагается разработка агроэкологического паспорта, призванного характеризовать специфику адаптивных и адаптирующих возможностей генотипа, линии или сорта, а также особенностей их возделывания в конкретных почвенно-климатических и погодных условиях. На основе изложенного в работе делается вывод о системе точного земледелия как передовой современной цифровой технологии, призванной повысить эффективность и рентабельность агропромышленного комплекса Российской Федерации в области производства растениеводческой продукции.

**Ключевые слова:** агроклиматология, сортовые агротехнологии и агроприемы, физиолого-генетические адаптивные реакции, агроэкосистемы, система точного земледелия, адаптивное земледелие.

### Введение

В современном мире существуют две стратегии уменьшения негативных для сельского хозяйства последствий глобального изменения климата. Одна из них – это стратегия смягчения, которая направлена на разработку мероприятий по уменьшению эмиссии парниковых газов и увеличения стока углерода в почве. Вторая, так называемая адаптивная стратегия, направлена на изменение менеджмента таким образом, чтобы извлечь выгоду из предоставляемых изменением климата возможностей, или минимизировать последствия изменений климата на перспективу или в будущем, например, подбор из числа существующих и создание новых сортов,

линий, генотипов устойчивых к неблагоприятным условиям произрастания как биотического, так и абиотического характера.

В настоящее время, несмотря на некоторый прогресс в макроклиматической дифференциации земледелия, остаются актуальными проблемы его адаптации к специфическим условиям климата Российской Федерации – низкой теплообеспеченности на севере, засушливости на юге с возрастающей континентальностью климата с запада на восток. Требуется продолжения и развития весьма трудная задача по адаптации земледелия к огромному разнообразию почвенно-климатических факторов, учитывая, что различия между природно-экологическими сельскохозяйственными зонами России по продолжительности вегетационного периода составляет от 50 до 190 дней, по сумме температур – от 1400 до 3600 градусов, а по коэффициенту увлажнения – от 1,33 до 0,24.

Важнейшим фактором, обуславливающим устойчивость адаптивного растениеводства, составной части адаптивного земледелия, к неблагоприятным погодным факторам, является плодородие почв, которое обоснованно считается главным условием эффективного использования адаптивного потенциала культивируемых видов растений, а также техногенных средств (сельскохозяйственной техники, удобрений и т.п.). Причем разрушение почвенного плодородия невозможно компенсировать за счет внесения высоких доз минеральных удобрений, применения орошения и др. На эродированных почвах сужается также выбор культивируемых видов растений, в том числе и культур, обладающих значительным потенциалом общей экологической устойчивости.

В этой связи пространственная дифференциация земледелия должна сочетаться с адаптацией агротехнологий к динамике климатических характеристик, определяющих продукционные процессы сельскохозяйственных культур с учетом изменения климата. Для оптимального роста и развития растений необходимо, чтобы эти характеристики совпадали с потребностью растений в различные периоды их индивидуального развития – фазы онтогенеза. Стрессовые условия, возникающие при перепадах температур и влажности воздуха, при внезапных суховеях и заморозках негативно влияют на продукционный процесс полевых культур и снижают устойчивость растений к вредным организмам. При этом потенциальное плодородие почв часто не совпадает с влаго- и теплообеспеченностью агроэкоценозов. Все это требует решения ряда задач по агроклиматической адаптации агротехнологий, в том числе развития имитационного математического моделирования продукционных процессов в агроэкоценозах и их регулирования с динамикой агроклиматических ресурсов и элементами их прогнозирования.

### **Управление климатическими рисками**

Общей оценкой результативности земледелия является климатически обеспеченная продуктивность. Так же, как и климат, этот показатель имеет вероятностно-статистический характер и сопряжен с рисками. Под риском в данном случае следует понимать вероятность возникновения экстремальных ситуаций, приводящих к недопустимо большим хозяйственным потерям. В этой связи, в зависимости от экстремальных ситуаций различают следующие виды агроклиматических рисков: (1) дефицит агроклиматических ресурсов (сумма температур, сумма осадков и т.п.); (2) ухудшение гидрологического и гидрогеологического режимов и опустынивание; (3) опасные агрометеорологические явления в ходе вегетации растений (засухи, суховеи, заморозки, зимние оттепели, шквалистые ветры, градобой, ливневые осадки, переувлажнение, затопления и другие природные явления абиотического характера); (4) болезни и вредители растений, а также иные явления биотического характера.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

В связи с возрастанием неустойчивости климата важны оценки вероятности рисков возникновения экстремально низких или, наоборот, высоких значений климатических показателей. Риск должен рассматриваться в качестве главного критерия хозяйственной значимости ожидаемых климатических изменений. Соответственно, сравнительная оценка рисков должна быть определяющим условием при выборе оптимальных стратегий адаптации земледелия к меняющимся климатическим условиям. Климатические риски смешиваются, дополняются, усугубляются разнообразными хозяйственными, социальными, экономическими и другими рисками, представляя крайне сложную систему для управления. На современном этапе развития сельского хозяйства основное условие преодоления или смягчения климатических рисков – введение адаптивных систем земледелия, предусматривающих: рациональное размещение сельхозугодий, видов и сортов возделываемых культур, выбор оптимальных севооборотов, сенокосно-пастбищных участков, строго приуроченных к агроэкологическим типам земель; оптимизацию систем обработки почвы по условиям влагонакопления и влагосбережения; дифференциацию мероприятий по защите растений в зависимости от погодных условий; оптимизацию систем удобрения по условиям устойчивости возделываемых культур к засухе, переувлажнению, полеганию и другим стрессам; регулирование водного режима агротехническими и гидротехническими средствами, а также другие агрофизические и мелиоративные мероприятия. В этой связи особую значимость приобретают агротехнологии, призванные повысить управляемость природными процессами и явлениями на сельскохозяйственных полях.

#### **Агротехнологии как составная часть адаптивных систем земледелия**

Современные агротехнологии представляют собой комплексы технологических операций по управлению продукционным процессом сельскохозяйственных культур в агроэкоценозах с целью получения планируемой урожайности и качества продукции при обеспечении экологической безопасности и определенной экономической эффективности. Агротехнологии связаны в единую систему управления продукционным процессом, но при этом они имеют индивидуальную направленность, определяемую прежде всего особенностями сорта или генотипа, поскольку каждому сортогенотипу соответствует своя система управления его продукционным процессом и структурная модель агроэкоценоза. Важнейшие принципы формирования агротехнологий включают: альтернативность и возможность выбора; адаптированность к природным условиям на основе агроэкологической и агрофизической оценки земель; динамический подход к созданию и управлению агроэкоценозами за счет последовательного устранения лимитирующих факторов; формирование блоков агротехнологий с учетом системных связей, выявляемых в многофакторных агрофизических и агроэкологических полевых экспериментах, и, конечно же, восприимчивость и внедряемость новейших научно-технических достижений. По сути, методология формирования агротехнологий заключается в последовательном преодолении факторов, лимитирующих урожайность сельскохозяйственной культуры и понижающих качество растениеводческой продукции. Количество агроэкологических лим-факторов зависит от сложности экологических и почвенно-климатических показателей и уровня планируемой урожайности, что и определяет, в конечном итоге, содержание агротехнологий.

По фактору интенсивности В.И. Кирюшин (1995) предложил различать четыре категории технологий: (1) экстенсивные технологии, ориентированные на использование естественного плодородия почв без применения удобрений и других химических средств или с очень ограниченным их использованием и применением толерантных сортов; (2) нормальные

технологии, обеспеченные минеральными удобрениями и пестицидами в том минимуме, при котором можно осваивать почвозащитные системы земледелия, поддерживать средний уровень окультуренности почв, устранять дефицит элементов минерального питания, находящихся в критическом минимуме и давать удовлетворительное качество продукции при использовании пластичных сортов сельскохозяйственных растений; (3) интенсивные технологии, рассчитанные на получение планируемого урожая высокого качества в системе непрерывного управления продукционным процессом возделываемой культуры, обеспечивающие оптимальное минеральное питание растений и защиту от вредных организмов и полегания, что предполагает применение интенсивных сортов и создание условий для более полной реализации их биологического потенциала; (4) высокоинтенсивные технологии, рассчитанные на достижение урожайности культуры, близкой с ее биологическому потенциалу, с заданными качествами продукции, с помощью современных достижений научно-технического прогресса при минимальных экологических рисках, при этом они ориентированы на использование прецизионной техники, современных препаратов, и информационных технологий. В целом высокоинтенсивные технологии представляют собой качественный скачок и в создании сортов, отзывчивых на агроприемы высоких агротехнологий, и в подготовке почвы, и в насыщении технологическими операциями ухода за посевами. В них достигается максимальная на сегодняшний день интеграция мероприятий с учетом их системного взаимодействия. Эти технологии следует осваивать в первую очередь в опытных и базовых хозяйствах специализированных научных учреждений, таких как, например, Агрофизический научно-исследовательский институт, который занимается вопросами разработки и внедрения систем высокоточного земледелия с 2002 года.

### **Современная концепция высокоточного земледелия**

Согласно В. П. Якушеву (2002), высокоточное (или просто точное) земледелие, как новая методология, в мире получило название precision agriculture, precision farming site-specific management, top-orienting computer aided farming и другие. На русском языке эту технологию называют высокоточным земледелием, детальным или точным сельским хозяйством, точным фермерством, земледелием по расписанию, аккуратным земледелием и т.д. Используют и другие термины для точного земледелия – сельское хозяйство, ориентированное на условия местообитания; полевые работы с учетом дробности условий; растениеводство с учетом локальной специфики и т.п. Смысл всех этих понятий один – дифференцированный и одновременно интегрированный процесс управление ростом и развитием растений в соответствии с их биологическими потребностями в условиях «цеха под открытым небом» (Жученко, 2009). Высокоточное земледелие предполагает использование компьютеров, информационных технологий, данных дистанционного активного и пассивного зондирования, робототехнических устройств, специальной сельскохозяйственной техники при обязательном мониторинге условий произрастания каждой сельскохозяйственной культуры.

По мере ухудшения почвенно-климатических и погодных условий в агроэкосистемах увеличивается расход не только естественной, но и невозполнимой энергии на каждую единицу растительной массы. Поэтому адаптивно-дифференцированное или, как его еще называют, высокоточное использование химико-техногенных факторов интенсификации растениеводства приобретает особо важное значение, обеспечивая:

1. Снижение мозаичности (по плодородию и другим показателям) поля с целью повышения величины и качества урожая;

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

---

2. Увеличение потенциальной урожайности и экологической устойчивости агроэкоценозов к нерегулируемым, в том числе и экстремальным физическим факторам внешней среды (засухам, морозам, короткому вегетационному периоду и др.) путем оптимизации водного и пищевого режима, снижения непроизводительных затрат исчерпаемых ресурсов и некоторых других факторов.

3. Агроэкологически дифференцированное, т.е. адресное применение техногенных средств (удобрений, мелиорантов, пестицидов, гербицидов и т.п.) и агротехнических приемов с учетом химических, физических, гидротермических и ландшафтно-топографических свойств почвы.

4. Учет адаптивных и адаптирующих особенностей культур и сортов растений (поглощение и использование NPK, водных запасов, отзывчивости на удобрения и мелиоранты и т.д.).

Необходимо отметить, что учет особенностей индивидуального роста и развития каждого вида и сорта растений в конкретных почвенно-климатических и погодных условиях лежит в основе сортовой агротехники, как неотъемлемой составляющей системы точного земледелия. В системе точного земледелия необходимо учитывать и последствие техногенных факторов как на культивируемые растения, так и на другие компоненты агроэкоценозов и агроэкосистем в целом. Показано, например, что внесение высоких доз азотных удобрений (Чесноков и др., 2012; Sitnikov et al., 2012), усиливая гидролитическую направленность обмена веществ в растениях (Гончарова и др., 2012, 2013; Чесноков и др., 2014), благоприятствует развитию ряда растительных насекомых и клещей (Жученко, 2010). Следовательно, каждый агротехнический прием следует разрабатывать с учетом его влияния на состояние экологического равновесия в агроэкосистеме в целом.

В системе высокоточного земледелия и сортовой агротехники, как интегрированной составляющей первого, учитывают феномен пространственной и временной изменчивости показателей почвенного плодородия и других условий роста и развития растений; оценивают различные способы измерения этих показателей и условий; выявляют и оконтуривают на местности, а также охарактеризовывают относительно агроэкологически однородные участки поля или севооборота; разрабатывают конкретные рекомендации для каждого хозяйства, участка, культуры и сорта.

Интегральная характеристика содержится в картах урожайности, характеризующих изменчивость величины и качества урожая в пределах поля за многолетний период. Карты урожайности составляют с помощью разного рода конкретных непосредственных характеристик при сборе урожая и привязывают их к местности с помощью системы позиционирования. Внесение удобрений осуществляется в точном соответствии с пестротой поля по плодородию. Многолетние наблюдения показывают, что границы определенной величины и качества урожая даже на одном поле меняются от года к году.

Ценную оперативную информацию о свойствах почв и состоянии посевов удастся получить по снимкам с беспилотных летательных аппаратов и спутников. При этом особенно отчетливо выявляются различия в обеспеченности посевов питательными веществами и влагой, а также данные о биомассе и интенсивности фотосинтеза растений. Вся информация относительно свойств почв и других условий роста и развития растений на отдельных участках поля собирается и обрабатывается с помощью геоинформационных систем (ГИС). Такого рода снимки могут передаваться в распоряжение хозяйств или отдельных пользователей, однако для их расшифровки могут понадобиться специальные компьютерные программы и многоцифровые электронные агротехнические карты, пользование которыми требует определенных навыков и умений. Следовательно, предлагаемая на сегодня технология точного земледелия строится на



основе использования высоких технологий и дорогостоящей техники, что требует очень больших вложений в научные исследования, технические разработки и их практическое внедрение в производство (Покровская, 2006).

Вместе с тем, как уже отмечалось выше, переход к высокоточному земледелию базируется как в целом, так и на уровне отдельных технологических операций на общеизвестных законах земледелия. Очевидно, например, что при этом необходимо учитывать действие закона «убывающего плодородия» или «непропорциональных прибавок урожая», в соответствии с которым:

i) каждое последующее преодоление максимального уровня урожайности, валового сбора, использования «лучших» земель становится все более дорогостоящим и экологически уязвимым;

ii) ускоряются темпы достижения предельного уровня эффективности факторов (освоения новых земель, насыщения техникой, применение удобрений, мелиорантов, пестицидов, переход порога допустимой антропогенной нагрузки и т.п.);

iii) в условиях бездотационного хозяйства для объективного покрытия неизбежного «удорожания» самого перехода к высокоточному земледелию важно обеспечить: (а) снижение затрат исчерпаемых ресурсов на каждую дополнительную единицу продукции; (б) размещение культур на «лучших» для них землях, т.е. агроэкологическое макро-, мезо- и микрорайонирование; и (в) оптимизацию видовой структуры посевных площадей и землепользования (адаптацию «до мельчайших подробностей» к местным почвенно-климатическим и погодным условиям, а также требованиям рынка).

В этой связи, для практики точного сельского хозяйства важно развивать интеллектуальные системы реализации агротехнологических решений, улучшать измерительные комплексы, программные средства контроля и прогнозирования состояния почвы, развития сорняков, болезней, вредителей и пр., последствий применяемых приемов (Якушев и др., 2020). Это, в свою очередь, требует продолжения углубленных фундаментальных исследований продукционного процесса растений, взаимодействий генотипа и среды, сортовых особенностей на современном генетико-селекционном уровне (Усков и др., 2017), и нахождения взаимосвязи внутрисистемных взаимоотношений «генотип-среда-технология воздействия» на цифровом уровне (Чесноков, 2019, 2020).

### **Некоторые особенности сортовой агротехники и агроприемов в системе высокоточного земледелия**

При разработке и реализации селекционно-генетических агротехнических программ и сортовой агротехники, особенно предназначенных для систем высокоточного земледелия, следует исходить из того, что создаваемые генотипы, линии и сорта должны возможно в меньшей степени зависеть от нерегулируемых факторов внешней среды и в то же время обладать высокой отзывчивостью на те факторы окружающей среды, которые находятся под агротехническим контролем и которые можно регулировать за счет сортовых агротехник и агроприемов. Динамичность факторов внешней среды, лимитирующих величину и качество урожая в открытом грунте, обычно весьма велика. С учетом комплексного действия факторов внешней среды на каждом этапе онтогенеза растений необходимо оптимизировать соотношение NPK, влажности и других показателей почвы с учетом возможных кумулятивных, синергических, компенсаторных и других эффектов взаимодействия различных эдафических факторов, определяющих плодородие почв. Кроме того, необходимо помнить, что каждая культура и сорт, а также адаптивно значимые и хозяйственно ценные признаки обладают

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

отзывчивостью (реакцией) на действие факторов внешней среды. Причем возможно изменение и коррелятивных связей между признаками. Следует также различать генетическую защищенность хозяйственно ценных признаков от действия стрессовых факторов («генотип доминирует над средой»), а также генетическую детерминированность отзывчивости на регулируемые факторы среды. И в то же время в каждом конкретном случае важно учитывать экономическую эффективность и экологическую оправданность техногенных затрат.

Сортовая агротехника и агроприемы, как правило, базируются на управлении модификационной изменчивостью растений, т.е. определяются спецификой адаптивных реакций каждого сорта, линии или генотипа на разных этапах его онтогенеза, а также характером корреляций (положительных и отрицательных) между компонентами потенциальной продуктивности и экологической устойчивости. По мере увеличения числа факторов внешней среды, регулируемых за счет агротехники и агроприемов необходимо создавать сорта с более высоким уровнем отзывчивости на эти факторы. Изучая характер адаптивных реакций адаптивных реакций разных сортов (генотипов), следует различать эквалентность независимых и функционально связанных признаков. При этом коэффициенты вариации и корреляции могут быть использованы в как селекции, так и при программировании урожаев сельскохозяйственных растений, включая разработку сортовой агротехники и агроприемов (Жученко, 1980).

Генетическая обусловленность специфики сортовой отзывчивости растений на агротехнические приемы была продемонстрирована еще в 1939 году в опытах Р.Н. Harvey (1939), показавшего, что способность разных сортов томата лучше усваивать нитратную или аммиачную форму азота контролируется определенным генным комплексом. Наиболее полно генетическая обусловленность различной отзывчивости культивируемых видов и сортов растений на удобрения (генетика минерального питания) раскрыта в работах Э.Л. Климашевского (Климашевский 1966, 1974; Климашевский, Спиваков, 1990) и О.И. Гамзиковой (Гамзикова, 1994; Гамзикова, Митракова, 2006). Установлено, что из более 200 генотипов злаковых и бобовых культур для 82% сортов коэффициент использования элементов питания составил 19–20% и только для 18% – 36–51%. Генотипическая дифференциация сортов проявляется в их разной отзывчивости как на преобладание в почве N или P, так и реакции на ту или иную форму азотного и фосфорного питания. Если агрохимически эффективные сорта обеспечивают прибавку урожая от действия туков на 97%, то агрохимически неэффективные – лишь на 22%. Считается, что сортовая специфика избирательности растений в отношении эффективного использования удобрений принадлежит, главным образом, корневым системам, поглотительная, экскреторная и метаболическая особенности которых генетически детерминированы (Климашевский, Спиваков, 1990).

Учитывая некоторую противоречивость и малочисленность литературных данных о генетических основах сортовой агротехники и агроприемов, мы в ФГБНУ АФИ провели серию опытов по установлению влияния различных факторов внешней среды на проявление ряда хозяйственно ценных признаков у яровой мягкой пшеницы в условиях поля (Чесноков и др., 2012) и в контролируемых условиях агроэкобиополигона (Чесноков и др., 2017, 2018, 2019). Полученные нами данные указывают на генотипическую специфику отзывчивости растений пшеницы на освещенность, температуру и азотное питание. Так, у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с использованием 114 рекомбинантных инбредных линий картирующей популяции ITMI, которая была получена от скрещивания яровой пшеницы Opata 85 с синтетическим гаплоидом W7984, выделенным при гибридизации *Triticum tauschii* (Coss.) Schmahlh. [syn. *Aegilops tauschii* Coss., *Aegilops squarrosa* auct. non L.] (образец CIGM86.940, DD) и тетраплоидной пшеницы Altar 84 (AABB), на разных агрофонах по азоту (без добавления, с

половинной и полной дозой азотного удобрения) в условиях поля и в контролируемых условиях агроэкобиополигона ФГБНУ АФИ были идентифицированы и картированы на различных группах сцепления в общей сложности более 220 QTL (quantitative trait loci), определяющих проявление изучаемых хозяйственно ценных признаков. Установлена достоверность взаимосвязи между идентифицированными локусами хромосом и полиморфизмом по тому или иному признаку. Корреляционный и однофакторный дисперсионный анализы позволили определить характер сопряженности связи между признаками и внесением азотного удобрения. По результатам QTL, корреляционного, а также одно- и двухфакторного дисперсионного анализов было установлено, что проявление части признаков статистически значимо варьировало, указывая на то, что их проявление зависит от того вносилось или нет азотное удобрение. Кроме того, в наших исследованиях впервые продемонстрирована зависимость физиологической активности генетических детерминант, определяющих проявление агрономически важных количественных признаков у гексаплоидной пшеницы, от дозы внесенных азотных удобрений в строго контролируемых условиях выращивания растений. Полученные результаты позволили выявить геномные районы, вовлеченные в реализацию метаболизма азота, включая признаки роста и урожайности у яровой мягкой пшеницы, что может позволить более точно выявлять локусы хромосом, особенно связанных с идентификацией и практическим переносом аллельных вариантов генетических детерминант, определяющих проявление физиологических хозяйственно значимых признаков, а в перспективе устанавливать отдельные этапы физиолого-генетических механизмов их реализации, что играет ключевую роль при создании генотипов, линий и сортов, отзывчивых на агротехнологии и агроприемы системы точного земледелия.

В экспериментах, проведенных нами в ФГБНУ АФИ, впервые были картированы QTL индексов диффузного отражения листовой пластинки, определяющих содержание хлорофилла, отношение каротиноидов к хлорофиллу, фотохимическую активность фотосинтетического аппарата, содержание антоцианов, меру рассеяния света листом, а также площади листовой ассимилирующей поверхности и показателей зерновой продуктивности у линий картирующей популяции ITMI яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), проявляющихся в контролируемых условиях регулируемой агроэкобиосистемы биополигона в отсутствии и при внесении азотного удобрения (Чесноков и др., 2019). По данным QTL анализа проявление всех изученных нами оптических показателей зависело от внесения азотного удобрения, что указывает на физиологическую роль привнесенного минерального азота, и на его влияние на физиологические показатели отражения листовой пластинки яровой гексаплоидной пшеницы. Помимо этого, было установлено, что ряд генов, контролирующих один и тот же или коррелирующие друг с другом признаки, могут быть сцеплены в блок или локализованы в разных группах сцепления или разных плечах хромосом, а их активация может контролироваться геном-координатором. Поэтому хромосомные локусы следует рассматривать не в качестве чисто механического сцепления генов, а как определенную степень их органического упорядочения, как группу функционально взаимосвязанных генов или как блоки коадаптированных генов. Но главное заключается в том, что QTL индексов диффузного отражения листовых пластинок совпали по своему месторасположению на группах сцепления с основными QTL, определяющими проявление роста и развития растений, что указывает на возможность использования показателей диффузного отражения листовых пластинок, применяемых в агротехнологиях точного земледелия, в качестве показателей физиолого-генетического состояния растений и указания зон генома на которые необходимо воздействовать агроприемами технологий системы точного земледелия. Кроме того, выявление и применение неинвазивных оптических методов позволяет с высокой пропускной способностью оценивать

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

интенсивность фотосинтетического аппарата растений и может быть использовано для эффективного отбора перспективных генотипов пшеницы при селекции по признаку зерновой продуктивности не только в контролируемых условиях агроэкобиополигона, но в перспективе и в полевых условиях. А наличие идентифицированных молекулярных маркеров, генетически сцепленных с выявленными QTL, предоставляет возможность целенаправленно, посредством маркер-вспомогательной селекции в совокупности с методами агрофизики и выращивания растений в регулируемых условиях агроэкобиополигона, создавать генотипы (линии, сорта) для их последующего использования в системе точного земледелия (Чесноков, 2018а,б, 2019, 2020.).

Такой подход был использован нами совместно с коллегами из ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка» с целью создания современных сортов яровой пшеницы, отвечающих требованиям современного производства, включая возможность адаптации новых сортов мягкой пшеницы для их использования в системе точного земледелия. В этой связи, ряд рекомбинантных инбредных линии популяции ITMI, прошедших отбор в контролируемых условиях агробиополигона ФГБНУ АФИ и оцененных с помощью неинвазивных оптических методов, были использованы для создания 17 гибридных комбинаций на базе лучших сортов яровой пшеницы селекции ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка». Исследования были направлены на изучение генетических и хозяйственно-ценных особенностей используемого материала и ускоренного создания на его основе современных сортов с показателями продуктивности и качества, соответствующими мировому уровню. Отобранный нами на базе ФГБНУ АФИ гибридный материал был передан в ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка» и размножен в 2018–2019 гг. в полевых условиях. Лучшие формы высеяны в 2020 году в питомнике конкурсного сортоиспытания, а по линиям 1/17, 2/17 и 7/17 были начато экологическое сортоиспытание (Давыдова и др., 2020). В 2021 году линия 2/17 прошла Государственное сортоиспытание, по результатам которого был получен и подана заявка на первый совместный ФГБНУ АФИ и ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка» современный российский сорт яровой мягкой пшеницы под названием «ФАИНА», не только отвечающий мировому уровню по показателям продуктивности и качества, но и обладающий определенной сортовой отзывчивостью растений на агротехнические приемы системы точного земледелия.

Рассматривая возможности экзогенной регуляции адаптивными реакциями растений за счет агротехнических приемов, важно учитывать также и то обстоятельство, что практически все приемы агротехники позволяют в большей мере регулировать рост и развитие растений на этапах вегетативного развития, чем репродуктивных процессов. Между тем именно генеративные органы растений в наименьшей степени защищены от действия экологических стрессоров. Поэтому в селекционно-агротехнических программах повышению устойчивости получаемых генотипов, линий и сортов на «критических» этапах онтогенеза должно быть уделено первостепенное внимание. Кроме того, особенно важна разработка сортовой агротехники для агроэкологически специализированных генотипов, линий и сортов, которые отличаются узкими пределами приспособленности к варьирующим условиям внешней среды. Причем величина и качество урожая таких сортов (линий, генотипов) варьирует сильнее, как правило, не только в результате погодных флуктуаций, но и в зависимости от уровня агротехники. Именно этим и объясняется ситуация, когда техногенно-интенсивные сорта оказываются менее урожайными по сравнению с местными сортами в неблагоприятных почвенно-климатических и погодных условиях, а также при ограниченных возможностях оптимизации условий внешней среды за счет удобрений, мелиорантов, пестицидов и т.д. В связи с этим крайне важно при разработке сортовой агротехники и агроприемов для каждого сорта, предназначенного для использования в системе точного земледелия, выявить специфику «критических» периодов онтогенеза, а также фазы наибольшей отзывчивости на регулируемые

факторы внешней среды. Такой подход позволит снизить генетико-селекционные риски и значительно повысить оптимизационную и регуляторную роль техногенных факторов.

Поскольку обязательным условием разработки сортовой агротехники и агроприемов является знание особенностей variability хозяйственно ценных признаков каждого генотипа, линии и сорта под влиянием как регулируемых, так и не регулируемых факторов внешней среды, особое значение приобретает разработка подходов и методов экспресс-оценки специфики адаптивных физиолого-генетических реакций культивируемых растений на уровне генотипов, линий, сортов, видов и агроценозов. Предлагаемые ФГБНУ АФИ методы и подходы неинвазивной оценки в полевых и лабораторных условиях могут быть использованы для диагностики физиологического статуса растений и принятия решений о необходимости оптимизации роста и развития растений, включая интенсивность и эффективность фотосинтеза, в условиях открытого и защищенного грунта (Чесноков и др., 2019; Чесноков, 2020; Якушев и др., 2020, Кулешова и др., 2020). Создание методологии комплексного неинвазивного оптического мониторинга состояния растительных объектов и автоматизированного цифрового управления производственным процессом, включая контроль качества формируемого семенного материала, для построения и реализации интеллектуальных систем в точном земледелии и селекции является той научно-практической задачей, над которой сотрудники ФГБНУ АФИ успешно работают на протяжении последнего десятилетия и которая фактически дает возможность перейти от картирования географическому к картированию генетическому. Важность именно экспресс-оценки характера адаптивных физиолого-генетических реакций районированных генотипов, линий и сортов связана не только со всевозрастающими темпами сортосмены (обычно каждые 5–10 лет), но и назревшей необходимостью разработки на основе такой экспресс-оценки и иной информации, включая цифровые данные, которую предоставляет на современном этапе система точного земледелия, агроэкологических паспортов таких генотипов, линий и сортов. По нашему мнению, основным документом, формализующим специфику сортовой агротехники и агроприемов, в том числе в системе точного земледелия, должен быть соответствующий агроэкологический паспорт, характеризующий специфику адаптивных и адаптирующих возможностей сорта (генотипа, линии), а также особенностей его возделывания в конкретных почвенно-климатических и погодных условиях. Кроме того, при оценке генотипов, линий и сортов, наряду с показателями урожайности, устойчивости к абиотическим и биотическим стрессорам, отзывчивости на удобрения, мелиоранты и другие факторы регулирования, в агроэкологическом паспорте следует приводить данные об их эквалентности и эквариантности, что, на наш взгляд, позволит обеспечить быстрое и адаптивное распространение наиболее ценных из них, совместно с агроприемами и агротехнологиями их возделывания.

Таким образом, обобщая все вышеизложенное можно заключить, что поскольку на территории Российской Федерации проходят границы возможного произрастания важнейших видов культурных растений, резко увеличивается необходимость дифференцированного использования почвенно-климатических, агрометеорологических, мелиоративных, топографических и других особенностей сельскохозяйственных угодий, а также адаптивного потенциала средоулучшающих возможностей возделываемых сортов и гибридов. Причем, чем ближе земледелие продвигается к полярной границе, тем важнее учитывать приспособительные возможности культур, экспозицию склонов, физический и химический состав и композицию почв, и другие агрофизические факторы внешней среды. Этим, собственно, и объясняется все возрастающая роль сортовой агротехники и агроприемов в системе точного земледелия – передовой современной цифровой технологии, призванной повысить эффективность и

рентабельность агропромышленного комплекса нашей страны в области производства растениеводческой продукции.

#### Список литературы / References

1. Гамзикова О.И. Генетика агрохимических признаков пшеницы. Новосибирск: СО РАСХН, 1994. 219 с.
2. Гамзикова О.И., Митракова А.Г. Генетический потенциал пшеницы по реакциям на условия калийного удобрения. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 153 с.
3. Гончарова Э.А., Ситников М.Н., Чесноков Ю.В. Физиолого-генетические аспекты изучения водного статуса растений в ВИРе // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 170. С. 92–100.
4. Гончарова Э.А., Чесноков Ю.В., Ситников М.Н. Ретроспектива исследований водного статуса культурных растений на базе коллекции генетических ресурсов ВИР // Труды Карельского научного центра РАН, 2013. № 3. С. 10–17.
5. Давыдова Н.В., Казаченко А.О., Широколава А.В., Резепкин А.М., Нардид В.А., Грачева А.В., Романова Е.С., Чесноков Ю.В., Мирская Г.В. Создание новых сортов яровой мягкой пшеницы с использованием нетрадиционного исходного материала // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Вклад агрофизики в решение фундаментальных задач сельскохозяйственной науки». Санкт-Петербург, 01–02 октября 2020 г. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. С. 92–100.
6. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений (адаптация рекомбиногенез, агробиоценоз). Кишинев: Штиинца, 1980. 587 с.
7. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика Т. II. М.: Изд-во Агрорус, 2009. С. 906–912.
8. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений как самостоятельная научная дисциплина: теория и практика. Краснодар: Просвещение – Юг, 2010. 430 с.
9. Кирюшин В.И. Методика разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур. М., 1995. 81 с.
10. Климашевский Э.Л. Физиологические особенности корневого питания разных сортов кукурузы в Нечерноземной зоне: очерки физиологии сорта. М.: Наука, 1966. 151 с.
11. Климашевский Э.Л. Проблема генотипической специфики корневого питания растений // Сорт и удобрения. Сб. науч. трудов. Иркутск, 1974. С. 11–54.
12. Климашевский Э.Л., Спиваков Н.С. Физиолого-генетический аспект поглощения фосфора растениями из труднодоступных соединений // Вестник с.-х. науки. 1990. № 7. С. 73–80.
13. Кулешова Т.Э., Черноусов И.Н., Удалова О.Р., Аникина Л.М., Хомяков Ю.В., Александров А.В., Середин И.С., Феофанов С.В., Щеглов С.А., Галль Н.Р., Панова Г.Г. Влияние спектральных особенностей световой среды на поглощение света листьями салата и его нетто-продуктивность // Биофизика. 2020. Т. 65. С. 112–124.
14. Покровская С.Ф. Разработка и внедрение технологии точного земледелия за рубежом // Техника и оборудование для села. 2006. № 2. С. 37–39
15. Усков И.Б., Якушев В.П., Чесноков Ю.В. Управление агробиологическими системами – физико-агрономические и генетико-селекционные аспекты (к 85-летию Агрофизического научно-исследовательского института) // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 3. С. 429–436.
16. Чесноков Ю.В. Генетические маркеры: сравнительная классификация молекулярных маркеров // Овощи России. 2018а. № 3. С. 11–15.

17. Чесноков Ю.В. Разновидности сцепления генетических маркеров с целевым геном и локусами хромосом // *Агрофизика*. 2018б. № 2. С. 40–45.
18. Чесноков Ю.В. Управление продукционным процессом посредством агрофизических, физиологических и молекулярно-генетических методов в системе точного земледелия // *Материалы II Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего»*, посвященной памяти академика Е. И. Ермакова. СПб, 2–4 Октября 2019. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2019. С. 8–19.
19. Чесноков Ю.В. QTL анализ и управление продуктивностью растений в системе точного земледелия // *Овощи России*. 2020. №4. С.12–19.
20. Чесноков Ю.В., Гончарова Э.А., Ситников М.Н., Кочерина Н.В., Ловассер У., Бёрнер А. Картирование QTL водного режима у яровой мягкой пшеницы // *Физиология растений*. 2014. Т. 61, № 6. С. 855–863.
21. Чесноков Ю.В., Гончарова Э.А., Почепня Н.В., Ситников М.Н., Кочерина Н.В., Ловассер У., Бёрнер А. Идентификация и картирование QTL физиолого-агрономических признаков яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в градиенте доз азотного питания // *Сельскохозяйственная биология*. 2012. № 3. С. 47–60.
22. Чесноков Ю.В., Канаш Е.В., Мирская Г.В., Кочерина Н.В., Русаков Д.В., Ловассер У., Бёрнер А. Картирование QTL индексов диффузного отражения листьев яровой гексаплоидной пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // *Физиология растений*. 2019. Т. 66, № 1. С. 46–57.
23. Чесноков Ю.В., Мирская Г.В., Канаш Е.В., Кочерина Н.В., Ловассер У., Бёрнер А. Картирование QTL у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в контролируемых условиях агроэкобиополигона // *Физиология растений*. 2017. Т. 64, № 1. С. 55–68.
24. Чесноков Ю.В., Мирская Г.В., Канаш Е.В., Кочерина Н.В., Русаков Д.В., Ловассер У., Бёрнер А. Идентификация и картирование QTL у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в контролируемых условиях агроэкобиополигона в отсутствии и при внесении азотного удобрения // *Физиология растений*. 2018. Т. 65, № 1. С. 52-65.
25. Якушев В.П. На пути к точному земледелию. СПб.: Издательство ПИЯФ РАН, 2002. 458 с.
26. Якушев В.П., Матвеевко Д.А., Петрушин А.Ф., Блохина С.Ю., Канаш Е.В., Якушев В.В. Новый метод количественной оценки внутриполевой изменчивости по оптическим характеристикам посевов для точного земледелия // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2020. № 2. С. 4–9.
27. Якушев В.П., Якушев В.В., Баденко В.Л., Матвеевко Д.А., Чесноков Ю.В. Оперативное и долгосрочное прогнозирование продуктивности посевов на основе массовых расчетов имитационной модели агроэкосистемы в геоинформационной среде // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. Т. 55, № 3. С. 451-467.
28. Harvey P.H. Hereditary variation in plant nutrition // *Genetics*. 1939. V. 24. P. 437-461.
29. Sitnikov M.N., Chesnokov Yu.V., Shumlaynskaya N.V. Genetic determination of the nitrogen supply of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2012. V. 8, No. 3. P. S14.

## **AGROPHYSICAL TECHNOLOGIES IN THE SYSTEM OF ADAPTIVE FARMING**

YU. V. CHESNOKOV

*Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, yuv\_chesnokov@agrophys.ru*

**Abstract.** The paper discusses the issues of agrometeorological climatic risks, the development of agricultural technologies as an integral part of adaptive farming systems, as well as the modern concept of high-precision farming and some features of varietal agricultural technology and agricultural practices. It is shown that despite some progress in the macroclimatic differentiation of agriculture, the problems of its adaptation to the specific climate

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

---

conditions of the Russian Federation remain relevant. In this regard, the spatial differentiation of agriculture should be combined with the adaptation of agricultural technologies to the dynamics of climatic characteristics that determine the production processes of agricultural crops, taking into account climate change. Modern agricultural technologies are complexes of technological operations for managing the production process of agricultural crops in agroecocenoses in order to obtain the planned yield and product quality while ensuring environmental safety and a certain economic efficiency. Precision agriculture plays a special role in the development of advanced agricultural technologies. The transition to differentiated targeted technologies of precision agriculture is currently one of the most promising areas for the development of agricultural production, since it opens up new opportunities for agricultural producers, especially in terms of providing conditions for obtaining more environmentally friendly crop products. However, given the dynamism of environmental factors limiting the size and quality of the harvest in the open field, which are usually very large, special attention should be paid to varietal agrotechnics and agricultural practices, when using which it is possible to regulate environmental factors under agronomic control. Since a prerequisite for the development of varietal agricultural techniques and agricultural practices is knowledge of the characteristics of the variability of economically valuable traits of each genotype, line and variety under the influence of both regulated and unregulated environmental factors, the development of approaches and methods for the rapid assessment of the specificity of adaptive physiological and genetic reactions cultivated plants at the level of genotypes, lines, varieties, species and agrocenoses. Examples of some methods and approaches for non-invasive assessment in field and laboratory conditions proposed by Agrophysical Research Institute are given, which can be used to diagnose the physiological status of plants and make decisions about the need to optimize plant growth and development, including the intensity and efficiency of photosynthesis, in open and protected ground. It is proposed to develop an agroecological passport, designed to characterize the specificity of the adaptive and adaptive capabilities of the genotype, line or variety, as well as the peculiarities of their cultivation in specific soil, climatic and weather conditions. Based on the foregoing, the paper concludes that the precision agriculture system is an advanced modern digital technology designed to increase the efficiency and profitability of the agro-industrial complex of the Russian Federation in the field of crop production.

**Keywords:** agroclimatology, varietal agricultural technologies and agricultural practices, physiological and genetic adaptive responses, agroecosystems, precision agriculture system, adaptive farming.



**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ, РЕАЛИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА РАСТЕНИЙ В РЕГУЛИРУЕМОЙ АГРОЭКОСИСТЕМЕ**

Г.Г. ПАНОВА<sup>1</sup>, О.Р. УДАЛОВА<sup>1</sup>, Е.В. КАНАШ<sup>1</sup>, А.М. АРТЕМЬЕВА<sup>2</sup>, К.Н. СЕМЕНОВ<sup>3</sup>, О.А. ШИЛОВА<sup>4</sup>, А.А. КОЧЕТОВ<sup>1</sup>, Н.Г. СИНЯВИНА<sup>1</sup>, Н.С. ПРИЯТКИН<sup>1</sup>, А.С. ГАЛУШКО<sup>1</sup>, Ю.В. ЧЕСНОКОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ), Санкт-Петербург, [granova@agrophys.ru](mailto:granova@agrophys.ru);

<sup>2</sup> ФГБНУ ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ФГБНУ ФИЦ ВИР), Санкт-Петербург;

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург;

<sup>4</sup> ФГБУН «Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук» (ИХС), Санкт-Петербург.

**Аннотация.** Приведена информация об основных результатах исследований. в регулируемой агроэкоосистеме, направленных на познание продукционного потенциала растений, формирование микроклиматических и агротехнических условий для его реализации и разработку генетико-селекционных подходов и методики по его повышению.

**Ключевые слова:** регулируемая агроэкоосистема, растения, продукционный потенциал, методология оптимизации условий, фитомониторинг, неинвазивная диагностика, генетико-селекционные подходы и методики.

## **Введение**

Как известно, весьма актуальное и необходимое для «умного» сельскохозяйственного производства выяснение потенциальных возможностей генотипа, линии, сорта, популяции растений формировать урожай в конкретных условиях наиболее эффективно, адекватно и информативно в регулируемой агроэкоосистеме, характеризующейся высокой степенью управляемости потоками вещества и энергии между окружающей средой и растениями с сопутствующей биотой, и где физическое моделирование почвенно-растительных систем и процессов в сочетании с возможностями круглогодичного интенсивного выращивания растений при широком варьировании свето-температурных условий, эдафических факторов является основой для получения знаний об особенностях продукционного процесса и о механизмах взаимодействия растений со средой обитания (Ермаков, 2009; Панова с соавт., 2020).

Исследования в указанном направлении, проводимые в Агрофизическом институте с начала его основания, продолжают и развиваются в научно-техническом и методологическом плане и в настоящее время. Уникальность подобных исследований в Агрофизическом институте состоит в его системном научном подходе и естественной междисциплинарности.

Целью данной работы является ознакомление с основными результатами исследований ФГБНУ АФИ, направленными на познание продукционного потенциала растений в регулируемой агроэкоосистеме, формирование микроклиматических и агротехнических условий для его реализации и разработку генетико-селекционных подходов и методов его повышения.

## **Объекты и методы исследования**

Исследования проводили на биополигоне ФГБНУ АФИ с регулируемыми условиями микроклимата. Для выращивания растений использовали оригинальные опытные образцы вегетационных светоустановок, включая ризотронную технику (Панова и др., 2015). Объектами исследований являлись широкий спектр сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. Растения выращивали в серии вегетационных экспериментов при варьировании условий

световой, корнеобитаемой и воздушной среды. Для неинвазивной интраскопической оценки свойств посевного семенного материала, диагностики физиологического состояния и биохимического состава вегетирующих растений, характеристик качества и безопасности получаемой растительной продукции, изменений биологических и химических свойств почв, почвозаменителей, особенностей поведения сопутствующих растениям микроорганизмов использовали физические методы экспресс-диагностики (рентгенографические, спектрофотометрические) (Kanash et al, 2013; Yakushev et al., 2017; Kanash et al, 2018), а также стандартные, общепринятые химические и микробиологические методы и др.

### **Результаты и обсуждение**

Для выяснения генетически обусловленного продукционного потенциала изучаемых растений проводятся исследования, направленные на решение вопросов многомерной оптимизации среды обитания растений и технологий их выращивания. Оптимизацию условий среды обитания осуществляют посредством определения благоприятного сочетания для растений значений параметров световой, воздушной и корнеобитаемой среды, включая состав последней, а также концентрационные соотношения элементов питания, его режим в регулируемых условиях агробиополигона, подбора и применения агротехнологических воздействий, обеспечивающих стабильность реализации продукционного потенциала растений. Для осуществления данной работы в Агрофизическом институте создан агробиополигон интенсивных исследований с регулируемыми условиями микроклимата и автоматизированным вегетационно-облучательным оборудованием различного типа, оснащенным системами жизнеобеспечения растений и информационно-измерительными системами фитомониторинга (Кулешова с соавт., 2020а; Панова с соавт., 2020). Результаты исследований по изучению влияния световой среды растений, в частности спектрального состава света, интенсивности светового потока, равномерности его распределения, режима и так далее описаны в работах (Кулешова с соавт., 2020b; Панова с соавт., 2020), корнеобитаемой, воздушной среды - в публикациях (Ермаков, 2009; Панова с соавт., 2020; Удалова с соавт., 2021а; 2021b и др.). Фитомониторинг на протяжении онтогенеза растений осуществляется неинвазивными методами, позволяющими оценить изменение водного статуса; ряда спектральных характеристик, дающих информацию об эффективности работы фотосинтетического аппарата растений (Yakushev, Kanash 2016; Yakushev et al., 2017, Kanash et al. 2018). Выявляются наиболее информативные признаки, тесно связанные с показателями продуктивности, что позволяет существенно ускорить процесс определения благоприятности значений для культивируемых растений воздействия того или иного фактора.

Среди оперативных агротехнологических факторов воздействия – применение в определенные фазы развития растений высокоэффективных экологически безопасных препаратов комплексного положительного влияния на растения позволит наиболее полно обеспечивать потребности растений в элементах питания, энергии и защите от различного рода стрессовых факторов. В институте проводится междисциплинарная исследовательская работа по созданию, изучению свойств и применению наносоставов на основе водорастворимых производных фуллерена C<sub>60</sub>, а также кремнезольных наноконпозиций. Определены наиболее эффективные их составы, концентрации, обеспечивающие положительное влияние на растения (Panova et al, 2016; Semenov et al., 2017; Шилова с соавт., 2018; Panova et al., 2019; 2021 и др.). Развитие данного направления позволит в будущем регулируемо обогащать растительную продукцию минорными микронутриентами, столь необходимыми для жизнедеятельности человеческого организма.

Интегральными характеристикам оптимальности условий и технологии выращивания растений наряду с показателями продуктивности являются качественные характеристики получаемой растительной продукции. Это определяемый стандартными биохимическими методами известный набор показателей по составу, содержанию веществ, а также интраскопические характеристики – у семенного материала, определяемые неинвазивными биофизическими методами. В ФГБНУ АФИ, начиная с 80-х годов прошлого столетия проводится работа по разработке специализированной аппаратуры и методов для рентгенсъемки с прямым рентгеновским увеличением семян, создана соответствующая технология контроля качества семян. Разработанный в последние годы неразрушающий метод экспресс-контроля (мягколучевая микрофокусная рентгенография с автоматизированным анализом рентгенограмм) семян различных сельскохозяйственных культур позволяет в считанные минуты оценивать в количественном выражении все скрытые в семенах дефекты (внутреннее прорастание, травмы зародыша, энзимо-микозное истощение, зараженность насекомыми-вредителями, развитие мицелия фитопатогенных грибов, пустозернистость (невыполненность) семени), а выявленные взаимосвязи и зависимости степени развития скрытого дефекта с показателями всхожести семян, силы роста проростков на ранних этапах развития растений (Прияткин с соавт., 2018; Архипов с соавт., 2019; и др.) дали возможность объективно судить об оптимальности условий и технологий выращивания растений. Данный метод лег в основу разработанного в нашем институте ГОСТ Р 59603-2021 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы цифровой рентгенографии» (ГОСТ Р 59603-2021, 2021). Наряду с этим при использовании партий семян от внешних источников экспресс-метод мягколучевой рентгенографии позволит оперативно дать рекомендации по целесообразности дальнейшего использования семян и осуществлять отбор качественных партий семян, что особенно важно для условий закрытых систем культивирования растений.

Полученные системные знания о реакции изучаемого генотипа, линии, сорта, популяции культурных растений на формируемые условия среды обитания и агротехнологические факторы воздействия, выявление на их основе и поддержание оптимальных сочетаний значений параметров указанных факторов жизнеобеспечения позволит растениям стабильно реализовывать свой продукционный потенциал, а также увидеть пути по его возможному повышению.

Для осуществления последнего в ФГБНУ АФИ разработана оригинальная селекционная методология получения новых форм с.-х. культур с прогнозируемым комплексом хозяйственно-ценных признаков, базирующаяся на теории эколого-генетической организации количественных признаков (ТЭГОКП) и методах изучения взаимодействия генотип-среда в регулируемой агроэкосистеме (Кочетов с соавт., 2012; 2019). Так, на основе оценки коллекций растений в светокультуре, поиска и выявления родительских сортов-источников селекционно ценных признаков созданы устойчивые к стеблеванию уникальные сорта редиса Петербургский фиолетовый и Петербургский розовый – первые в России сорта для светокультуры, с салатным типом листа, а также линии редиса с коротким периодом вегетации, превышающие по продуктивности лучшие из имеющихся сортов на 40-70%. Получены гибриды редиса и дайкона, способные формировать товарные корнеплоды массой 100 г и более за 45 суток вегетации при выращивании на малом объеме корнеобитаемой среды (Кочетов с соавт. 2019; Синявина с соавт., 2019).

Ускорение селекционного процесса можно достичь за счет использования современных агрофизических методов исследования растений, позволяющих определить и прогнозировать

эффективность реализации продукционного процесса у изучаемого генотипа, сорта, популяции растений, и методов маркер-вспомогательной селекции (MAS) (Чесноков с соавт., 2019)

## Выводы

Таким образом, получаемые в регулируемой агроэкосистеме знания о закономерностях и механизмах взаимодействия растений со средой обитания позволяют оптимизировать в соответствии с их потребностями значения параметров систем жизнеобеспечения и применяемые агротехнологии, и обеспечить тем самым с высокой вероятностью реализацию генетически обусловленного продукционного потенциала растений. Его повышение у растений становится возможным при применении разработанной нами оригинальной селекционной методологии получения новых форм сельскохозяйственных культур с прогнозируемым комплексом хозяйственно-ценных признаков,

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке Федерального бюджетного государственного научного учреждения «Агрофизический научно-исследовательский институт» из средств Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2021 годы, этап № 0667-2019-0013 и в части создания и изучения свойств биологически активных средств на основе наноматериалов и их композиций – при поддержке РФФИ №. 19-016-00003 А; №. 18-33-20238 мол\_а\_вел; №. 15-29-05837офи\_м, РНФ №. 19-13-00442.

## Список литературы / References

1. Архипов М.В., Потрахов Н.Н., Прияткин Н.С., Гусакова Л.П., Щукина П.А., Борисова Н.Р. Неинвазивные технологии экспресс-оценки и отбора биологически полноценных семян для выращивания растительной продукции в вегетационно-облучательном оборудовании нового типа. СПб: АФИ, 2019. 56 с.
2. ГОСТ Р 59603-2021 Семена сельскохозяйственных культур. Методы цифровой рентгенографии. М.: Российский институт стандартизации. 2021. 16 с.
3. Ермаков Е.И. Избранные труды. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2009. 192 с.
4. Kanash E.V., Panova G.G., Blokhina S.Yu. Optical criteria for assessment of efficiency and adaptogenic characteristics of biologically active preparations // Acta Horticulturae, 2013. № 1009. С. 37-44.
5. Kanash, E.V., Litvinovich, A.V., Kovleva, A.O., Osipov, Yu.A., Saljnikov, E. Grain production and optical characteristics in three wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties under liming and nitrogen fertilization // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya, 2018. 53(1). С. 61–71.
6. Кочетов А.А., Макарова Г.А., Мирская Г.В., Синявина Н.Г. // Агрофизика. 2012. № 1. С. 40-44.
7. Кочетов А.А., Синявина Н.Г. // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. №.1. С.29-33.
8. Кулешова Т.Э., Галль Н.Р., Удалова О.Р., Панова Г.Г. Многофункциональный комплекс датчиков для фитомониторинга в условиях интенсивной светокультуры // Агрофизика. 2020а. № 4. С. 33-39.
9. Кулешова Т.Э., Черноусов И.Н., Удалова О.Р., Аникина Л.М., Хомяков Ю.В., Александров А.В., Середин И.С., Феофанов С.В., Щеглов С.А., Галль Н.Р., Панова Г.Г. Влияние спектральных особенностей световой среды на поглощение света листьями салата и его нетто-продуктивность // Биофизика. 2020b. Т. 65. № 1. С. 112-124.

10. Panova G. G., Ktitorova I. N., Skobeleva O. V., Sinjavina N. G., Charykov N. A., Semenov K. N. Impact of polyhydroxy fullerene (fullerol or fullerenol) on growth and biophysical characteristics of barley seedlings in favourable and stressful conditions // *Plant Growth Regulation*. – 2016. – Vol. 79 (3). – P. 309–317. (Web of Science, Scopus). DOI 10.1007/s10725-015-0135-x
11. Panova G.G., Kanash E.V., Khomyakov Y.V., Shpanev A.M., Serebryakov E.B., Semenov K.N., Shemchuk O.S., Andrusenko E.V., Podolsky N.E., Sharoyko V.V., Charykov N.A., Dulneva L.L. Bioactivity study of the C60-L-threonine derivative for potential application in agriculture // *Journal of Nanomaterials*. – 2019. T. 2019. C. 2306518. <https://doi.org/10.1155/2019/2306518> (WoS; Scopus)
12. Панова Г.Г., Удалова О.Р., Канаш Е.В., Галушко А.С., Кочетов А.А., Прияткин Н.С., Архипов М.В., Черноусов И.Н. Основы физического моделирования «идеальных» агроэкосистем // *Журнал технической физики*. 2020. Т. 90. № 10. С. 1633-1639.
13. Panova G.G., Zhuravleva A.S., Khomyakov Yu.V., Vertebnyi V.E., Ageev S. V., Petrov A.V., Podolsky N.E., Morozova E.I., Sharoyko V.V., Semenov K.N. Plant impact properties of carboxylated fullerene C<sub>60</sub> [C(COOH)<sub>2</sub>]<sub>3</sub> // *Journal of Molecular Structure*, 2021. 1235 (2021) 130163. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130163> (WoS)
14. Semenov K.N., Meshcheriakov A.A., Charykov N.A., Panova G.G., Kanash E.V., Khomyakov Y.V. and other. Physico-chemical and biological properties of C<sub>60</sub>-l-hydroxyproline water solutions // *RSC Advances*. – 2017. – 7(25), P. 15189-15200. DOI: 10.1039/C6RA26621E
15. Прияткин Н.С., Архипов М.В., Гусакова Л.П., Потрахов Н.Н., Кропотов Г.И., Цибизов И.А., Винеров И.А. Интроскопические методы исследования качества семенного материала: состояние проблемы и перспективы использования// *Агрофизика*. 2018. № 2. С.29-39.
16. Синявина Н.Г., Кочетов А.А., Хомяков Ю.В., Конончук П.Ю., Вертебный В.И., Дубовицкая В.И., Ткачева А.Ю. // *Овощи России*. 2019. №3. С. 35-39.
17. Удалова О.Р., Аникина Л.М., Хомяков Ю.В., Вертебный В.Е., Дубовицкая В.И., Панова Г.Г. Влияние тонкослойных аналогов почвы на продукционный процесс растений салата в интенсивной светокультуре // *Овощи России*. 2021a. № 1. С. 33-38.
18. Удалова О.Р., Аникина Л.М., Мирская Г.В., Конончук П.Ю., Панова Г.Г. Малообъемная и тонкослойная панопоника в интенсивной светокультуре огурца: основы и результаты применения // *Овощи России*. 2021b. № 2. С. 39-44.
19. Чесноков Ю.В., Кочерина Н.В., Косолапов В. М. Молекулярные маркеры в популяционной генетике и селекции культурных растений. – М.: ООО «Угрешская Типография», 2019. 200 с.
20. Шилова О.А., Хамова Т.В., Панова Г.Г., Аникина Л.М., Артемьева А.М., Корнюхин Д.Л. Использование золь-гель технологии для обработки семян ячменя // *Физика и химия стекла*. 2018. Т. 44. № 1. С. 39-47. <https://link.springer.com/journal/10720>
21. Yakushev V.P., Kanash E.V. Evaluation of wheat nitrogen status by colorimetric characteristics of crop canopy presented in digital images // *Journal of Agricultural Informatics* 2016 Vol. 7, No. 1. P. 65-74.
22. Yakushev V., Kanash E., Rusakov D., Blokhina S. Specific and non-specific changes in optical characteristics of spring wheat leaves under nitrogen and water deficiency // *Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA) 2017*, (2017), 8:2, pp 229–232 © The Animal Consortium 2017. doi:10.1017/S204047001700053X

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL BASES FOR ASSESSMENT, REALIZATION AND INCREASING THE  
PRODUCTION POTENTIAL OF PLANTS IN A REGULATED AGROECOSYSTEM**

G. G. PANOVA<sup>1</sup>, O.R. UDALOVA<sup>1</sup>, E. V. KANASH<sup>1</sup>, A.M. ARTEM'EVA<sup>2</sup>, K.N. SEMENOV<sup>3</sup>, O.A. SHILOVA<sup>4</sup>,  
A.A. KOCHETOV<sup>1</sup>, N.G. SINYAVINA<sup>1</sup>, N.S. PRIYATKIN<sup>1</sup>, A.S. GALUSHKO<sup>1</sup>, Yu.V. CHESNOKOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, gpanova@agrophys.ru;*

<sup>2</sup> *Federal Research Center the Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources,  
St. Petersburg, Russia;*

<sup>3</sup> *Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia;*

<sup>4</sup> *Institute of Silicate Chemistry of RAS (ICHS), St. Petersburg, Russia.*

**Annotation.** Information on the main research results is provided. in a regulated agroecosystem, aimed at understanding the production potential of plants, the formation of microclimatic and agrotechnical conditions for its implementation and the development of genetic-selection approaches and methods to increase it.

**Keywords.** Regulated agroecosystem, plants, production potential, methodology for optimizing conditions, phytomonitoring, non-invasive diagnostics, genetic and breeding approaches and methods.

## **ВЛИЯНИЕ БИОУГЛЯ НА ВОДОУДЕРЖИВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ**

Т. В. АБРАМОВА, Н. П. БУЧКИНА

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),

Санкт-Петербург, [tv\\_ardasheva@mail.ru](mailto:tv_ardasheva@mail.ru), [buchkina\\_natalya@mail.ru](mailto:buchkina_natalya@mail.ru)

**Аннотация.** Целью данного исследования явилось изучение влияния биоугля на основную гидрофизическую характеристику дерново-подзолистой супесчаной почвы, а также фитотестирование водной вытяжки для оценки влияния биоугля на почву.

**Ключевые слова.** Биоуголь, дерново-подзолистая супесчаная почва, фитотоксичность, основная гидрофизическая характеристика.

### **Введение**

Биоуголь представляет собой пористое вещество с высоким содержанием углерода с различными функциональными группами. Соответственно, внесение биоугля в сельскохозяйственные почвы стало возможной стратегией для повышения водоудерживающей способности почв, их качества, стабильности органического вещества почв. Внесение биоугля в почвы может также способствовать удержанию питательных веществ, связыванию органического углерода и сокращению выбросов парниковых газов. Кроме того, биоуголь может влиять на микробиологические свойства почвы, включая микробную активность и микробное разнообразие (Kuo et al., 2020).

К настоящему времени проведены многочисленные исследования воздействия биоугля на свойства почв. Внесение биоугля в целом способствует увеличению водоудерживающей способности и пористости почв, емкости катионного обмена, урожая культур (Бучкина и др., 2017).

Главным интегральным показателем изменения свойств почв после внесения биоугля являются все же рост и развитие растений. Данные о воздействии биоугля на продуктивность растений противоречивы. Имеются данные и об увеличении, и об уменьшении урожайности. Поэтому главным положительным моментом можно считать отсутствие токсического эффекта (Кулагина и др., 2017).

Вместе с тем, вопросы о перспективах широкого применения биоугля в качестве мелиоранта до сих пор остаются открытыми, что объясняется существованием противоречивых данных о его влиянии на свойства почв.

### **Объекты и методы исследования**

#### **Фитотоксичность**

Верхний пахотный горизонт (0-23 см) дерново-подзолистой супесчаной почвы Меньковского филиала ФГБНУ АФИ был использован в эксперименте. Почва была высушена и просеяна. Модельной средой для экстракции химических веществ из почвы являлась дистиллированная вода с начальным уровнем pH = 6,1. В эксперименте использовали мелкую фракцию (<1 мм) биоугля, полученного из древесины широколиственных деревьев, и комплексное минеральное удобрение (120 кг N га<sup>-1</sup>, 135,2 кг P га<sup>-1</sup>, 259 кг K га<sup>-1</sup>).

Эксперимент включал восемь вариантов: К – контроль (дистиллированная вода); П – контрольная почва; Б – биоуголь; ПБ10 – почва + биоуголь (10 т га<sup>-1</sup>); ПБ20 – почва + биоуголь (20 т га<sup>-1</sup>); ПУ – почва + удобрение (120 кг N га<sup>-1</sup>, 135,2 кг P га<sup>-1</sup>, 259 кг K га<sup>-1</sup>); ПБУ10 – почва +

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

биоуголь ( $10 \text{ т га}^{-1}$ ) + удобрение ( $120 \text{ кг N га}^{-1}$ ,  $135,2 \text{ кг P га}^{-1}$ ,  $259 \text{ кг K га}^{-1}$ ); ПБУ20 – почва + биоуголь ( $20 \text{ т га}^{-1}$ ) + удобрение ( $120 \text{ кг N га}^{-1}$ ,  $135,2 \text{ кг P га}^{-1}$ ,  $259 \text{ кг K га}^{-1}$ ).

Готовили водную вытяжку «почва/экстрагент» - 1:5, «биоуголь/экстрагент» - 1:25, там, где по схеме опыта необходимо, добавляли удобрение. Водную вытяжку подвергали 2-часовому встряхиванию и фильтрованию через фильтр "синяя лента".

Экспериментальные исследования проводились в два этапа.

1 этап – проверка семян на всхожесть (100% всхожесть). При определении процента всхожести, субстратом для проращивания семян служила дистиллированная вода, которая вносилась на фильтр в объеме  $5 \text{ см}^3$ . Закрытые чашки термостатировались при  $23^\circ\text{C}$  в течение 3 суток, после чего подсчитывалась процентная доля проросших семян.

2 этап – основной опыт, имеет целью установление параметров фитотоксичности. В основном опыте тестировались варианты опыта.

В стерильные чашки Петри вкладывали фильтровальную бумагу, чашки маркировали. В каждую чашку помещали по 20 сухих здоровых семян кресс-салата, всхожесть которых составляла 100%.

В опытные чашки вносили по  $5 \text{ см}^3$  экстракта каждого варианта. Все образцы помещались в термостат на 7 суток.

По истечении срока экспозиции измерялась длина корней проростков в контрольных и опытных пробах, причем объектом измерения у каждого семени являлся корень максимальной длины.

#### **Основная гидрофизическая характеристика**

Исследования проводили после окончания долгосрочного лабораторного эксперимента в регулируемой агроэкосистеме. Опыт проводился в 4-кратной повторности и включал два варианта: почва + пшеница (Пп); почва + биоуголь  $20 \text{ т га}^{-1}$  + пшеница (ПБп).

Для измерения ОГХ образцы почв отбирали с помощью режущих цилиндров из вегетационных сосудов, в которых в течение двух месяцев проводили лабораторный эксперимент.

На водонасыщенную керамическую пластину ставили предварительно насыщенные водой образцы почвы в кольцах из нержавеющей стали. Мембранный пластинный пресс собирали и задавали определенное давление (стандартные ступени давления: 5, 10, 30, 50, 100, 300 кПа). Каждое давление поддерживали до того момента, когда вытекание воды из почвы через выводную трубку прекратится, взвешивали образцы. После завершения эксперимента мембранный пресс разбирали, а образцы высушивали в сушильном шкафу при  $105^\circ\text{C}$  для определения влажности почвы. По полученным данным строят отрезок кривой водоудерживания в интервале от 0 до – 300 кПа.

#### **Результаты и обсуждение**

Результаты нашего эксперимента показали, что биоуголь положительно влиял на морфологию кресс-салата. В вариантах опыта почва + биоуголь ( $10 \text{ т га}^{-1}$ ,  $20 \text{ т га}^{-1}$ ) побеги и корни кресс-салата были крупными и сочными относительно контроля, а в вариантах опыта почва + биоуголь ( $10 \text{ т га}^{-1}$ ,  $20 \text{ т га}^{-1}$ ) + удобрение – побеги и корни были очень тонкие.

Проведенные нами исследования показали, что длина корешков кресс-салата при применении водной вытяжки из биоугля и почвы не уменьшалась, а увеличивалась по сравнению с контролем, можно говорить об эффекте биостимуляции, однако разница с контролем была недостоверной (рис. 1). На длину корешков наибольшее и статистически доказанное действие оказала вытяжка из биоугля. В этом варианте опыта длина корешков была



в среднем на 2,2 см больше, чем в контроле, то есть увеличилась примерно на 29%. Статистически доказанный эффект торможения был выявлен в варианте почва + биоуголь, 20 т га<sup>-1</sup> + удобрение (120 кг N га<sup>-1</sup>, 135,2 кг P га<sup>-1</sup>, 259 кг K га<sup>-1</sup>).

Наши результаты согласуются с данными Кулагиной и др. (2017), которые отмечали, стимулирующий эффект при неких средних дозах внесения биоугля в почву, а не при максимальных. В нашем случае, удобрение при максимальной дозе биоугля, негативно сказалось на росте корней. Также наши результаты свидетельствуют, что водная вытяжка из биоугля не оказывает токсического действия на кресс-салат.

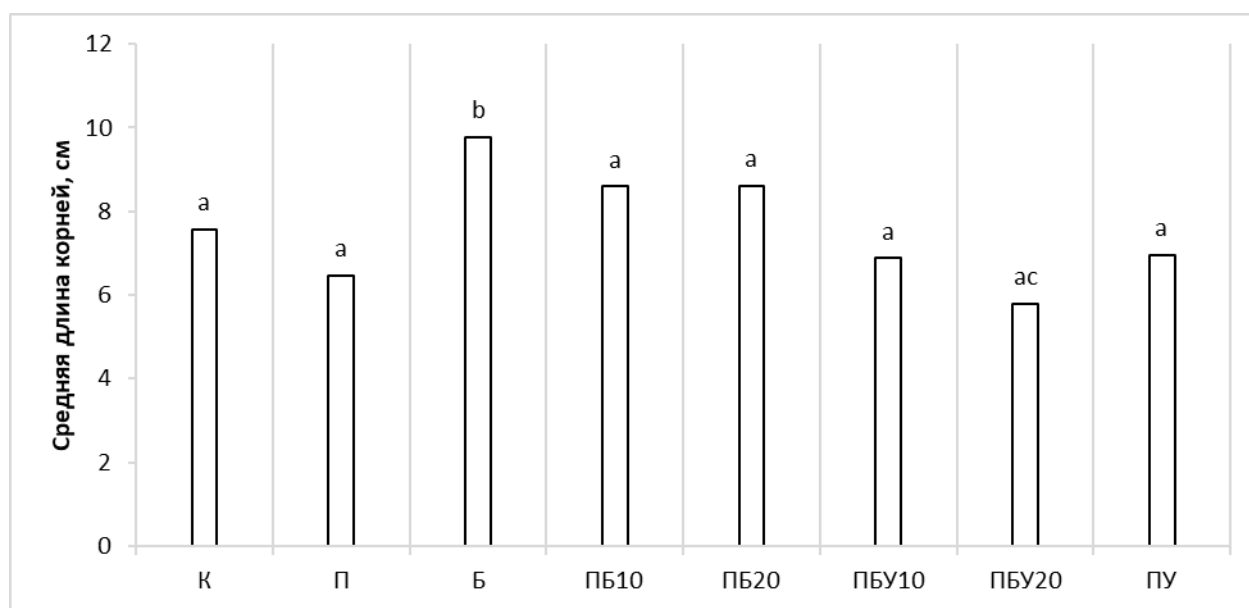


Рис. 1. Значения средних длин корней: К – контроль (дистиллированная вода); П – почва; Б – биоуголь; ПБ10 – почва+биоуголь, 10 т га<sup>-1</sup>; ПБ20 – почва + биоуголь, 20 т га<sup>-1</sup>; ПУ – почва + удобрение (120 кг N га<sup>-1</sup>, 135,2 кг P га<sup>-1</sup>, 259 кг K га<sup>-1</sup>); ПБУ10 почва + биоуголь, 10 т га<sup>-1</sup> + удобрение (120 кг N га<sup>-1</sup>, 135,2 кг P га<sup>-1</sup>, 259 кг K га<sup>-1</sup>); ПБУ20 – почва + биоуголь, 20 т га<sup>-1</sup> + удобрение (120 кг N га<sup>-1</sup>, 135,2 кг P га<sup>-1</sup>, 259 кг K га<sup>-1</sup>). Результаты с одной и той же буквой достоверно не отличались при  $p < 0.05$

Водоудерживающую способность почвы, а также изменение этой способности после внесения биоугля оценивали по ОГХ образцов почв с ненарушенным сложением после окончания вегетационного лабораторного эксперимента.

Результаты исследования показали, что влажность исходной почвы в диапазоне потенциалов влаги от –5 до –300 кПа изменялась от 20.4 до 13.3%, а влажность почвы при внесении в нее биоугля в дозе 20 т га<sup>-1</sup> – от 40.2 до 29.9% (рис. 2).

Было установлено, что наибольшее количество влаги достоверно ( $p < 0.05$ ) удерживали образцы почвы с биоуглем при потенциале влаги –5 кПа, –10 кПа. По мере уменьшения потенциала влаги до –300 кПа достоверные различия не наблюдались.

Результаты соотносятся с данными других авторов (Mukhina et.al, 2019; Рижия и др., 2015) – биоуголь благодаря своей пористой структуре и высокой площади поверхности повышает водоудерживающую способность почвы в интервале доступной растениям влаги.

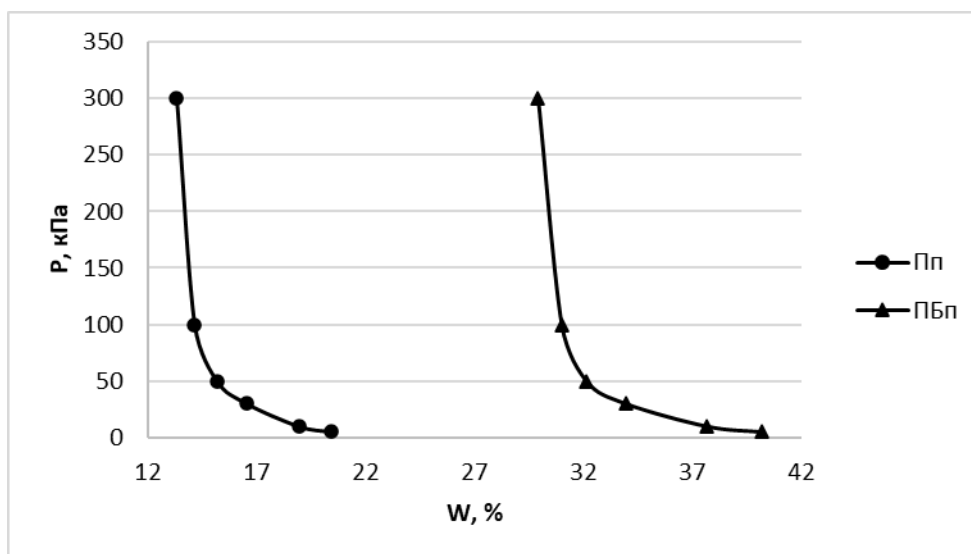


Рис. 2. Основная гидрофизическая характеристика:  
Пп – почва + пшеница; ПБп – почва + биоуголь, 20 т га<sup>-1</sup> + пшеница

## Выводы

Результаты эксперимента показали, что применение биоугля повышает водоудерживающую способность почвы в интервале доступной растениям влаги.

Водная вытяжка из биоугля не оказывает токсического действия на проростки растений, стимулирующий эффект может проявляться при средних дозах внесения угля в почву, удобрение при максимальной дозе биоугля (20 т га<sup>-1</sup>) негативно сказалось на росте корней.

## Список литературы / References

- Бучкина Н.П., Балашов Е.В., Шимански В., Игаз Д., Хорак Я. Изменение биологических и физических параметров почв разного гранулометрического состава после внесения биоугля // Сельскохозяйственная биология. 2017. Том 52, №3. С. 471–477.
- Кулагина В. И., Грачев А. Н., Рязанов С. С., Сунгатуллина Л. М. Фитотестирование как основа интегральной оценки почв после внесения биоугля // Химия и инженерная экология. 2017. С. 299–301.
- Кулагина В.И., Григорьян Б.Р., Грачев А.Н., Рязанов С.С., Кольцова Т.Г. Фитотестирование водной вытяжки как биологический метод интегральной оценки влияния биоугля на почву // Вестник технологического университета. 2017. Т.20, №14. С. 128–131.
- Рижия Е.Я., Бучкина Н.П., Мухина И.М., Белинец А.С., Балашов Е.В. Влияние биоугля на свойства образцов дерново-подзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности (лабораторный эксперимент) // Почвоведение. 2015. № 2. С. 211–220.
- Kuo Y-L, Lee C-H, Jien S-H. Reduction of nutrient leaching potential in coarse-textured soil by using biochar // Water 2020, 12 (7): 2012. doi.org/10.3390/w12072012.
- Mukhina I.M., Rizhiya E.Y., Buchkina N.P., Balashov E.V. Changes in soil conditions after application of biochar // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 368. 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/368/1/012037.

**THE EFFECT OF BIOCHAR ON THE WATER-HOLDING CAPACITY AND PHYTOTOXICITY OF SOD-  
PODZOLIC SANDY LOAM SOIL**

T. V. ABRAMOVA, N. P. BUCHKINA

*Agrophysical Research Institute,*

*St. Petersburg, Russia, tv\_ardasheva@mail.ru, buchkina\_natalya@mail.ru*

**Abstract.** The purpose of this experiment was to study the effect of biochar on the water holding capacity of sod-podzolic sandy loam soil, as well as phytotoxicity of biochar to assess the effect of biochar on the soil.

**Keywords.** Biochar, sod-podzolic sandy loam soil, phytotoxicity, water retention.

## ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ПОЧВ НА ПРИМЕРЕ КОНТРАСТНЫХ ГОРИЗОНТОВ МЕЛОВОГО ПОЧВЕННОГО КОМПЛЕКСА

Т. А. АРХАНГЕЛЬСКАЯ<sup>1</sup>, Д. Г. ПОЛЯКОВ<sup>2</sup>, Р. Ф. АЛЬБЕРТ<sup>1</sup>, А. Г. РЯБУХА<sup>2</sup>, И. В. КОВДА<sup>3</sup>

<sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, *arhangelskaia@gmail.com*;

<sup>2</sup> Институт степи УрО РАН, Оренбург, *polakovdg@yandex.ru*;

<sup>3</sup> Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, *ikovda@mail.ru*

**Аннотация.** Проведено сопоставление значений температуропроводности почвы, полученных методом регулярного режима и двумя расчетными методами, первый из которых основан на первом законе Фурье для температурных волн, а второй – на уравнении Фурье для стационарного потока тепла.

**Ключевые слова.** Температура почвы, амплитудный метод, метод регулярного режима.

### Введение

Современные методы определения температуропроводности почв можно разделить на две группы. Первая группа – лабораторные методы, к которым относится метод регулярного режима, а вторая – методы полевые. Преимуществом лабораторных методов является возможность контролировать влажность почвы при проведении измерений, а при необходимости повторить эксперимент. Недостаток этих методов обусловлен ограниченным размером лабораторных образцов. Границы образца служат препятствием для пародиффузионного переноса тепла, что приводит к занижению измеряемой температуропроводности почвы. Кроме того, зачастую при отборе лабораторных образцов в той или иной степени нарушается структура почвы: даже при отборе ненарушенных монолитов почва может слегка уплотняться, а при набивке измерительной капсулы насыпным материалом меняется структура почвы и строение внутрпочвенного порового пространства. Полевые методы, к которым относятся, с одной стороны, непосредственные измерения температуропроводности с помощью зондов, а с другой, ее расчетное определение по данным о динамике температуры почвы на различных глубинах, свободны от этих недостатков. Однако при этом полученные значения полевой температуропроводности часто нельзя соотнести с влажностью почвы, данные по которой отсутствуют. Общая проблема и лабораторных, и полевых методов – это допустимость использования расчетных формул, связанная со степенью выполнения на практике тех условий, для которых эти формулы были выведены. В связи с этим зачастую возникает проблема выбора наиболее подходящего метода.

Целью работы является сопоставление результатов определения температуропроводности почвы, полученных (1) методом регулярного режима и (2-3) двумя расчетными методами, один из которых основан на первом законе Фурье для температурных волн, а другой – на уравнении Фурье для стационарного потока тепла.

### Объекты и методы исследования

Объект исследования – контрастные горизонты почвы мелового полигона в Оренбургской области (51°08'10"N, 55°37'16"E): гумусированный гор. AC@ и залегающий под ним криометаморфизированный мел R'@ (табл. 1). Почва классифицирована по WRB как Regosol.

Таблица 1. Свойства исследованных образцов почвы (Поляков и др., 2021)

Гор.	Глубина, см	Содержание фракций, %; размер частиц, мм						$\rho_b$ , г/см <sup>3</sup>	C <sub>орг</sub> , %	CaCO <sub>3</sub> , %
		>3	1-3	1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,001	<0,001			
AC@	15-25	2	1	6	18	51	22	1,18	0,8	79,0
R'@	35-45	29	3	8	7	42	11	1,48	0	92,7

Температуру почвы измеряли с октября 2019 по июнь 2020 г., используя автономные регистраторы температуры TR-2L с разрешающей способностью преобразователя 0,0625°C. В горизонте АС@ датчики были установлены на глубинах 15, 20 и 25 см; в горизонте R'@ – на глубинах 37, 60 и 80 см. Температура почвы записывалась с шагом 1,5 ч, т. е. 16 раз в сутки. После изъятия датчиков 14.06.2020 были отобраны образцы для определения влажности почвы. При установке датчиков были отобраны почвенные образцы для определения температуропроводности в лаборатории методом регулярного режима (Архангельская, 2007). Из гор. АС@ был отобран монолит ненарушенного сложения высотой 10 см и диаметром 4 см. Из минерального гор. R'@, насыщенного крупноземом, вырезать монолит не представлялось возможным, поэтому из материала этого горизонта был сформирован набивной образец.

Для гор. АС@, в котором в бесснежный период наблюдались хорошо выраженные суточные колебания температуры, температуропроводность рассчитывали, используя амплитудный метод, основанный на первом законе Фурье для температурных волн в почве (Архангельская, 2007):

$$\kappa = \frac{\pi d^2}{\tau}, \quad (1)$$

$$d = \frac{h_2 - h_1}{\ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right)}, \quad (2)$$

где  $\kappa$  – коэффициент температуропроводности почвы,  $d$  – глубина затухания температурной волны,  $\tau = 24$  ч – период суточных колебаний температуры,  $h_1$  и  $h_2$  – глубины измерения температуры почвы,  $A_1$  и  $A_2$  – амплитуды суточных колебаний температуры на этих глубинах.

Использование формул (1) и (2) требует данных о динамике температуры лишь на двух глубинах. Это позволило провести три серии расчетов для гор. АС@, используя данные для глубин 15 и 20 см, 20 и 25 см, 15 и 25 см. Полученные результаты сравнивали между собой.

В нижележащем гор. R'@ суточные колебания температуры наблюдались лишь на глубине 37 см; для этого горизонта использовали метод расчета, требующий данных о температуре на трех глубинах, сходный с численным методом, описанным в (Архангельская, 2007) и модифицированный для неодинаковых расстояний между датчиками. Этот метод предполагает, что распределение температуры в почвенном профиле имеет квазистационарный характер и, следовательно, по данным о температуре соседних датчиков можно рассчитать потоки тепла между ними, используя уравнение Фурье. Изменение температуры среднего датчика определяется разницей между потоками тепла к этому датчику и от него, а также теплоемкостью почвы. Итоговая расчетная формула для расчета температуропроводности  $\kappa$  имеет вид:

$$\kappa = \frac{h_1 h_2 (h_1 + h_2)}{2\delta t} \frac{T_4 - T_2}{(T_1 h_2 + T_3 h_1 - T_2 (h_1 + h_2))}, \quad (3)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – расстояния между верхним и средним, а также средним и нижним датчиками,  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$  – температура почвы, одновременно измеренная этими датчиками;  $T_4$  – температура среднего датчика через время  $\delta t$ . При расчетах использовали данные для глубин 37, 60 и 80 см.

### Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлена динамика температуры почвы на глубинах 15-80 см с 1 по 20 мая 2020 г. На рисунке можно выделить периоды, когда в слое 15-37 см наблюдались отчетливые квазигармонические колебания температуры (5-6.05 и 15-16.05), периоды, когда суточные квазигармонические колебания накладывались на сезонный тренд практически линейного роста температуры со временем (1-2.05 и 7-9.05), а также периоды краткосрочных похолоданий на

фоне общего тренда сезонного повышения температуры, когда динамика температуры почвы приобретала нерегулярный характер (11-13.05 и 18-20.05).

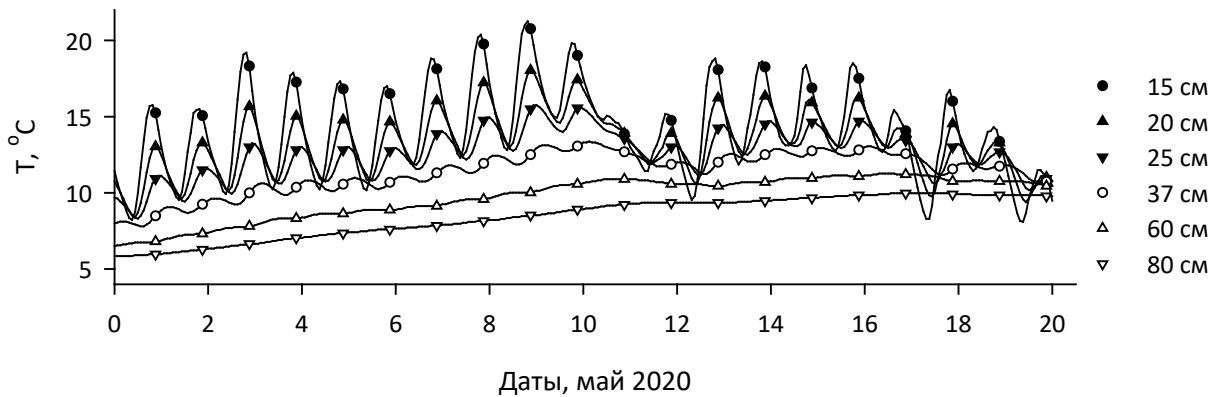


Рис. 1. Динамика температуры почвы на глубинах 15-80 см с 1 по 20 мая 2020 г.

Для расчетов температуропроводности использовали данные, полученные после схода снега в середине марта. При анализе графиков динамики температуры с 15.03 по 13.06 (дата изъятия датчиков из почвы) было выбрано 20 суточных интервалов с квазигармоническими изменениями температуры на глубинах от 15 до 37 см – с наложением на линейный тренд или без него. При расчетах для гор. АС@ использовали амплитуды суточных колебаний на глубинах 15, 20 и 25 см; для гор. R'@ – среднесуточные температуры на глубинах 37, 60 и 80 см и приращение температуры за сутки на глубине 60 см.

Результаты расчетного определения температуропроводности исследованных горизонтов представлены на рис. 2а. На рис. 2б приведены зависимости температуропроводности от влажности, полученные для этих же горизонтов лабораторным методом регулярного режима. На основе полевых данных для температуропроводности гор. АС@ были получены значения от  $2,16$  до  $3,69 \times 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с; при этом результаты расчетов с попарным использованием данных для разных глубин были близки (рис. 2а). Вплоть до 10 мая (до 50 сут. на рис. 2а) температуропроводность слоя 15-20 см во всех случаях была несколько выше, чем слоя 20-25 см; возможно, это объясняется более высокой влажностью верхних горизонтов после весеннего снеготаяния. После 10 мая расхождения в температуропроводности между слоями 15-20 и 20-25 см чередовали знак и не превышали  $0,5 \times 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с.

Диапазон лабораторных значений температуропроводности для гор. АС@ составляет от  $1,65$  до  $3,23 \times 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с (Поляков и др., 2021). Более низкое минимальное значение температуропроводности лабораторного образца по сравнению с оценками на основе полевых данных мы объясняем тем, что в процессе проведения лабораторного эксперимента почву постепенно доводили до воздушно-сухого состояния, а в полевых условиях влажность почвы не опускалась до столь низких значений.

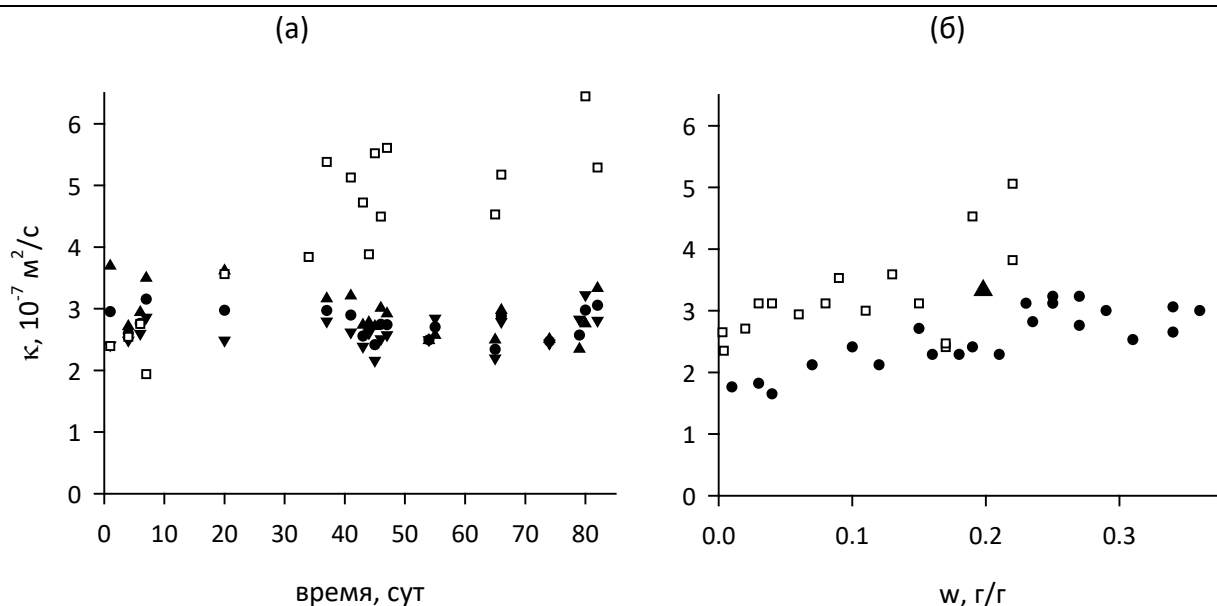


Рис. 2. Температуропроводность ( $\kappa$ ) гор. AC@ (темные символы) и R'@ (светлые символы): полевые значения для отдельных сроков (а) и полученные в лаборатории зависимости от весовой влажности ( $w$ ) (б). Темные кружки соответствуют температуропроводности слоя 15-25 см; треугольники вершиной вверх – 15-20 см, вершиной вниз – 20-25 см. Крупный темный треугольник на рис. 2б – полевая расчетная температуропроводность при известной влажности. Отсчет времени на рис. (а) с 24.03 по 13.06.2020.

Максимальные значения температуропроводности, полученные в лаборатории, тоже несколько ниже полевых. Это можно объяснить тем, что стенки измерительной капсулы препятствуют осуществлению пародиффузионного переноса тепла, в итоге занижая эффективную температуропроводность почвы. На рис. 2б приведено также единственное значение полевой температуропроводности, которое можно соотнести с измеренной влажностью почвы (крупный треугольник); это значение близко к лабораторным данным, но лежит несколько выше. Сходные результаты были ранее получены для палеокриогенных комплексов Владимирского ополья (Архангельская, 2012).

Температуропроводность мелового материала гор. R'@, рассчитанная из полевых данных, менялась от 1,94 до  $6,44 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ . При этом наблюдался постепенный рост температуропроводности в течение весны (рис. 2а), скорее всего связанный с поступлением талых вод в глубокие слои профиля и увеличением влажности мелового материала. Диапазон лабораторных значений для гор. R'@ составил  $2,35\text{-}5,06 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ . Более выраженные различия между полевыми и лабораторными значениями температуропроводности гор. R'@ по сравнению с теми, что были получены для гор. AC@, объясняются тем, что образец гор. R'@ был набивной, и скорее всего, его плотность была ниже, чем плотность горизонта в поле. В целом температуропроводность гор. R'@ была выше, чем гор. AC@, и по полевым, и по лабораторным данным. Это объясняется высокой плотностью мелового горизонта и отсутствием в нем органического вещества.

В трех из двадцати выбранных суточных интервалов суточный прирост температуры на глубине 60 см был слишком мал, и при расчетах по формуле (3) получались неправдоподобно высокие значения температуропроводности, вплоть до  $15,4 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ . Поэтому было принято решение отбраковать все точки с  $\delta t < 0,15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Возможно, в данном случае можно попробовать

увеличить шаг по времени до нескольких суток, но это неизбежно приведет к худшему выполнению условия постоянства потока тепла в исследуемом слое.

### Выводы

Расчетные методы с использованием полевых данных по динамике температуры почвы давали несколько завышенные значения температуропроводности почвы по сравнению с методом регулярного режима, при этом амплитудный метод давал большее совпадение с лабораторными данными. Мы считаем, что все три опробованных метода вполне можно использовать. Для каменистых образцов мы отдаем предпочтение расчетным методам по двум причинам. Во-первых, каменистая фракция практически всегда делает невозможным отбор ненарушенного образца. Во-вторых, для каменистых почв при лабораторных измерениях возникает неопределенность, связанная с наличием или отсутствием каменистых отдельностей между внешней границей образца и датчиком в его середине.

### Благодарности

Исследование выполнено при поддержке грантов РФФИ № 19-04-01298 и № 20-05-00556.

### Список литературы / References

1. Архангельская Т.А. Температурный режим и тепловые свойства почв // Теории и методы физики почв. Коллективная монография под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. М.: Гриф и К, 2007. С. 373-401.
2. Архангельская Т.А. Температурный режим комплексного почвенного покрова. М.: ГЕОС, 2012. 282 с.
3. Поляков Д.Г., Архангельская Т.А., Рябуха А.Г., Ковда И.В. Температуропроводность криоморфных почв степных комплексов на меловых породах // Почвоведение. 2021. № 9. С. 1051–1060.

### VERIFICATION OF METHODS FOR DETERMINING SOIL THERMAL DIFFUSIVITY FOR THE CASE OF CONTRASTING HORIZONS OF SOIL COMPLEX ON LIMESTONE

T. A. ARKHANGELSKAYA<sup>1</sup>, D. G. POLYAKOV<sup>2</sup>, R. F. ALBERT<sup>1</sup>, A. G. RYABUKHA<sup>2</sup>, I. V. KOVDA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, arhangelskaia@gmail.com;*

<sup>2</sup> *Institute of Steppe, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia, polakovdg@yandex.ru;*

<sup>3</sup> *Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia, ikovda@mail.ru*

**Abstract.** Soil thermal diffusivities obtained by the unsteady-state method and by two calculation methods are compared. The first calculation method is the amplitude method for thermal waves; the second one is based on the Fourier equation for a stationary heat flux.

**Keywords.** Soil temperature, the thermal wave amplitude method, the unsteady-state method.



**ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ КАРБОНАТНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЧВЕННО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)**

В.Э. БОЛДЫРЕВА, О.С. БЕЗУГЛОВА, Ю.А. ЛИТВИНОВ, А.А. МЕЖЕНКОВ, И.В. МОРОЗОВ  
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» (ФГАОУ ВО ЮФУ),  
Ростов-на-Дону, [maskow@mail.ru](mailto:maskow@mail.ru)

**Аннотация.** Проведен анализ архивных данных гранулометрического состава черноземов обыкновенных карбонатных (североприазовских) с привлечением архивных материалов средне- и крупномасштабного почвенного обследования территории Ростовской области. Он показал, что черноземы исследованных административно-хозяйственных районов Ростовской области относятся преимущественно к разновидности тяжелосуглинистых и легкоглинистых почв. Установлено, что внутри каждой из разновидностей наблюдается тенденция смещения количества физической глины к границе, разделяющей тяжелые суглинки и легкие глины. Внутри тяжелосуглинистой разновидности большая часть образцов относится к диапазону 55–60%, а в границах легкоглинистой разновидности – к диапазону 60–65%.

**Ключевые слова.** Геоинформационные системы, гранулометрический состав, почва, тяжелые суглинки и глины.

**Введение**

В последние годы идет активное развитие геоинформационных систем в России и мире. Их роль в современной цифровизации почвоведения, систематизации постоянно растущего количества информации об объекте, трудно переоценить. Это и поступление актуальных данных о почвенном покрове, полученных с использованием инструментальных методов исследования, и оцифровка архивных материалов почвенного обследования. Возникает необходимость в систематизации для управления этими массивами информации с целью их рационального хранения и использования, учета почвенных ресурсов, планирования мониторинговых исследований, а также прогнозирования их состояния.

Развитие этого направления исследований стимулирует работу по организации глобального почвенно-экологического мониторинга и ускоряет процессы формирования единых подходов в диагностике и классификации почв, применения сходных единиц измерения и методик, а также критериев оценки состояния почв (Голозубов и др., 2015).

Анализ информации, содержащейся в базах данных, осложняется хранением большей её части в авторских коллективах и организациях, а также отсутствием сопровождающей технической документации, в силу неполноты архивных источников и других факторов (Столбовой, Молчанов, 2015). Тем не менее, это важный этап обработки данных при инвентаризации почв, осуществлении мониторинга состояния почвенного покрова и принятии управленческих решений. И таким образом эта работа становится ключом к решению первостепенных задач, как на региональном уровне, так и почвоведения в целом.

Использование геоинформационных технологий для задач агроэкологического мониторинга, мелиоративного почвоведения, для исследования антропогенного влияния и ведения реестра накопленных данных о различных почвенных свойствах в настоящее время уже ведется в ряде регионов Российской Федерации. В том числе данных по гранулометрическому составу, начиная от уровня хозяйств и административных районов, до ПГБД России и создания единой БД международным сообществом (Рожков, 2014; Голозубов и др., 2015; Столбовой, Молчанов, 2015; Куликова, Куликов, 2018; Литвинов, 2018).

ПГБД помогают структурировать большие объемы разнородной информации от классификационно-значимых свойств и признаков, до агрохимических картограмм, карт

агропроизводственных групп, идентификации эрозионно-опасных земель, содержащих в себе широкий спектр разнородных показателей.

Один из классификационно-значимых показателей – гранулометрический состав, являясь важнейшей генетической характеристикой почвы, определяет спектр исследований в области не только отдельных разделов почвоведения, связанных с изучением физических, химических, физико-химических свойств, процессов и режимов почв, но и учитывается при решении многих инженерных задач: мелиоративных, инженерно-геологических и инженерно-экологических.

### **Объекты и методы исследования**

Рассматриваемые почвы впервые описаны Л.И. Прасоловым в 1916 году как приазовский чернозем, позже за ними закрепился статус североприазовского подтипа в типе черноземов. Согласно классификации почв СССР (1977) они были отнесены к черноземам обыкновенным карбонатным теплой Южно-Европейской фации, а в «Классификации почв России» (2004) выделены на уровне миграционно-сегрегационного подтипа в типе черноземов. Исследование проводилось по материалам почвенных обследований 4-х административных районов Ростовской области: Мясниковском (1977), Матвеево-Курганском (1981, 1991), Неклиновском (1982) и Аксайском (1973, 1982), общая площадь которых составляет 589 050 га.

Проведен семантический анализ и дизагрегация легенд почвенных карт для получения более детальной информации о гранулометрическом составе и условиях залегания почв по рельефу.

Выборка содержала данные по 399 почвенным горизонтам, представляющим 153 разреза, согласно картографическим материалам средне- и крупномасштабного почвенного обследования, а также 165 смешанных агрохимических образцов из пахотного слоя.

Данные о гранулометрическом анализе представлены по результатам определения с использованием пирофосфатного пипет-метода Н.А. Качинского (1965). Гранулометрический состав дифференцировался в соответствии с грациями классификации Н.А. Качинского (1965), пороговые значения которых составляют: 1; 0,5; 0,25; 0,05; 0,01; 0,005 и 0,001 мм.

Для изучения распределения внутри разновидностей в соответствии с классификацией Н.А. Качинского (1965) использовали более дробное распределение по содержанию физической глины, %: 45–50, 50–55, 55–60 для тяжелых суглинков, и 60–65, 65–70, 70–75 – для легких глин.

Морфометрический анализ рельефа с использованием цифровой модели высот был использован для задач пространственной идентификации почвенных образцов.

### **Результаты и обсуждение**

Результаты, представленные на рисунке, свидетельствуют, что в рассматриваемом регионе явно преобладают тяжелые суглинки и легкие глины. Установлено, что в распределении почвенных образцов внутри каждой из разновидностей наблюдается тенденция смещения количества физической глины к границе, разделяющей тяжелые суглинки и легкие глины. Внутри тяжелосуглинистой разновидности большая часть образцов относится к диапазону 55–60%, а в границах легкоглинистой разновидности – к диапазону 60–65%.

Была рассмотрена рабочая гипотеза о том, что насыщенность физической глины илом/пылью связана с экспозицией склона, что обусловлено различиями в гидротермических условиях. Почвы, сформированные на склонах северной и северо-западной экспозиций, как относительно более влажные и холодные, по гранулометрическому составу характеризуются более высокой степенью иловатости физической глины, в то время как гранулометрический состав почв южной и юго-восточной экспозиций, возможно, будет пылеватым, вследствие

получения большего количества тепла и уменьшения влажности. Анализ данных показал, что в черноземах рассматриваемых районов преобладающим является крупнопылевато-иловатый состав, однако на рассматриваемом объеме данных корреляция между экспозицией склона и насыщенностью физической глины илом/пылью не установлена.

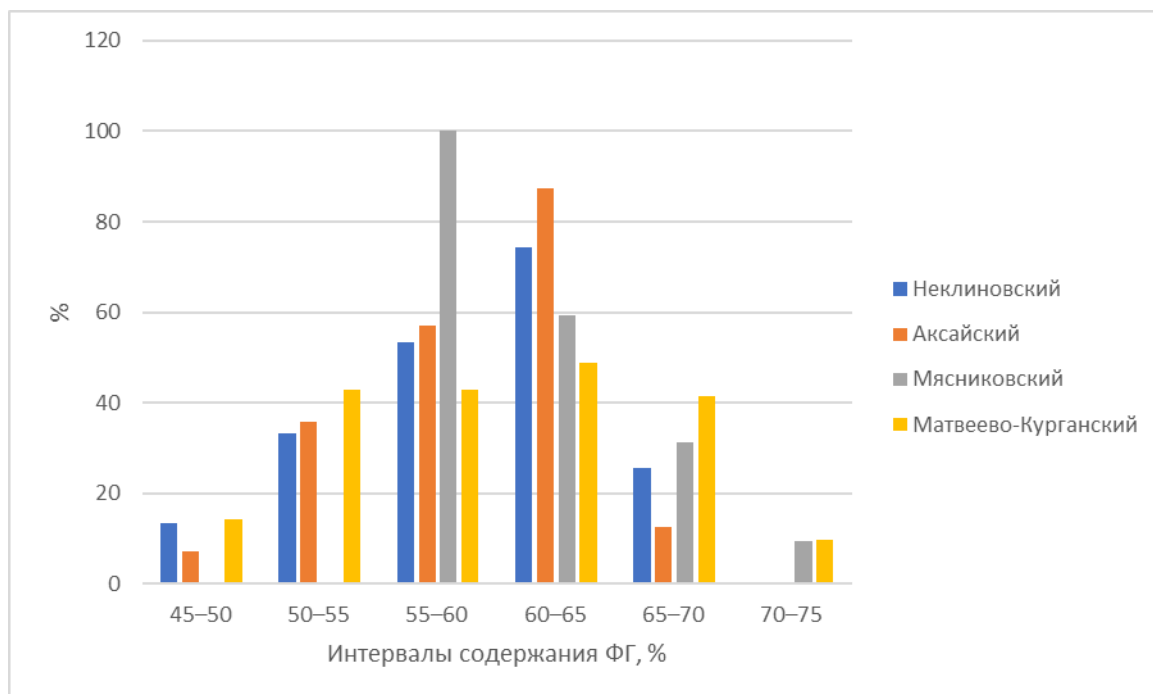


Рис. Распределение почв по гранулометрическому составу внутри разновидностей тяжелых суглинков и легких глин

В процессе оцифровки архивных материалов по регулярной сети разрезов были построены контуры, отражающие пространственную неоднородность с учетом крутизны и экспозиции склонов. Эта работа показала, что при отсутствии данных в каком-либо из рассматриваемых районов или их части, основываясь на установленных закономерностях пространственного распределения гранулометрического состава, можно экстраполировать гранулометрический состав почв на участках с «белыми пятнами». Анализ всего массива данных показал, что процентное соотношение почв с тяжелосуглинистыми и легкосуглинистыми почвами составило в Мясниковском районе 11:89, в Матвеево-Курганском – 15:85, в Неклиновском – 28:72, в Аксайском – 47:53. По мере пополнения базы данных фактическими материалами это соотношение может несколько измениться, однако общая закономерность останется прежней.

## Выводы

Для детализации перспективы использования данных, представленных в почвенных базах, в целях диагностирования или пространственной идентификации, необходимы разработка методологических подходов к их анализу, налаживание работы с атрибутивной информацией, отбор методов обработки и интерпретации.

---

**Список литературы / References**

1. Голозубов О.М., Рожков В.А., Алябина И.О., Иванов А.В., Колесникова В.М., Шоба С.А. Технологии и стандарты в информационной системе Почвенно-географической базы данных России // Почвоведение, 2015. № 1. С. 3–13. DOI: 10.7868/S0032180X15010062
2. Качинский Н.А. Физика почвы. Часть 1. М.: Высшая школа, 1965. 321 с.
3. Куликова Е.В., Куликов Ю.А. Геоинформационные системы в мелиоративном почвоведении // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект), 2018. №1. С. 14–19.
4. Литвинов Ю.А. Инвентаризация, гармонизация и анализ разнородных почвенно-географических данных для целей агроэкологического мониторинга: на примере Ростовской области: дисс. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 2018. 230 с.
5. Прасолов, Л.И. О черноземе Приазовских степей// Почвоведение, 1916. № 1. С. 23–46.
6. Рожков В.А. Опыт разработки национальной системы оценки пригодности земель // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2014. № 76. С. 33–51. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-76-33-51>
7. Столбовой В.С., Молчанов Э.Н. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России как модель пространственной организации почвенного покрова // Известия РАН. Серия географическая, 2015. № 5. С. 135–143.

**ESTIMATION OF DETAILS OF PARTICLE-SIZE DISTRIBUTION OF HAPLIC CALCIC CHERNOZEM BY THE SOIL-GEOGRAPHIC DATABASE OF RUSSIAN FEDERATION (ON THE EXAMPLE OF THE ROSTOV REGION)**

V.E. BOLDYREVA, O.S. BEZUGLOVA, YU.A. LITVINOV, A.A. MEZHENKOV, I.V. MOROZOV  
FGAOU VO «Southern Federal University» (FGAOU VO UFU), Rostov-on-Don, maskow@mail.ru

**Abstract.** The analysis of the archival data on the particle-size distribution of ordinary calcareous chernozem (haplic calcic chernozem) was carried out with the involvement of the funds of the soil data center of the FGBU GTSAS "Rostovsky". It showed that the chernozems of the investigated administrative and economic districts of the Rostov region belong mainly to the variety of silty loamy and clay soils. The findings of the experiment were found that within each of the varieties there is a tendency for the amount of physical clay to shift to the boundary separating silty loamy and clay. The most of the samples fall within the range of 55–60%, within the silty loamy variety and 60–65% within the clay variety.

**Keywords:** geo-information system, particle-size distribution, soil, silt loam and silt.

**ВЛИЯНИЕ ГЛИТОКСИНА НА ДЫХАТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ И ЕЕ БИОМАССУ**

А. В. ВАСИЛЬЧЕНКО, А. С. ВАСИЛЬЧЕНКО, Е. Н. ГУРИНА  
ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет»,  
г. Тюмень, a.v.vasilchenko@utmn.ru

**Аннотация.** Показано, что глиотоксин влияет на микробиом почв дозозависимо изменяя показатели дыхательной активности и биомассы микроорганизмов. В обработанных почвах микробное дыхание было выше по сравнению с контрольными необработанными почвами. Однако на фоне высокой респираторной активности показатели углерода микробной биомассы обработанных почв были ниже контрольных значений.

**Ключевые слова.** Биологический контроль, глиотоксин, микробные сообщества.

**Введение**

Глиотоксин (ГТ) является наиболее важным и хорошо известным микотоксином эпиполитиодиоксипепеазина (Smith et al., 2016). Впервые глиотоксин был открыт как средство биологической борьбы с патогенными грибами растений еще в 1930-х годах (Weindling and Emerson, 1936; Weindling, 1941). С момента открытия глиотоксин был изолирован от различных видов грибов, включая *Trichoderma*, *Aspergillus fumigatus*, *Eurotium chevalieri*, *Neosartorya pseudofischeri*, некоторых *Penicillium* spp. и *Acremonium* spp. (Smith et al., 2016). Со времен открытия глиотоксина накоплен большой и противоречивый материал относительно его воздействия на растения. С одной стороны, глиотоксин – это вещество, обладающее бактерицидными, фунгицидными, фунгистатическими свойствами против фитопатогенов, а также превосходной гербицидной способностью (Aliaa, 2008; Khan et al., 2011; Tomah et al., 2020; Bezuidenhout, 2012). С другой стороны, глиотоксин препятствует росту корней клевера и горчицы, снижает процент прорастания их семян (Wright, 1951), ингибирует рост проростков салата (Furuta et al., 1984; Naraguchi et al., 1992), приводит к образованию повреждений листьев различных однодольных и двудольных растений (Guo et al., 2020). Получается, что глиотоксин может быть либо вредным, либо полезным. Несмотря на существующие противоречия, литература поддерживает точку зрения, что глиотоксин имеет потенциальное терапевтическое применение, если вводится в правильной дозе и доставляется к цели (Scharf et al., 2016). Глиотоксин имеет большой потенциал для использования в качестве кандидата для биоконтроля (Tomah et al., 2020). Однако, изучение глиотоксина только с позиций растение – патоген – агент биоконтроля и фитотоксичность недостаточно для полного понимания механизмов, используемых агентами биоконтроля для осуществления биологической борьбы с болезнями растений. Необходимо учитывать более сложные взаимодействия с микробным сообществом на растении и вокруг него (например, почвы), а также с физической средой, учитывая тип почвы, температуру, pH и влажность растений и почвенной среды и др. параметры (Howell, 2003). Сегодня отсутствие сведений о действии глиотоксина на почвенные микроорганизмы, биохимические процессы является недостающим звеном сложных взаимодействий всей системы биологического контроля. В связи с этим, целью исследования было оценить влияние глиотоксина на дыхательную активность микробного сообщества и ее биомассу.

**Объекты и методы исследования**

Объектами исследования послужили серые почвы, представленные пахотными экосистемами (Тюменская область). Пашня находилась под непрерывным посевом яровой пшеницы (*Triticum durum* Desf.). Отбор почвенных образцов проводили методом «конверта» с глубины 0-10 см в конце августа, почва после уборки урожая. Глиотоксин вносился в почву в

концентрациях 500 мкМ, 50 мкМ и 10 мкМ. Контролем служила почва, не подвергшаяся обработке глиотоксином.

Скорость базального (микробного) дыхания (БД) определяли по скорости выделения  $\text{CO}_2$  почвой за 24 часа ее инкубации при 22°C и 60% ПВ с использованием газового хроматографа Trace GC Ultra с масс-селективным детектором DSQ II (Thermo Electron Corporation, США). БД выражали в мкг  $\text{CO}_2\text{-C/г}$  сухой почвы в час (Anderson, Domsch, 1978).

Параллельно определяли углерод микробной биомассы (МБС) по методу субстрат-индуцированного дыхания (СИД). Метод СИД основан на измерении начальной скорости дыхания микроорганизмов, индуцированного внесением в почву доступного субстрата (глюкозы) (Anderson and Domsch, 1978; Ananyeva et al., 2011). Скорость СИД выражали в мкг  $\text{CO}_2\text{-C/г}$  сухой почвы в час. Микробную биомассу рассчитывали по уравнению Anderson and Domsch (1978). Величина МБС представлена в виде мкг  $\text{CO}_2\text{-C/г}$  почвы.

### Результаты и обсуждение

Влияние глиотоксина на микробную биомассу и продуцирование ею  $\text{CO}_2\text{-C}$  представлено на рисунках 1 и 2. Показано, что начальный дыхательный отклик микроорганизмов (через 24 ч и 7 дней инкубации) оказался более чувствительным к воздействию высокой концентрации глиотоксина. Низкие концентрации глиотоксина не оказали никакого влияния на продуцирование  $\text{CO}_2\text{-C}$ . На 14-е сутки эксперимента всплеск дыхательной активности был зафиксирован в образцах с 50 и 10 мкМ ГТ (в 2,5 и 1,4 раза соответственно). В образцах с 500 мкМ ГТ базальное дыхание снизилось в 1,5 раза и через две недели осталось на том же уровне. К концу эксперимента (90 дней инкубации) в образцах с 500 и 50 мкМ ГТ микробное дыхание заметно снизилось, однако продолжало оставаться на высоком уровне по сравнению с контрольными необработанными почвами.

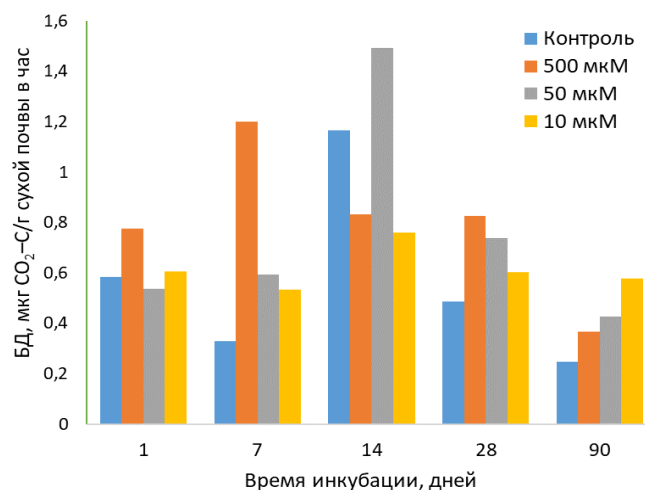


Рис. 1. Дыхательная активность микробных сообществ в присутствии глиотоксина

Как меняется содержание микробной биомассы под действием различных концентраций глиотоксина показано на рисунке 2. Наблюдалось снижения микробного углерода в почвах обработанных глиотоксином в концентрации 500 мкМ на протяжении всего эксперимента. В почвах с низкими концентрациями ГТ (50 и 10 мкМ) в начале эксперимента значения углерода микробной биомассы достоверно не отличались от контрольных, однако на 28-е сутки наблюдалось снижение его содержания на 52 и 38% соответственно. К концу инкубационного периода содержание МБС значительно снизилось и составляло в контроле – 509,5 мкг  $\text{CO}_2\text{-C/г}$  почвы, в почвах с глиотоксином – 201, 274 и 384 мкг  $\text{CO}_2\text{-C/г}$  почвы.

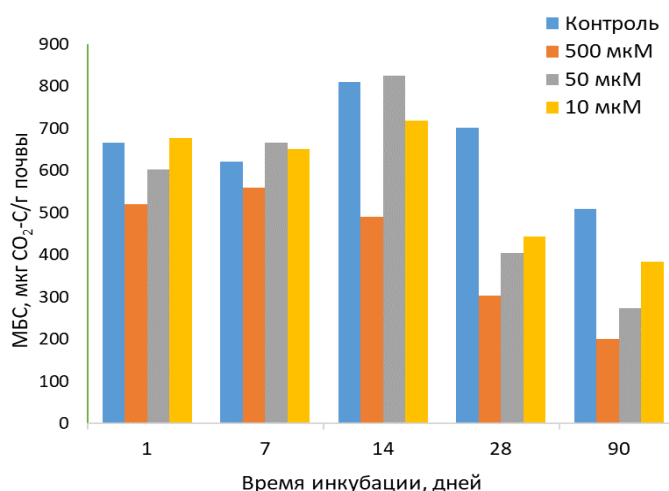


Рис. 2. Влияние различных концентрация глиотоксина на микробную биомассу.

Анализируя данные, можно предположить, что высокая дыхательная активность обработанных глиотоксином почв по сравнению с контролем указывает на низкую метаболическую активность микробоценоза. Микробные сообщества испытывают стресс из-за действия глиотоксина. Следовательно, возрастают энергетические затраты микроорганизмов на поддержание своей жизнедеятельности в новой среде. Истощаются запасы органических субстратов, что приводит к меньшему включению органического углерода в микробную биомассу (МБС снижается на фоне высокой респираторной активности) (Anderson and Domsch, 1985; Chander and Brookes, 1991).

## Выводы

Глиотоксин по-разному влияет на активность почвенных микробных сообществ и это влияние зависит от дозы и продолжительности активности. Микробные сообщества необработанных глиотоксином почв являются энергетически более эффективными.

## Список литературы / References

1. Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г. Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1327-1333.
2. Anderson J. P. E., Domsch K. H. A. (1978). Physiological Method for the Quantitative Measurement of Microbial Biomass in Soils // Soil Biology and Biochemistry, Vol. 10, №. 3, pp. 215–221.
3. Anderson, T.-H., Domsch, K.H., 1985. Maintenance carbon requirements of actively-metabolizing microbial populations under in situ conditions. Soil Biology and Biochemistry 17(2), 197–203.
4. Aliaa, R. E. S. (2008). Control of root-rot diseases of Phaseolus vulgaris using gliotoxin. Malays J, 4, 40-43.
5. Bezuidenhout, J. J. (2012). Elucidating the dual physiological induced effect of gliotoxin on plants (Doctoral dissertation, North-West University).
6. Chander, K., & Brookes, P. C. (1991). Microbial biomass dynamics during the decomposition of glucose and maize in metal-contaminated and non-contaminated soils. Soil Biology and Biochemistry, 23(10), 917-925.

7. Furuta, T., Kigane, T., & Suganoya, Y. (1984). Isolation of gliotoxin as lettuce seedling growth inhibit substance from the culture broth of *Aspergillus fumigatus* Fres. *Kenkyu hokoku = Bulletin of the Faculty of Agriculture, Tamagawa University*, 24, 16–25.
8. Guo, Y., Cheng, J., Lu, Y., Wang, H., Gao, Y., Shi, J., ... & Qiang, S. (2020). Novel action targets of natural product gliotoxin in photosynthetic apparatus. *Frontiers in plant science*, 10, 1688.
9. Haraguchi, H., Hamatani, Y., Shibata, K., Hashimoto, K. (1992). An inhibitor of acetolactate synthase from a microbe. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 56, 2085–2086.
10. Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. *Plant disease*, 87(1), 4-10.
11. Khan, M.R., Anwer, M.A., & Shahid, S. (2011). Management of gray mold of chickpea, *Botrytis cinerea* with bacterial and fungal biopesticides using different modes of inoculation and application. *Biological Control*, 57(1), 13-23.
12. Scharf, D.H., Brakhage, A.A., & Mukherjee, P.K. (2016). Gliotoxin—bane or boon? *Environmental microbiology*, 18(4), 1096-1109.
13. Smith, E.B., Dolan, S.K., Fitzpatrick, D.A., Doyle, S., Jones, G.W. (2016). Towards understanding the gliotoxin detoxification mechanism: in vivo thiomethylation protects yeast from gliotoxin cytotoxicity. *Microb. Cell* 3, 120–125.
14. Tomah, A.A., Abd Alamer, I.S., Li, B., & Zhang, J.Z. (2020). A new species of *Trichoderma* and gliotoxin role: A new observation in enhancing biocontrol potential of *T. virens* against *Phytophthora capsici* on chili pepper. *Biological Control*, 145, 104261.
15. Weindling, R., and Emerson, O.H. (1936). The isolation of a toxic substance from the culture filtrate of *Trichoderma*. *Phytopathology*, 26, 1068–1070.
16. Weindling, R. (1941). Experimental consideration of the mold toxins of *Gliocladium* and *Trichoderma*. *Phytopathology*, 31(11), 991.
17. Wright, J.M. (1951). Phytotoxic effects of some antibiotics. *Annals of Botany*, 15(4), 493-499.

## EFFECT OF GLIOTOXIN ON RESPIRATORY ACTIVITY OF MICROBIAL COMMUNITIES AND ITS BIOMASS

A. V. VASILCHENKO, A. S. VASILCHENKO, E. N. GURINA

*Tyumen State University, Tyumen, a.v.vasilchenko@utmn.ru*

**Abstract.** It was shown that gliotoxin affects the soil microbiome in a dose-dependent manner by changing the parameters of respiratory activity and biomass of microorganisms. In the treated soils, microbial respiration was higher than in the control untreated soils. However, against the background of high respiratory activity, the carbon values of the microbial biomass of the treated soils were lower than the control values.

**Keywords.** Biological control, gliotoxin, microbial communities



## РАЗЛИЧНЫЕ ДОЗЫ БИОУГЛЯ НА БАЗОВЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АГРОПОЧВ ТЯЖЕЛОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЮГА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

А. М. ГИЛЕВ, А. И. ИВАНКОВА, А. В. БРИКМАНС, О. В. НЕСТЕРОВА, Ю. К. КАЗАРИН  
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» (ДФУ),  
Владивосток, [gilev.am@students.dvfu.ru](mailto:gilev.am@students.dvfu.ru);

**Аннотация.** В работе рассматривается влияние различных доз биоугля (1 кг/м<sup>2</sup> и 3 кг/м<sup>2</sup>) на базовые физические свойства агропочв тяжелого гранулометрического состава юга Приморского края: плотность и порозность почв на участках с дренажной и бездренажной мелиоративной системой. В первый год (через 6 месяцев после внесения биоугля) в конце вегетационного периода, значения порозности агрегата в дренажной системе выросли с 27% до 40%, в системе без дренажа до 44% (при дозе биоугля 3 кг/м<sup>2</sup>). На второй год эксперимента (через 18 месяцев после внесения) в конце вегетационного периода наблюдалось увеличение порозности агрегатов в бездренажной системе в вариантах с применением биоугля и составила 22-27%. В дренажной системе наоборот значения порозности агрегатов снизились в 2,5 раза. Третий год эксперимента (30 месяцев после внесения) опытные поля оставались под паром, не подвергались механической обработке и в конце вегетационного периода наблюдалось еще большее уменьшение порозности агрегатов, что говорит о том, что последствие биоугля на порозность агрегатов отсутствует. Полученные результаты показывают максимальный положительный эффект от внесения биоугля наблюдается только в первый год после внесения.

**Ключевые слова.** Биоуголь, порозность, агропочвы.

### Введение

Одна из важных проблем сельского хозяйства – поддержание необходимого уровня плодородия почв одновременно с минимизацией негативного воздействия на окружающую среду. Для решения этой проблемы целесообразно использовать технологии, не приводящие к загрязнению почв как среды. Одна из таких технологий – внесение биоугля, структурирующего агропочвы.

Биоуголь представляет собой биомассу черного углерода, произведенную путем низкотемпературного пиролиза (например, навоза, органических отходов, биоэнергетических культур, растительных остатков) в бескислородной или низко кислородной среде. Применение биоугля прямо влияет на плотность, общую пористость, распределение пор по размерам и т.д. (Atkinson, Fitzgerald, Hipps, 2010).

Порозность, в свою очередь, обуславливает передвижение и сохранение влаги, обеспечение её доступности для растений. Также в порах сосредотачиваются почвенные микроорганизмы и вещества, являющиеся источниками питания растений (Шеин, 2005).

В связи с этим цель работы - изучение влияние биоугля на порозность агрегата агропочв юга Приморского края.

### Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны агротёмногумусовые подбелы Приморской овощной опытной станции (п. Суражевка) на экспериментальном участке с применением глубокого дренажа и без него (глубина дренажа 120 см). В качестве структуратора, влияющего на физические свойства, использовался биоуголь в дозах 1 кг/м<sup>2</sup> и 3 кг/м<sup>2</sup>, произведенный из древесных остатков березы *Betula alba*. Впервые биоуголь был внесён в 2018 году, повторно – в 2020 (перед началом вегетационного периода). Схема опыта представлена в виде таблицы (табл. 1). Образцы были взяты в различные периоды (в начале и в конце вегетационного периода) и года (2018-2020 гг.) для выявления закономерности и более точных результатов.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия      14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1. Схема полевого опыта 2017–2020 гг.

Год	Участок без дренажа почвы			Участок с дренажом почвы		
	биоуголь 0 кг/м <sup>2</sup>	биоуголь 1 кг/м <sup>2</sup>	биоуголь 3 кг/м <sup>2</sup>	биоуголь 3 кг/м <sup>2</sup>	биоуголь 1 кг/м <sup>2</sup>	биоуголь 0 кг/м <sup>2</sup>
2017	пар	пар	пар	пар	пар	пар
Внесли биоуголь						
2018	капуста	капуста	капуста	капуста	капуста	капуста
2019	соя	соя	соя	картофель	картофель	картофель
Внесли биоуголь						
2020	пар	пар	пар	пар	пар	пар

Отбор проб осуществлялся по ГОСТу 28168-89. Значения влажности агропочв – термостатно-весовым методом (Роде, 1965), объемная масса агропочв, плотность твердой фазы определена пикнометрическим методом и определение порозности агрегатов (Шеин, 2001).

### Результаты и рассуждения

Исследования показали, что до внесения биоугля (май 2018 г.) значения порозности агрегата (табл. 2) в начале вегетационного периода на поле с дренажной системой (Др) составляет 42% и 31% на поле с бездренажной системой (Бдр).

Таблица 2. Порозность агрегатов агропочв (%) при внесении биоугля

Объект исследования	2018		2019		2020	
	май	октябрь	май	октябрь	май	октябрь
Др контроль	42	27	37	42	37	11
Др 1 кг/м <sup>2</sup>		31	39	47	36	15
Др 3 кг/м <sup>2</sup>		40	33	48	26	18
Бдр контроль	31	43	40	12	40	27
Бдр 1 кг/м <sup>2</sup>		40	25	27	19	11
Бдр 3 кг/м <sup>2</sup>		44	35	27	42	13

В конце вегетационного периода 2018 г. наблюдаются повышение значений порозности агрегата в дренажной системе с внесением биоугля в дозах 1 кг/м<sup>2</sup> и 3 кг/м<sup>2</sup>. В варианте с контролем значения порозности агрегата составило 27%, однако с применением биоугля в дозе 1 кг/м<sup>2</sup> увеличилась до 31%, а в дозе 3 кг/м<sup>2</sup> до 40%. На поле с бездренажной системой порозность агрегата практически не изменилась и составила 43% в контроле и 44% с применением биоугля в дозе 3 кг/м<sup>2</sup>.

В 2019 г. в начале вегетационного периода после года использования биоугля значения порозности агрегатов значительно отличались по сравнению с октябрём 2018 г. В дренажной системе в варианте с контролем показатель составил 37%. В варианте с применением биоугля 1 кг/м<sup>2</sup> увеличилась до 39%, однако с дозой 3 кг/м<sup>2</sup> показатель уменьшился до 33%. В почве с бездренажной системой порозность агрегатов уменьшилась и показатели в варианте с контролем составили 40%, с применением биоугля 1 кг/м<sup>2</sup> 25%, а с применением биоугля 3 кг/м<sup>2</sup> – 35%.

В конце вегетационного периода наблюдалось повышение показателей порозности агрегатов в дренажной системе. В варианте с контролем 42%, с дозой 1 кг/м<sup>2</sup> – 47%, с дозой 3 кг/м<sup>2</sup> – 48%. На поле без дренажа порозность агрегатов в варианте с контролем составила 12%, однако с внесением доз биоугля показатель повысился до 27% в вариантах с внесением и 1 кг/м<sup>2</sup> и 3 кг/м<sup>2</sup>.

В 2020 г. был повторно внесен биоуголь в дозе 1 и 3 кг/м<sup>2</sup>. До повторного внесения биоугля в почву показатели на поле с дренажной системой в контрольном варианте составили 37%, в дозе 1 кг/м<sup>2</sup> биоугля 36% и с 3 кг/м<sup>2</sup> биоугля составило 26%. В бездренажной системе порозность агрегата повысилась. Контроль получился 40%, а в варианте с применением дозы 3 кг/м<sup>2</sup> биоугля показатели порозности агрегатов составили 42%.

В 2020 г. показатели порозность агрегата в конце вегетационного периода на поле с дренажной системой уменьшились. Вариант с контролем составил 11%, в варианте с дозой 1 кг/м<sup>2</sup> – 15%, в варианте с дозой 3 кг/м<sup>2</sup> – 18%. На поле с бездренажной системой показатели стали меньше. В варианте с контролем порозность агрегатов составила 27%, в варианте с дозой 1 кг/м<sup>2</sup> – 11%, в варианте с дозой 3 кг/м<sup>2</sup> – 13%. Такие низкие показатели значений порозности агрегатов скорее всего вызваны тем, что поле оставалось под паром и обработка почвы на исследуемых участках не производилась. Однако в вариантах, где был внесен биоуголь значения порозности агрегатов выше на 4-6 % по сравнению с контрольным вариантом.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-29-05166.

### **Выводы**

Исследования показали, что биоуголь в дозе 1 кг/м<sup>2</sup> и 3 кг/м<sup>2</sup> положительно влияет на порозность агрегатов в конце вегетационного периода на поле с дренажной системой. Однако полученные результаты показывают максимальный положительный эффект от внесения биоугля только в первый год после внесения.

### **Благодарности**

Авторы выражают признательность ООО «Приморская овощная опытная станция ВНИИО» п. Суражевка Приморского края за возможность проведения эксперимента на базе учреждения.

### **Список литературы / References**

1. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв: Методическое руководство /Под ред. Е.В. Шеина. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 200 с.
2. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – Т.1. – 665 с.
3. Шеин Е. В. Курс физики почв // Издательство Московского университета. 2005. 21 с.
4. Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D., Hips, N.A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil* 337, 1–18.

### **INFLUENCE OF DIFFERENT DOSES OF BIOCHAR ON BASIC PHYSICAL PROPERTIES OF AGROSOILS WITH HEAVY GRANULOMETRIC COMPOSITION IN THE SOUTH OF PRIMORSKY REGION**

A. M. GILYOV, A. I. IVANKOVA, A. V. BRIKMANS, O. V. NESTEROVA, Y. K. KAZARIN

*Far Eastern Federal University (FEFU),*

*Vladivostok, gilev.am@students.dvfu.ru;*

**Abstract.** The objective of this study is the influence of different doses of biochar (1 kg/m<sup>2</sup> and 3 kg/m<sup>2</sup>) on basic physical properties of agrosols with heavy granulometric composition in the south of Primorsky region: density and porosity of soils with and without drainage melioration systems. In the first year (after 6 months since biochar introduction) in the end of vegetation period, aggregation porosity in drainage system have risen from 27% to 40%, in system without drainage to 44% (biochar dose - 3 kg/m<sup>2</sup>). In the second year of experiment (after 18 months since biochar introduction) in the end of vegetation period increase of porosity in system without drainage was observed in variants with biochar and amounted to 22-27%. In drainage system however porosity decreased by 2.5 times. In the third year (30 months since introduction) trial fields remained fallow, were not mechanically treated and in the end of vegetation period even larger decrease was observed, which indicates that biochar does not affected aggregation porosity. The results showed that maximum effect is achieved in the first year after biochar introduction.

**Keywords:** biochar, porosity, agrosols.

## ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОЛЯ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИЙ

Л. В. КОЗЫРЕВА, А. В. ДОБРОХОТОВ

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),

Санкт-Петербург, 4ludak@gmail.com

**Аннотация.** В работе проведена оценка температуры подстилающей поверхности по регрессионной зависимости разницы температур воздуха и поверхности от радиационного баланса солнечной энергии. Представлен алгоритм расчета температуры подстилающей поверхности для растительности и оголенной почвы. Показано, что рассчитанная температура этим методом может использоваться для точного определения скрытого и явного потоков тепла для растительной поверхности и оголенной почвы.

**Ключевые слова:** температура подстилающей поверхности; тепловой баланс; характеристики подстилающей поверхности.

### Введение

В процессе агрометеорологических измерений важно оперативно получать характеристики энергетических процессов в деятельном слое земной поверхности. Поверхность земли нагревается солнцем неравномерно в зависимости от сезона и времени суток. Амплитуда изменения температуры подстилающей поверхности зависит от комбинации физических свойств материала на поверхности. Для точного определения скрытого потока тепла с растительной поверхности необходима радиационная температура этой поверхности, в случае разряженного посева и с оголенной почвы. Особенно важно уметь правильно оценивать затраты тепла на испарение, с помощью которых определяется необходимые нормы полива.

### Объекты и методы исследования

Затраты тепла на испарение (LE) являются важной составляющей уравнения теплового баланса подстилающей поверхности и могут быть вычислены по данным наблюдений как остаточный член уравнения теплового баланса. Турбулентный поток тепла рассчитывается через разность температуры подстилающей поверхности и температуры воздуха на уровне 2м ( $T_s - T_a$ ), а также через аэродинамическое сопротивление ( $r_a$ ), плотность ( $\rho$ ) и удельную теплоемкость ( $C_p$ ) воздуха.

С помощью автоматизированных метеорологических станций измеряются следующие величины в координате расположения: радиационный баланс, суммарная радиация, альbedo, температура воздуха, влажность воздуха, скорость ветра, температура подстилающей поверхности.

Для автоматизированного расчета испарения с сельскохозяйственного поля в течении суток необходима методика корректировки температуры подстилающей поверхности конкретного поля.

В данной работе была рассмотрена возможность оценки температуры подстилающей поверхности поля в точках, отличных от пункта измерений на базе гипотезы, предложенной в работе (Вонние и др., 2008). Она была успешно применена для оценки теплового баланса пересеченной местности, покрытой растительностью. Суть гипотезы состоит в том, что разница между температурой подстилающей поверхности и температурой воздуха считается линейной функцией от радиационного баланса, поэтому температура подстилающей поверхности рассчитывается по соотношению:

$$T_s = T_a + a_u \cdot R_n$$
$$a_u = 0.022 \text{ [если } u_2 \leq 1 \text{ м/с]} \quad (1)$$
$$a_u = 0.013 \text{ [если } u_2 > 1 \text{ м/с]}$$

где  $R_n$  – радиационный баланс,  $T_a$  – температура воздуха,  $a_u$  – коэффициент, зависящий от скорости ветра, при этом данные коэффициенты легко могут быть скорректированы для исследуемого региона по данным измерений в пункте наблюдений.

Известно, что радиационный баланс зависит от температуры подстилающей поверхности через эффективное излучение. Противозлучение рассчитывалось по формуле (Русин И.Н., 2010). Радиационный баланс в точках поля, неохваченных наблюдениями рассчитывался по формуле (3):

$$R_n = \frac{(1 - Alb) \cdot R_s - \sigma \cdot T_a^4 \cdot (1 - 0.747 + 0.0054 \cdot T_d)}{1 - a_u \cdot 4\sigma \cdot T_a^3}, \quad (2)$$

где  $Alb$  – альbedo подстилающей поверхности;  $R_s$  – суммарная радиация, рассчитанная для точки;  $T_d$  – точка росы;  $T_a$  – температура воздуха, зависящая от высоты;  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана.

### Результаты и обсуждение

Для апробации методики расчета температуры подстилающей поверхности по формуле (2) были использованы данные полевых, дневных измерений, полученные авторами (Ефимов, 2013) в пос. Водный, Волгоградской области над растительным покровом 18-19 мая 2013. По этим данным получена регрессионная зависимость между разницей температур подстилающей поверхности и воздуха и радиационным балансом (рис. 1). Коэффициент корреляции составил 0,87 для растительности и 0,96 для оголенной почвы.

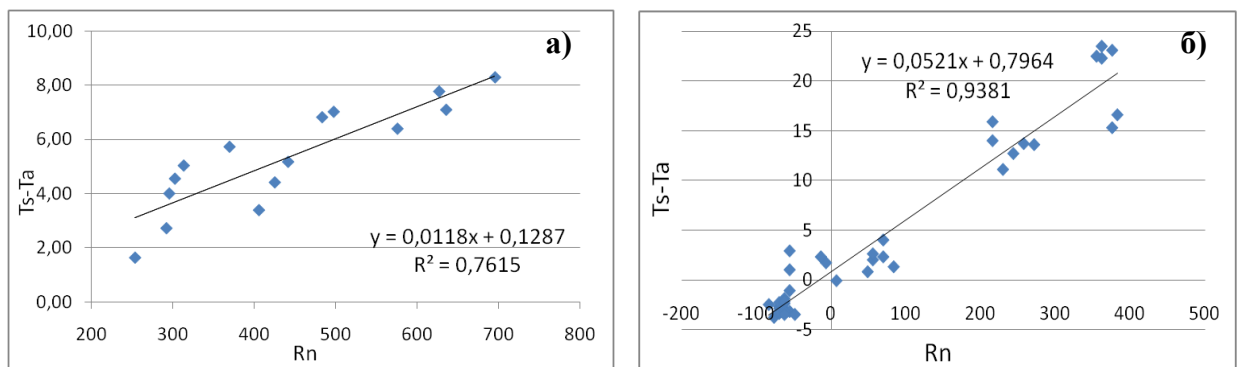


Рис. 1. Регрессионная зависимость разницы температур и радиационного баланса растительности (а) и оголенной почвы (б)

На рисунке 2 показано, что коэффициент корреляции по данным наблюдений на орошаемом поле не столь высокий, как по данным наблюдений растительности в естественных условиях и оголенной почвы, и составляет 0,71 (рис. 3). Это объясняется тем, что на орошаемом поле возникает приземная инверсия, в то время как радиационный баланс остается положительным.

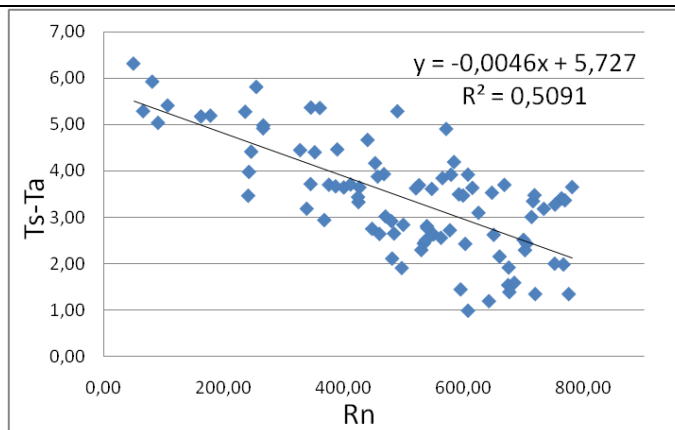


Рис. 2. Связь разницы температур и радиационного баланса орошаемого поля люцерны Волгоград 18-21 мая 2013 года

Оценка расчетов по формуле 2 показала результат, где коэффициент корреляции между температурой подстилающей поверхности рассчитанной и измеренной составил для: оголенной почвы – 0,99 (при коэффициенте ветра  $a_u=0,053$ ); неорошаемой растительности – 0,96 ( $a_u=0,014$ ); орошаемое поле – 0,92 ( $a_u=0,011$ ). Однако значения средней ошибки самой высокой оказалась для орошаемого поля и составила 9°C, при максимальной ошибке = 12,2°C и минимальной = 6°C. Значения средней ошибки для неорошаемой растительности равна 0,8°C, максимальная = 1,5°C и минимальная = 0,1°C. Для оголенной почвы средняя ошибка была также невелика и составила 1,1°C, максимальная = 3,2°C, а минимальная = 0,02°C.

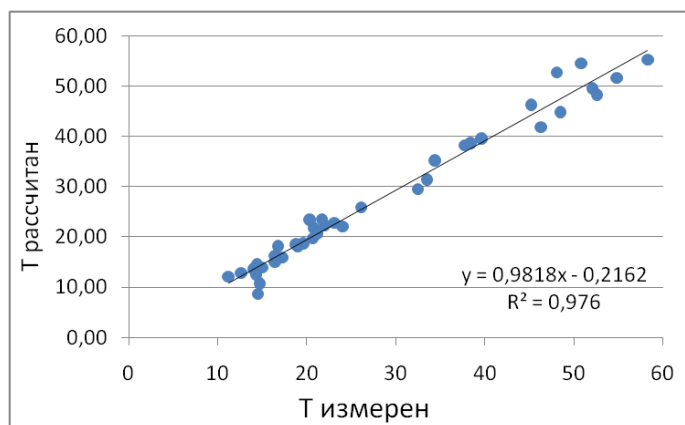


Рис. 3. Связь температуры поверхности измеренной и рассчитанной оголенной почвы  $a_u = 0,053$

Анализируя различие условий формирования теплового баланса между орошаемой и неорошаемой поверхностями, можно прийти к заключению, что в результате орошения над растительностью в засушливых условиях возникает локальная приземная инверсия, хотя в более высокой части приземного слоя по-прежнему сохраняется конвекции. Конвективный вынос пара в верхней части приземного слоя усиливает градиент влажности и приводит к росту скорости испарения. Этот фактор не учитывает гипотеза (2).

Из проведенных исследований можно сделать выводы, что расчет температуры подстилающей поверхности и составляющих теплового баланса на базе уравнения (2) возможен для условий сплошной растительности или оголенной почвы участков.

Для тестирования метода были использованы данные на Меньковской опытной станции АФИ (2.07.2014) на поле пшеницы и оголенной влажной почвы с помощью данных автоматизированного мобильного полевого агрометеорологического комплекса (Ефимов А.Е. и др. 2013). Результаты расчетов затрат тепла на испарение с данными измерений приведены на рисунке 4.

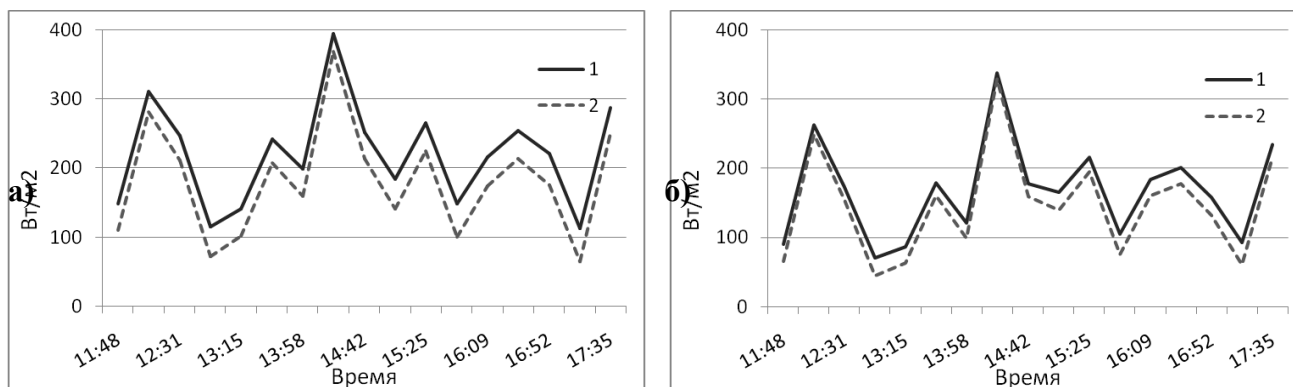


Рис.4. Затраты тепла на испарение: а) с поля Пшеницы и б) оголенной почвы 2 июля 2014. 1 - рассчитанная с реальной температурой подстилающей поверхности; 2 - рассчитанная с смоделированной температурой поверхности

## Выводы

С учетом того, что оценку испарения с поверхности всего сельскохозяйственного поля в целом производят по измерениям в одной точке, возникает необходимость учета горизонтальной неоднородности подстилающей поверхности, особенно при недостаточно густой растительности. Для составляющих теплового баланса территории с пространственно неоднородной растительной поверхностью необходимо учитывать характеристики, которые будут изменяться при переходе с одного типа подстилающей поверхности к другой. Такими характеристиками будут являться: альбедо, шероховатость и температура подстилающей поверхности. Значения альбедо и шероховатости можно считать известными для отдельных фаций сельскохозяйственного поля. Однако температура подстилающей поверхности при переходе от одной фации к другой может изменяться довольно существенно и при расчетах, составляющих энергетического баланса сельскохозяйственного поля в суточном ходе необходима.

## Список литературы / References

- Choudhury, B. J., Reginato, R. J., and Idso, S. B. Analysis of infrared temperature observations over wheat and calculation of latent heat flux, *Agricultural and Forest Meteorology*.1986. 37: 75–88.
- Bennie Jonathan, Huntley Brian, Wiltshire Andrew, Mark O. Hill, Robert Baxter. Slope, aspect and climate: Spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland, 2008. 216:47-59.
- Русин И. Н. Обоснование формул для противоизлучения атмосферы при ясном небе// Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2010. 17:32-40.
- Ефимов А.Е., Ситдикова Ю.Р., Козырева Л.В., Доброхотов А.В. АМПАК (автоматизированный мобильный полевой агрометеорологический комплекс) Методические указания по использованию. Санкт-Петербург, 2013 – 32 с.

**ESTIMATION OF THE TEMPERATURE OF AN AGRICULTURAL FIELD SURFACE ACCORDING TO  
WEATHER STATIONS DATA**

L. V. KOZYREVA, A.V. DOBROKHOTOV

*Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, 4ludak@gmail.com*

**Abstract.** This paper presents methods of calculation energy balance components for the vegetation and bare soil. The estimation of modeling surface temperature based on the direct dependence temperature difference and radiation balance. Shown that accurate calculation surface temperature can be carried for non-irrigated vegetation and bare soil.

**Keywords:** surface temperature; energy balance; characteristic of underlying surface.



## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АГРОФИЗИКИ В ОТВЕТАХ НА ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОСТИ

А.А. КОНИЩЕВ<sup>1</sup>, И.И. ГАРИФУЛЛИН<sup>1</sup>, Е.Н. КОНИЩЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ивановский НИИСХ-филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»

<sup>2</sup> Ивановская ГСХА им. академика Д.К. Беляева

**Аннотация.** Рекомендуемые способы снижения влияния неблагоприятных погодных проявлений на урожайность зерновых (повышение окультуренности почвы, применение толерантных сортов, увеличение применения средств интенсификации) оказываются в Нечерноземной зоне малоэффективными. Реально снизить зависимость урожайности от текущих погодных условий можно только с помощью агрофизических методов и приемов.

**Ключевые слова.** Погодные условия, преодоления рисков потери урожайности, агрохимические, биологические и агрофизические решения

### Введение

Основным вызовом современности, проявляющимся на результатах работы практически всех сельхозпроизводителей в настоящее время, являются плохо предсказуемые колебания погодных условий. В результате воздействия которых возникают значительные колебания урожайности возделываемых культур и валовых сборов зерна. Которые в свою очередь приводят к значительным колебаниям закупочных цен, а в итоге к изменению рентабельности ведения производства.

В соответствии с имеющимися сценариями развития погодных аномалий из-за большой протяженности страны для различных регионов предсказывается как возможность значительного ухудшения, так и улучшения условий развития растений [1]. При этом преодолевать возникающие риски, вызванные изменением климата, предлагается путем повышения окультуренности почвы, выведения и районирования адаптивных сортов растений и максимальным применением средств интенсификации производства [1]. Примерно такого же характера разработки и рекомендации известны и в зарубежных публикациях [2-4 и т.д.].

То есть бороться с неблагоприятными погодными проявлениями предлагается без участия агрофизики!

В тоже время известно, что урожайность в каждый отдельно взятый год чаще всего полностью определяется обеспеченностью растений элементами питания, но с весьма существенной оговоркой, что год не является экстремальным по погодным условиям! Например, даже при использовании технологии точного земледелия в пределах одного вегетационного года влияние удобрений и средств защиты растений (СЗР) составляет для ярового ячменя, и озимой ржи 73,1% и 89,4%. Если же рассматривать влияние факторов за несколько лет вегетации, то на первое место однозначно выходят гидротермические условия года. Влияние гидротермических условий на урожайность зерновых составляет 43-59% при влиянии агрохимических факторов на уровне 24-11% [5, 6]. То есть, многолетнее влияние даже технологии точного земледелия, на урожайность возделываемых культур составляет около 50%.

Аналогична ситуация наблюдается и на Урале [7], (табл. 1). Увеличение увлажнения вегетационного периода приводит к повышению урожайности яровой пшеницы до 64%, а изменение фона питания повышает урожайность только на 25-26%.

Таким образом, ожидание какого-то прорывного эффекта от влияния на урожайность средств интенсификации, путем снижения рисков, возникающих от неблагоприятных погодных проявлений, явно завышено.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1. Влияние фона питания и уровня увлажнения на урожайность яровой пшеницы на Урале (2002-2011гг.) [7]

Фон питания	Увлажнение вегетационного периода			Пределы колебаний урожайности, т/га
	засушливый	умеренный	влажный	
Без удобрений	<u>1,61*</u> 100%	<u>2,56*</u> 159%	<u>2,64*</u> 164%	0,98-3,33
Минеральный	<u>2,79</u> 100%	<u>3,51</u> 126%	<u>3,25</u> 116%	1,43-4,64
Органо-минеральный	<u>2,94</u> 100%	<u>3,69</u> 125%	<u>3,38</u> 115%	1,24-5,05

\*в числителе урожайность, т/га; в знаменателе в % от засушливого года.

Теперь рассмотрим влияние окультуренности почвы на продуктивность растений. В годы СССР на территории Белоруссии проводился широкомасштабный эксперимент по установлению влияния внесения повышенных доз органических удобрений на продуктивность культур в севооборотах [8]. Результаты эксперимента показали, что внесение 380 т/га органических удобрений за девять ротаций пятипольного севооборота привело к увеличению полевой влагоемкости дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы на 5–6%. Внесение 112–224 т/га навоза в легкосуглинистую почву за одну ротацию девятипольного севооборота обеспечило увеличение полевой влагоемкости на 1,8–2,7%. Эффекта от внесения 50 т/га навоза за ротацию пятипольного севооборота в другой области республики на легкосуглинистой почве не было.

Полученные данные свидетельствуют о том, что, во-первых, внесением 8–25 т/га органических удобрений невозможно ликвидировать разницу между равновесной и оптимальной плотностью дерново-подзолистых почв. Во-вторых, такие дозы органических удобрений не в состоянии обеспечить существенного улучшения водного режима этих почв за счет увеличения их влагоемкости (запасы влаги в пахотном слое увеличиваются на 5–13 мм). Такого количества влаги хватит лишь на 2–3 засушливых дня [8].

Авторы приходят к выводу [8], что единственным способом регулирования плотности сложения дерново-подзолистых суглинистых почв в производственном масштабе является их механическое рыхление, то есть – использование агрофизических методов. Учитывая значительное снижение поголовья скота в современной России, внесение повышенных доз минеральных удобрений – становится не актуальным.

В ряде современных исследований, особенно в тех, где учитывается неоднородность сложения участков полей, выводы звучат еще более резко. Например, в исследованиях урожайности многолетних трав, проводившихся в Республике Коми в течение 10 лет. Доминирующее положение, которое занимают физические свойства почвы по сравнению с агрохимическими показателями, указывают на то, что именно агрофизическое состояние почв (характеризуемое в первую очередь величиной плотности твердой фазы, плотность сложения и влажностью почвы) оказывает определяющее значение на величину урожая многолетних трав [9].

Или: «Неоднородность почвенных свойств оказывает существенное и неравнозначное влияние на урожайность сои (Краснодарский край). Из всей совокупности исследованных почвенных и агрохимических свойств главными факторами, являются условия увлажнения корнеобитаемой толщи и наличие внутрипочвенных уплотненных слитых горизонтов. Агрохимические свойства почв на фоне лимитирующего влияния указанных условий не являются определяющими» [10].

Таким образом снижение эффективности средств интенсификации в условиях недостатка или избытка влаги (то есть именно в те моменты, когда их влияние наиболее актуально), и в

условиях неоднородности сложения полей, ставит под сомнение возможность применения средств интенсификации для сглаживания влияния неблагоприятных погодных проявлений на урожайность возделываемых культур.

Что касается перехода на толерантные сорта, то на протяжении многих лет в селекции используется следующий принцип: внешняя среда на любом ее этапе должна соответствовать почвенно-климатическим условиям региона, где предполагается возделывание сорта, что позволяет реализовать экологическую целенаправленность селекции [11]. То есть, если регион относится к зоне достаточного увлажнения (как, например, Нечерноземная зона), то и разработка сортов проводится для условий достаточного увлажнения в любой период их развития. В то время в современных условиях (за последние 10 лет) колебания гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова составило от 0,57 до 4,05. Из них три года почва в период налива зерна высушалась до влажности устойчивого завядания, а два года – была переувлажненной. Три года периода конца кущения – начала выхода в трубку были засушливыми и три года переувлажненными. Майская засуха фиксировалась дважды, переувлажнение – также дважды. То есть изначальный принцип достаточного увлажнения (регион по статистике относится к региону с ГТК равным 1,4) оказывается систематически нарушенным! Значит толерантный сорт должен устойчиво развиваться и быть высокоурожайным при любом режиме увлажнения! Селекционеры работают над выведением таких высокопластичных сортов, на успехи пока скромные.

Представленные данные большинству ведущих ученых и отраслевых руководителей известны, но «допускать» агрофизику к решению задач по преодолению основных рисков современности они все равно не спешат.

На наш взгляд причина этого факта кроется в недостаточной проработанности перевода проведенных учеными агрофизиками теоретических исследований на практический уровень. Например, проведенные исследования позволяют описать состояние пахотного слоя в любой период вегетации, но как применить эти разработки для совершенствования практических технологий (тем более на понятном практикам языке) – рекомендаций нет.

В результате разработки первого этапа развития агрофизику применяются практически в каждой второй работе, но в подавляющем большинстве лишь для пересчета весовых показателей в объемные [12, 13].

В тоже время агрофизиками и почвоведками хорошо изучено влияние пористости аэрации на развитие и продуктивность растений. Именно создание сложения почвы с управляемой пористостью аэрации позволяет сгладить влияние текущих метеоусловий вегетационного периода на продуктивность растений [14] и одновременно повысить эффективность средств интенсификации. Но, к сожалению, это направление пока не получило должной оценки в научных кругах.

### **Список литературы / References**

1. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России (под редакцией академиков Россельхозакадемии А.Л. Иванов и В.И. Кирюшина) – М.: Россельхозакадемия, 2009, 518с.
2. Bucur D., Jitareanu G., Ailincai C. Effects of long-term soil and crop management on the yield and on the fertility of eroded soil. *Journal of Food // Agriculture & Environment*, 2011, no.9(2), pp.207–209.
3. D. B. Lobell and C. B. Field, “Global Scale Climate-Crop Yield Relationships and the Impacts of Recent Warming,” *Environmental Research Letters*, Vol. 2, No. 1, 2007, pp. 1-7. doi:10.1088/1748-9326/2/1/014002

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

4. Mandal, S., Breach, P. and Simonovic, S. (2016) Uncertainty in Precipitation Projection under Changing Climate Conditions: A Regional Case Study. *American Journal of Climate Change*, 5, 116-132. doi: 10.4236/ajcc.2016.51012.
5. Фесенко М.А. Вклад случайных и контролируемых факторов в формировании урожайности зерновых культур полевого севооборота / *Агрофизика*, 2017, № 2, с. 40 – 46.
6. Лекомцев П.В. Научно-методическое обеспечение управления продукционным процессом яровой пшеницы в системе точного земледелия. Диссертация доктора биологических наук, Санкт-Петербург АФИ, 2015. – 365с.
7. Постников П.А., Попова В.В. Урожайность яровой пшеницы в севооборотах // *Достижения науки и техники АПК*, 2013, №2, с.19-21.
8. Афанасьев Н.И. Основные проблемы физики дерново-подзолистых почв БССР и пути их решения / *Почвоведение*, 1990, № 5, с. 128 – 138.
9. Басевич В.Ф., Тетенькин В.Л. Неоднородность подзолистых почв и пестрополье. *Вестник Московского университета*, сер.17. *Почвоведение*, 2010, №2. С. 35-42.
10. Кутузова Н.Д. Неоднородность свойств предкавказских черноземов как фактор урожайности сои. Диссертация кандидата биологических наук, М., 2010, 292 с.
11. Кильчевский А.В. Экологическая организация селекционного процесса // *Генетические основы селекции*. – Уфа, 2008. – С. 70-86.
12. E.K. Bünemann, G. Bongiorno, D. Zhanguo, R. Creamer. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, p.105-125. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.01.030.
13. Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Н. Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты), Харьков, 2004, Изд.: «13 типография», 124с.
14. Конищев А.А. Прошлое и будущее обработки почвы под зерновые культуры. *Аграрный вестник Урала*, 2020, №3(194), с. 21-27, DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-21-27.

#### TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF AGROPHYSICS IN RESPONSE TO THE CHALLENGES OF OUR TIME

A. A. KONISHCHEV<sup>1</sup>, I. I. GARIFULLIN<sup>1</sup>, E. N. KONISHCHEVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Ivanovo Agricultural Research Institute – a branch of Federal State Budget Educational Institution «Upper Volga Federal Agrarian Research Center» (Ivanovo, Russia).*

<sup>2</sup> *Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ivanovo State Agricultural Academy by D.K. Belyaev*

**Abstract.** In the published recommendations on overcoming the negative impact of adverse weather manifestations on the yield of grain crops, it is proposed to reduce their impact by creating and using tolerant plant varieties, increasing the cultivation of the soil, and maximizing the use of means of intensification of production. But as practice shows, these solutions are ineffective in the Non-Chernozem zone, since in the last decade there has been a situation in the region where with the same probability the year can turn out to be both dry in any of the months and significantly overmoistened. That is, it becomes difficult to choose the principle of adaptation of plant varieties. Means of intensification, even with the transition to precision farming technologies, are two to three times inferior to weather conditions in their impact on yield. It is possible to reduce the negative impact of weather conditions on plant productivity by means of agrophysics by creating a plant habitat that smoothes the influence of hydrothermal conditions on plant development.

**Keywords.** Weather conditions, overcoming the risks of crop loss, agrochemical, biological and agrophysical solutions.

**СЛОЖЕНИЕ И СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ**

В.А. НИКОЛАЕВ, Л. И. ЩИГРОВА

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет -

МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, [shchigrova@mail.ru](mailto:shchigrova@mail.ru)

**Аннотация.** Установлено, что применение минимальной обработки приводило к формированию агрогенно уплотненного горизонта. Плотность пахотного слоя (0-20 см) почвы при минимальной обработке составила 1,26–1,30 г/см<sup>3</sup>, при отвальной - варьировала в пределах 1,24–1,26 г/см<sup>3</sup>. При этом также в пользу отвальной обработки увеличивались порозность (53,4%) и водопрочность макроструктуры (33,9%) почвы. Проведенные исследования эффективности технологии минимальной обработки позволяют констатировать ухудшение физических параметров сложения дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

Целью проведенных нами исследований являлось изучение изменения физических показателей при различных способах основной обработки. Для сравнения в схему опыта были включены варианты с отвальной обработкой (вспашка) и минимальной (прямой посев).

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва, обработка почвы, плотность сложения, пористость, водопрочность.

**Введение**

В современных условиях активной пропаганды и внедрением технологий прямого сева, вновь обострился вопрос трансформации физических свойств почв при исключении операций по основной обработке почвы. В этой связи остро встает проблема агрофизической деградации пахотных земель, которая во многом определяет актуальность оценки изменения уровня физических показателей плодородия, определения направленности и тенденций их изменения. Оценка трансформации физических показателей необходима также для корректировки и разработки новых агротехнологических приемов при возделывании сельскохозяйственных культур, для конструирования машин и орудий (Бондарев, 1988).

Воздействие техники на почву приводит к увеличению плотности на всех почвах, но в наибольшей мере это наблюдается на влажных суглинистых и глинистых по гранулометрическому составу почвах (Håkansson, Voorhees, Riley, 1988). Проблема создания пахотного слоя, оптимального по физическому состоянию, по плотности – одна из важнейших проблем современной физики почв и агротехники (Шеин, 2005).

В связи с широкой пропагандой технологии прямого сева в последние годы нами были поставлены на изучение вопросы трансформации физических свойств легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы. В задачи исследований входило изучить динамику плотности сложения и структурного состояния.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. Полевые опыты были заложены на опытном поле Центра точного земледелия (ЦТЗ). Объектом исследования являлась дерново-подзолистая легкосуглинистая почва со следующей агрохимической характеристикой: гумус – от 2,0 до 2,5% (по Тюрину), обеспеченность общим азотом (по Корнфилду) низкая – 35,5 мг/кг почвы, тогда как обеспеченность подвижным фосфором (по Кирсанову) высокая – (200-250 мг/кг почвы), содержание обменного калия (по Масловой) средняя (150-200 мг/кг почвы), pH водной вытяжки колеблется в пределах от 5,8 до 6,2.

Культура – озимая пшеница, которая чередуется в зернопропашном севообороте: викоовсяная смесь на зеленый корм - озимая пшеница + горчица белая на сидерат – картофель - ячмень. Сорт – Тимирязевская юбилейная. Норма высева - 5,5 млн. всхожих семян на 1 га.

Варианты основной обработки почвы – отвальная (ежегодная вспашка на глубину 20-22 см) оборотным плугом Eur Oral и прямой посев сеялкой DMS-3 (Беленков, Николаев, Шитикова, 2011). Перед посевом вносились минеральные удобрения из расчета 300 кг/га нитроаммофоски и 70+70 кг/га аммиачной селитры в виде подкормок. Почвенный покров опытного участка представлен дерново-подзолистыми, легкосуглинистыми почвами.

### Результаты и обсуждение

Плотность сложения является одним из важных составляющих физических показателей плодородия почв. Оптимальная величина равновесной плотности для дерново-подзолистой почвы составляет 1,25–1,50 г/см<sup>3</sup>, что обуславливает оптимальные или близкие к ним показатели других физических свойств. Нижний предел названного диапазона оптимальной плотности необходим для более требовательных к плотности сложения пропашных культур. Верхний предел плотности оптимален для менее требовательных к этому показателю зерновых культур сплошного сева (Сафонов, 2011).

Анализ полученных экспериментальных данных показывает на значительный разброс значений плотности сложения дерново-подзолистой почвы в зависимости от способов основной обработки почвы. При этом средние значения были близки к оптимальным, но их варьирование имело существенные различия.

Главной особенностью при анализе данных по плотности сложения дерново-подзолистой почвы в зависимости от способов обработки почвы, является следующее. Во-первых, отмечается наличие агрогенно-уплотненного горизонта в подпосевном почвенном слое, наиболее отчетливо проявляющегося в варианте минимальной обработки. Во-вторых, вследствие этого можно отметить формирование на этих вариантах уплотненных почвенных горизонтов с плотностью близкой к верхней границе оптимальных значений. При этом максимальные значения часто находятся выше критических значений.

Определение плотности сложения проводилось нами в два срока - после возобновления весенней вегетации и в фазу спелости. В ранневесенний период (возобновление весенней вегетации) значения плотности сложения имели меньшие показатели по сравнению с периодом уборки. Обработка почвы с оборотом пласта (вспашка) способствовала формированию посевного и обрабатываемого слоя с минимальными значениями. В горизонте 0-10 см на варианте с отвальной обработкой плотность сложения равнялась 1,23 г/см<sup>3</sup> (рис. 1). При технологии минимальной обработки происходит повышение плотности сложения до более высоких значений - 1,28 г/см<sup>3</sup>. При этом максимальные значения достигают критических величин в 1,36 г/см<sup>3</sup>, что намного выше других способов обработки почвы.

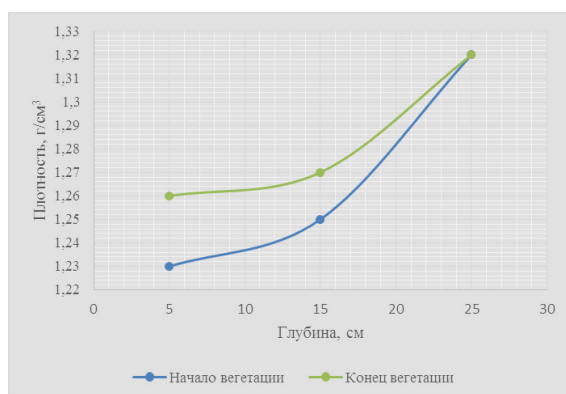


Рис. 1. Плотность, отвальная обработка, г/см<sup>3</sup>

В горизонте почвы 10-20 см плотность сложения на варианте минимальной обработки достигала значений 1,34 г/см<sup>3</sup> (рис. 2), что превышает аналогичные показатели при отвальной на 0,09 г/см<sup>3</sup>. В подпахотном горизонте сохраняется такая же закономерность с формированием более высоких показателей плотности при технологии прямого посева. Наряду с этим в этом случае намечается формирование агрогенно - уплотненного горизонта, который более контрастно проявляется в поздние фазы развития растений.

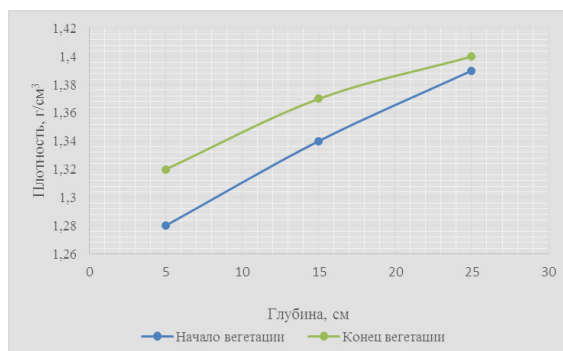


Рис. 2. Плотность, минимальная обработка, г/см<sup>3</sup>

В верхнем посевном горизонте почвы (0-10 см) в фазу спелости наименьший средний показатель плотности отмечен при отвальной обработке и составил 1,26 г/см<sup>3</sup>. Исключение механических обработок пахотного слоя почвы из комплекса технологических операций приводило к заметному увеличению плотности до 1,32 г/см<sup>3</sup>. При этом отмечены серьезные различия между вариантами в варьировании интервала минимального и максимального значения в пахотном (0-20 см) слое почвы. Минимальный интервал наблюдался на варианте со вспашкой. В этом случае интервал различий равнялся 0,02 г/см<sup>3</sup>. Более значительные различия свойственны минимальной обработке – 0,04 г/см<sup>3</sup>. Таким образом, на варианте с отвальной обработкой складываются условия для формирования более гомогенно сложенного пахотного слоя.

Общая пористость почвы при возобновлении вегетации озимой пшеницы и в дальнейшем, независимо от фазы роста и развития и вариантов обработки, была близка к оптимальным показателям и составляла в среднем 49-51%. Наиболее высокой (53,4%) (рис. 3) была в слое (0-10 см) на варианте с отвальной обработкой, по сравнению с минимальной (51,6%) (рис. 4).

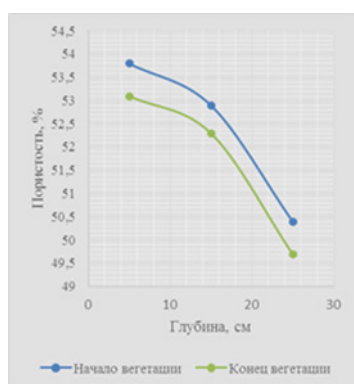


Рис. 3. Пористость, отвальная обработка, %

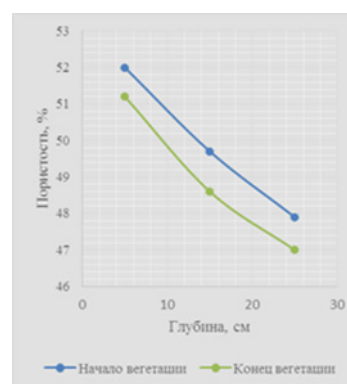


Рис. 4. Пористость, минимальная обработка, %

Оптимальное содержание водопрочной макроструктуры, при котором в течение длительного времени сохраняется устойчивое рыхлое сложение пахотного слоя почвы должно составлять не менее 40%. В нашем опыте в начальные фазы роста и развития озимой пшеницы, и в среднем за вегетационный период наибольшее содержание агрономически ценных агрегатов размером 0,25-10 мм в слое 0-30 см отмечали в варианте со вспашкой – 32,6% (рис. 5) по сравнению с минимальной обработкой -28,5% (рис. 6).

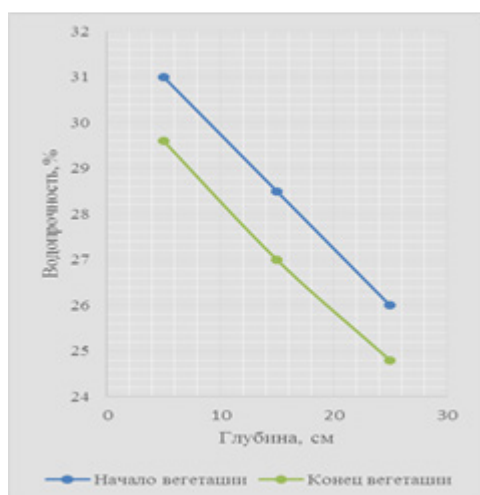


Рис. 5. Водопрочность, отвальная обработка, %

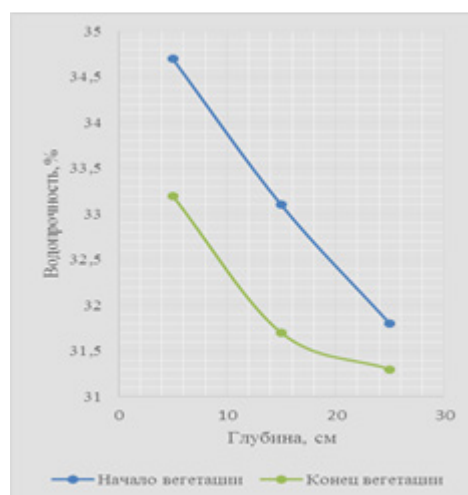


Рис. 6. Водопрочность, минимальная обработка, %

В период максимального накопления общей биомассы озимой пшеницы (колошение-восковая спелость) преимущество по содержанию водопрочных агрегатов также обеспечивала отвальная обработка, где этот показатель составил (32,0%) против (27,1%) на минимальной. При этом распределение водопрочной макроструктуры в корнеобитаемом слое было выровненным в варианте со вспашкой и дифференцированным при прямом посеве, где в верхней части пахотного слоя 0-10 см содержалось водопрочных агрегатов на 2,5-3,0% больше, чем в слое 20–30 см.

## Выводы

Главным фактором, изменяющим параметры физических показателей плодородия в наших исследованиях, явилось применение технологии прямого посева.

Отмечено увеличение деграционных процессов физических показателей с применением минимальной обработки. Отмечается формирование агрогенно уплотненных почвенных горизонтов на глубине от 10 до 20 см. Максимальная плотность сложения в фазу спелости составила при этом значения порядка 1,37 г/см<sup>3</sup>. На варианте с отвальной обработкой среднее значение плотности сложения соответствовали 1,27 г/см<sup>3</sup>.

## Список литературы / References

1. Беленков А.И., Николаев В.А., Шитикова А.В. Агроэкологическая концепция исследований и агрофизические свойства почвы в посадках картофеля полевого опыта ЦТЗ // Агрофизика. 2011. № 3. с. 5-14
2. Бондарев А.Г. Проблема регулирования физических свойств почв в интенсивном земледелии // Почвоведение. 1988. № 9. С. 64-70.



3. Hakansson J., Voorhees W.B., Riley H. Vehicle and Wheel Factors Influencing Soil Compaction and crop Response in different Traffic Regimes. Amsterdam // Soil tillage research. 1988. V. 11. P. 239-282.
4. Сафонов А.Ф. Воспроизводство плодородия почв агроландшафтов: Учебное пособие / А.Ф.Сафонов. М.: Изд. РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева, 2011. с. 80.
5. Шейн Е.В. Курс физики почв: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.

#### **COMPOSITION AND STRUCTURAL STATE OF SOD-PODZOLIC SOILS DEPENDING ON THE MAIN TREATMENT METHODS**

V. A. NIKOLAEV, L. I. SCHIGROVA

*Russian Timiryazev State Agrarian University, shchigrova@mail.ru*

**Abstract.** It was found that the use of minimum tillage led to the formation of a compacted horizon within the soil profile. The density of the arable layer (0-20 cm) of the soil with minimum tillage was 1.26-1.30 g/cm<sup>3</sup>, with conventional ploughing- varied within 1.24-1.26 g/cm<sup>3</sup>. At the same time, porosity (53.4%) and water resistance of the macrostructure (33.9%) of the soil also increased in favor of conventional ploughing. The conducted studies of the effectiveness of the technology of minimum tillage allow us to state the deterioration of the physical properties of the sod-podzolic sandy loam soil.

The purpose of our research was to study the changes in soil physical parameters with various tillage treatments. For comparison, the scheme of the experiment included options with conventional ploughing and minimum tillage (direct drilling).

**Keywords.** Sod-podzolic soil, tillage, bulk density, porosity, aggregate water resistance.

## **АГРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ: СОВРЕМЕННЫЕ ТОМОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ВОЗМОЖНОСТИ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

Е.В. ШЕИН<sup>1,2</sup>, Е.Б. СКВОРЦОВА<sup>2</sup>, А.В. ДЕМБОВЕЦКИЙ<sup>1</sup>, Н.В. ВЕРХОВЦЕВА<sup>1</sup>, А.В. СУЗДАЛЕВА<sup>1</sup>,  
Т.Г. КАЛНИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, [evgeny.shein@gmail.com](mailto:evgeny.shein@gmail.com)

<sup>2</sup> ФГБНУ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», [escvora@mail.ru](mailto:escvora@mail.ru)

**Аннотация.** В специальном физическом модельном эксперименте с выращиванием проростков ячменя в течение 7 суток томографически фиксировалась динамика изменений структуры объемов почвенных пор и корней при одновременной оценке состава почвенной биоты. К концу эксперимента зафиксировано сокращение томографической пористости в подсеменном слое и увеличение численности анаэробных видов микроорганизмов из разных филогенетических групп со способностью гидролизовать целлюлозу в анаэробных условиях.

**Ключевые слова.** структура порового пространства почв, рентгеновская компьютерная томография, визуализация, динамика микробиологического прикорневого сообщества.

### **Введение**

Среди физических характеристик учетными показателями почвенных агрофизических обследований указываются (Приказ Минсельхоза России от 04.05.2010 (ред. от 08.08.2012) «Об утверждении Порядка государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения») до настоящего времени указываются гранулометрический состав, агрегированность (рассев на ситах), наименьшая влагоемкость, равновесная плотность по основным горизонтам до 1 м. К сожалению, не имеется указаний на количественную оценку важнейших гидрофизических характеристик (водоудерживания, коэффициента фильтрации), нет упоминаний о различных видах пористости почв (агрегатной, межагрегатной, макро-, мезо- и микропористости). В тоже время, анализ современной литературы по агрофизике, физике почв, физиологии растений показывает важность и необходимость оценки разных видов пористостей почвы, их динамик при изменении влажности, роста корней, состояния и состава почвенной биоты в момент формирования ризосферы растений. Это подчеркивает актуальность, важность и необходимость проведения научных исследований и инновационных прорывов в указанных областях агрофизической характеристики почв сельскохозяйственных земель. Цель данной работы: агрофизическая характеристика порового пространства почв в период прорастания семени. Задачи: (1) количественные исследования структуры порового пространства агрегированных почв, (2) изучение роста корней в различных по плотности слоях почв и (3) одновременная оценка биофизического состояния и динамики состава почвенной биоты. В настоящее время активно используется метод рентгеновской томографии, позволяющий без нарушения отслеживать структуру порового пространства, как распределение пор почвы по размерам, а современные методы томографии благодаря расчётным методам с фазой обучения на конкретных массивах данных дают возможность оценить и выделить корни растений. С агрофизической точки зрения было бы весьма важно рассмотреть не только распространение корней в первые сутки после посадки, но одновременно проследить и особенности развития почвенной биоты, которая сопряженно изменяется, формируя ризосферу.

### **Объекты и методы исследования**

Для проведения эксперимента по изучению порового пространства совместно и прорастанием семени и составом микробиоты создавалась физическая модель семенного ложа из агрегатов двух типов почв:

– чернозема южного (Calcic Chernozem –WRB) [9]. Место отбора проб – Соль-Илецкий район, Оренбургская область 51°58'12" N 55°19'15"E. Почва отнесена к тяжелосуглинистой по содержанию физической глины (<0.01 mm), содержание которой варьировало 51.8 до 59.1%;

– дерново-подзолистой почвы (Albic Glossic Retisols, Lomic, Cutanic –WRB) [9]. Место отбора проб – Московская область, с. Ельдигово 56°07'23" N 37°48'16" E. Почва отнесена к тяжелосуглинистой по содержанию физической глины (<0.01 mm), содержание которой варьировало от 51.8 до 59.1%.

В пластиковые рентгены-прозрачные бюксы, объемом около 3 см<sup>3</sup> помещались почвенные агрегаты (диаметром 5–3 мм) указанных почв таким образом, чтобы создать два слоя. Нижний слой утрамбовывался поршнем до плотности 1.2 г/см<sup>3</sup>, верхний слой состоял из агрегатов и не уплотнялся дополнительно (равновесная плотность - 0.7 г/см<sup>3</sup>). На границе слоев располагалось семя ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Михайловский. На протяжении периода прорастания с 1-х по 7-е сутки через равные промежутки времени проводилась томографическая съемка с помощью рентгеновского микротомографа «SkyScan 1172G» (Bruker, Бельгия). В данном случае съемка скорректирована в сторону ускорения из-за быстрого роста корней: томографическая съемка одного сегмента (из пяти в образце) занимала до 10 минут. В процессе реконструкции и воссоздания объемной структуры с четко различимыми рентген контрастными фазами удалось разделить почву, поровое пространство и биологические объекты (зерно с проростком и корнями). Реконструкция – отдельный этап томографического исследования, при котором теневые проекции пересчитываются в набор горизонтальных томографических срезов по заранее выставленным настройкам, которые позволяли соблюдать четкое изображения слабо различимых фаз на фоне почвы. В процессе модельного эксперимента получено около 2000 томографических срезов для каждого образца, с разрешением 16.1 мкм и размером 1000×1000 пикселей. Цифровые шумы скорректированы программными фильтрами (Median, Smoothing). Автоматическая сегментация фаз в таких условиях оказалась частично работоспособной – методом Оцу (Otsu, 1979) успешно можно сегментировать только почву. По этой причине в исследовании использована ручная сегментация, что с высокой степенью достоверности позволило разделить перечисленные выше рентген-контрастные фазы. Состав микробного сообщества реконструировали по микробным маркерам (жирным кислотам и их производным – жирным гидроксикислотам и альдегидам), которые определяли после кислого метанолиза почвенных образцов молекулярным методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии (Verkhovtseva, Osipov, 2002). Анализ проводили на ГХ-МС системе «HP-5973 Agilent Technologies» (США). Анализировали следующие образцы: контрольный образец – исходная почва, в которой не производилось выращивание ячменя; почва из образцов с прорастающим семенем ячменя на 5-е и 7-е сутки. Измерения проводили в трехкратной повторности.

### **Результаты и обсуждение**

По мере прорастания от 3-х до 7-х суток проводилась томографическая съемка и исследование микробиологического сообщества методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии. В этот период зафиксировано сокращение томографической пористости в подсеменном слое и изменение численности микроорганизмов, преимущественно выполняющих деструкцию сложных углеводных соединений. Томографические и микробиологические исследования показали взаимосвязанность происходящих процессов в отношении объемов пор почвы, корней и состава микробиоты при прорастании семени и могут быть использованы для количественной характеристики формирующейся корневой системы.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Корни осваивают уплотненное (до 1.2 г/см<sup>3</sup>) поровое пространство, формируя свои собственные ходы, при этом показатель томографической пористости к седьмым суткам в черноземе южном снижается с 34.9% до 24.1%, в дерново-подзолистой почве остается примерно в тех же значениях 37.8–38.2%. В изученный период в составе микробного сообщества ризосферы *Hordeum vulgare* L. складывается специфический гидролитический комплекс микроорганизмов, способных к активной, преимущественно анаэробной, деструкции сложных органических соединений (растительных остатков, семенной оболочки, углеводов корневых выделений) и обладающих антагонистической активностью к фитопатогенам.

В составе сообществ ризосферы реконструировано 39 (в черноземе) и 37 (в дерново-подзолистой почве) бактериальных видов, принадлежащих к пяти филумам – *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Cyanobacteria*.

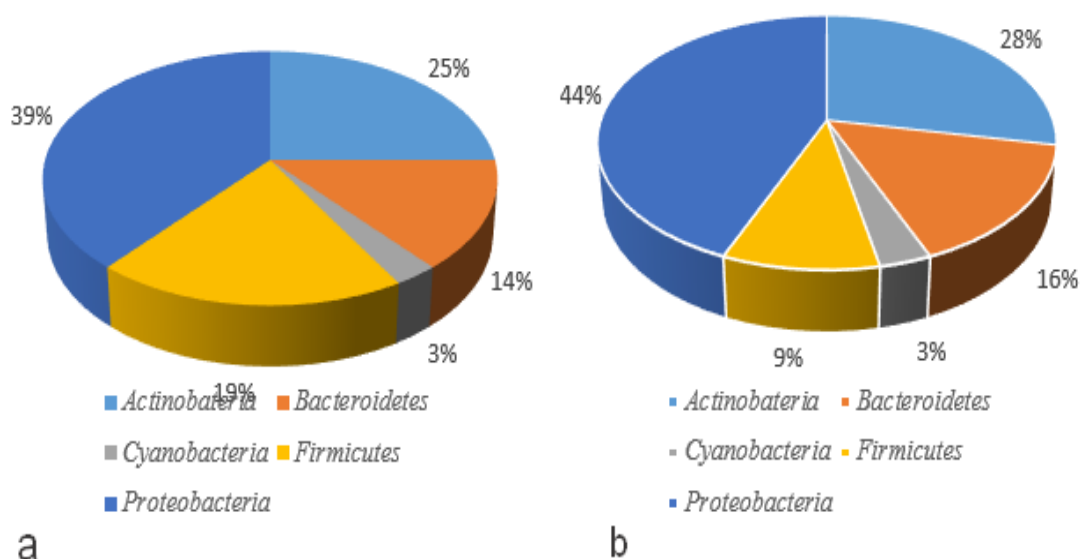


Рис. 1. Биоразнообразие бактерий в филумах:  
а – чернозем южный, (Оренбургская обл.) (Calcic Chernozem), б – дерново-подзолистая (Московская обл.) (Albic Glossic Retisols (Lomic, Cutanic))

По биоразнообразию наиболее многочисленно был представлен филум *Proteobacteria*. Далее по количеству видов следовали *Actinobacteria* и *Firmicutes* (рис. 1а) в черноземе и *Bacteroidetes* в дерново-подзолистой почве (рис. 1 б). Исходя из экологических позиций, это свидетельствует о том, что именно эти филумы были наиболее устойчивы и адаптационно пластичны.

## Выводы

Томографические и микробиологические исследования показали взаимосвязанность происходящих процессов. Первые позволили заглянуть внутрь почвы при прорастании семени, а результаты изучения динамики таксономического состава сообщества микроорганизмов позволили получить новые данные о формировании порового пространства и особенностей изменения плотности почвы при посеве семян зерновых культур.

## Благодарности

Томографические исследования выполнялись с привлечением оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием «Функции и свойства почв и почвенного покрова» Почвенного института им. В.В. Докучаева. Работа выполнена по госбюджету, раздел 0110, № договора 21-1, № ЦИТИС 121040800146-3 «Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления» – 50% и при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-29-05112 мк – 50%.

## Список литературы / References

1. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1979. 9 (1), 62–66. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>
2. Verkhovtseva N.V., Osipov G.A. Comparative Investigation of Vermicompost Microbial Communities. Microbiology of composting. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2002, 99-108. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-662-08724-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-08724-4_8)

## AGROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOILS: MODERN TOMOGRAPHIC METHODS, OPPORTUNITIES, PROSPECTS

E. V. SHEIN<sup>1,2</sup>, E.B. SCVORTSOVA<sup>2</sup>, A. V. DEMBOVETSKY<sup>1</sup>, N.V. VERHOVTSEVA<sup>1</sup>, A.V. SUZDALEVA<sup>1</sup>, T.G. KALNIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Soil Science Moscow state University, Moscow, Russia, [evgeny.shein@gmail.com](mailto:evgeny.shein@gmail.com)

<sup>2</sup> V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, [escvora@mail.ru](mailto:escvora@mail.ru)

**Abstract.** In a special physical model experiment with the cultivation of barley seedlings for 7 days, the dynamics of changes in the structure of the volumes of soil pores and roots was recorded with a simultaneous assessment of the composition of the soil biota. By the end of the experiment, a decrease in tomographic porosity in the sub-seed layer and an increase in the number of anaerobic microorganisms from different phylogenetic groups with the ability to hydrolyze cellulose under anaerobic conditions were recorded.

**Keywords.** structure of soil pore space, X-ray computed tomography, visualization, dynamics of microbiological basal community

## ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ ТОРФО-ПЕСЧАНЫХ И ПОЧВЕННО-ТОРФЯНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ

Т. А. АРХАНГЕЛЬСКАЯ, Е. В. ТЕЛЯТНИКОВА

МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, *arhangelskaia@gmail.com*;

**Аннотация.** Обсуждаются результаты определения температуропроводности торфо-песчаных и почвенно-торфяных смесей, полученные методом регулярного режима для различных значений влажности. Объект исследования – смеси низинного пакетированного торфа «Селигер-Агро» с (а) карьерным песком и (б) верхним пахотным горизонтом урбанозема, отобранного на территории Почвенного стационара МГУ. Песок и гор. Апах смешивали с торфом в различных долевых соотношениях; содержание торфа в смесях составляло от 1 до 80 % по сухой массе. Температуропроводность образцов измеряли в диапазоне влажности от капиллярного насыщения до воздушно-сухого состояния. Выявлен нелинейный характер зависимости температуропроводности от содержания торфа в образцах.

**Ключевые слова.** Температуропроводность, торфо-песчаные смеси, почвенно-торфяные смеси, метод регулярного режима.

### Введение

Почвенные смеси широко применяются в различных областях: в городском озеленении, в тепличных хозяйствах, при создании конструктоземов и в ландшафтном дизайне. Для создания почвенных смесей используются различные по генезису и свойствам субстраты, в основном, гумусовые и минеральные почвенные горизонты, песок и торф в различных соотношениях, выбор которых зависит от требований высаживаемой растительности. Срок службы почвенных конструкций, в которых используются смеси, определяется в том числе и тем, насколько быстро будет минерализоваться органическое вещество, входящее в состав смеси. Поэтому для реализации использования той или иной почвенной смеси важно знать тепловые свойства почвенной смеси и их зависимость от различных факторов.

К настоящему времени накоплено достаточно много информации об основных физических и водно-физических свойствах почвенных смесей (Witkowska-Walczak et al., 2002; Умарова и др., 2019), но данных о том, как меняется температуропроводность в зависимости от долевого содержания почвы, торфа и песка в смеси, пока мало. В связи с этим была сформулирована цель работы: получение, сопоставление и анализ зависимостей температуропроводности от влажности для образцов торфо-песчаных и почвенно-торфяных смесей при различных долевых соотношениях составляющих смесь субстратов.

### Объекты и методы исследования

Объект исследования – смеси низинного пакетированного торфа «Селигер-Агро» с (а) карьерным песком и (б) верхним пахотным горизонтом урбанозема, отобранного на территории Почвенного стационара МГУ.

Гранулометрический состав песка и гор. А<sub>пах</sub> определяли пипет-методом с предварительной пирофосфатной диспергацией; содержание органического углерода – методом сухого сжигания в токе кислорода; температуропроводность – методом регулярного режима.

Смеси песка с торфом и почвы с торфом готовили в одинаковых пропорциях. Доли торфа в смесях (по сухой массе) составляли 1, 3, 5, 10, 20, 40, 60 и 80 %. Полученными смесями с усилием набивали тонкостенные металлические цилиндры высотой 10 см и диаметром 3.8 см.

Температуропроводность образцов измеряли методом регулярного режима в диапазоне влажности от капиллярного насыщения до воздушно-сухого состояния. При проведении очередного измерения образец герметично закрывали и помещали в термостат с хорошо перемешиваемой теплой водой. Скорость прогревания образца измеряли с помощью

дифференциальной медно-константановой термопары. Подробное описание методики проведения эксперимента приведено в (Архангельская, 2007).

**Результаты и обсуждение**

В таблицах 1 и 2 представлены основные физические свойства исследованных образцов, определяющие теплопроводность. Видно, что по мере увеличения доли торфа до 100 % плотность набивных образцов уменьшается в 4-5 раз по сравнению с исходными образцами песка и гор. А<sub>пах</sub>, а содержание органического углерода в смеси растет в 192 и 14 раз (табл. 2). При этом разница между сериями «торф + песок» и «торф + гор. А<sub>пах</sub>» обусловлена не только разницей в плотности и содержании углерода, но и различным гранулометрическим составом использованных субстратов (табл. 1).

Таблица 1. Гранулометрический состав песка и гор. А<sub>пах</sub>.

Субстрат	Содержание фракций, %; размер частиц, мм					
	0,25-1	0,05-0,25	0,01-0,05	0,005-0,01	0,001-0,005	<0,001
Песок	30	64	2	1	1	2
Гор. А <sub>пах</sub>	12	18	28	13	7	22

Таблица 2. Свойства образцов песка, гор. А<sub>пах</sub>, торфа, торфо-песчаных и почвенно-торфяных смесей: плотность набивки ( $\rho_b$ ) и содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ).

Содержание торфа, %	Торф + песок		Торф + гор. А <sub>пах</sub>	
	$\rho_b$ , г/см <sup>3</sup>	$C_{орг}$ , %	$\rho_b$ , г/см <sup>3</sup>	$C_{орг}$ , %
0	1,63	0,2	1,20	2,7
1	1,40	0,6	1,29	3,1
3	1,34	1,3	1,22	3,8
5	1,13	2,1	1,20	4,5
10	0,93	4,0	1,11	6,3
20	0,87	7,9	1,02	9,9
40	0,46	15,5	0,76	17,0
60	0,46	23,2	0,45	24,2
80	0,37	30,8	0,45	31,3
100	0,31	38,5	0,31	38,5

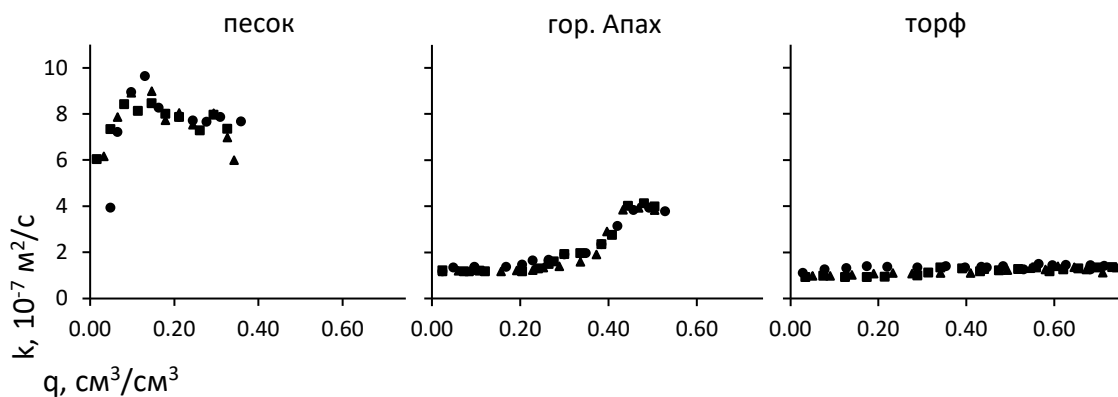


Рис. 1. Зависимости теплопроводности (k) от влажности (q) для песка, гор. А<sub>пах</sub>, торфа. Разными символами обозначены три повторности.

Для столь различных по своим физическим свойствам субстратов были получены существенно различающиеся зависимости температуропроводности от влажности (рис. 1). Температуропроводность песка достигала  $9,6 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ , температуропроводность гор. Апах менялась от 1,2 до  $4,1 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ , температуропроводность уплотненного при набивке торфа не превышала  $1,5 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$  во всем диапазоне влажности. Образцы песка демонстрировали резкий рост температуропроводности при малых значениях влажности. Температуропроводность песка достигала максимума при влажности  $0,13\text{-}0,15 \text{ см}^3/\text{см}^3$  и затем снижалась. Для образцов гор. Апах была характерна S-образная форма кривой, типичная для суглинистых почв (Архангельская, 2020), с особенно длинным выположенным участком в области влажностей менее  $0,20 \text{ см}^3/\text{см}^3$ . Это длинное плато можно объяснить затрудненным конвективным переносом влаги в набивном образце, что приводит к невысокой скорости роста теплопроводности с влажностью, сопоставимой со скоростью роста теплоемкости. Образцы торфа демонстрировали крайне малое увеличение температуропроводности во всем диапазоне влажности.

Полученные в трех повторностях зависимости температуропроводности от влажности для песка, гор. Апах и торфа практически не различались между собой (рис. 1). Поэтому при работе с торфо-песчаными и почвенно-торфяными смесями измерения проводили в одной повторности.

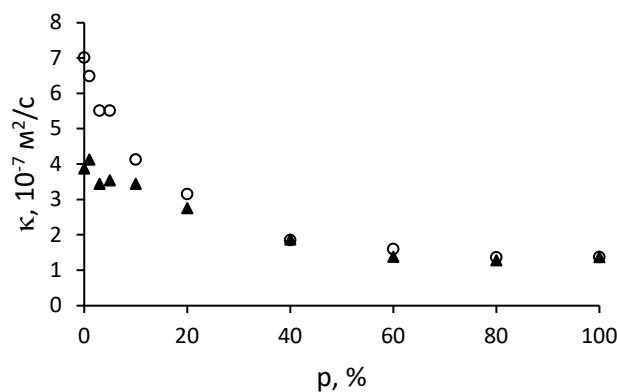


Рис. 2. Температуропроводность ( $k$ ) капиллярно-увлажненных образцов при различном содержании торфа ( $p$ ) для торфо-песчаных (белые кружки) и почвенно-торфяных (черные треугольники) смесей

При работе со смесями был выявлен нелинейный характер зависимости температуропроводности от содержания торфа, что хорошо видно на примере капиллярно-увлажненных образцов (рис. 2). Добавление небольшого количества торфа в песчаный или почвенный субстрат в количестве 3-10 % сильно снижает температуропроводность смеси. При этом, наоборот, даже существенные добавления песка или материала гор. Апах к торфу практически никак не меняют температуропроводность, пока содержание торфа не снизится до 60 %, что хорошо видно на правой части рисунка 2.

Выявленный эффект можно объяснить тем, что при добавлении единичных зерен песка или почвенных частиц в торф они не влияют на транспорт тепла. Около 60 % содержания торфа наблюдается порог, после которого в торфяной толще начинают формироваться непрерывные минеральные цепочки, которые могут служить путями быстрого переноса тепла. Добавление большего количества песка или почвы приводит к росту сети таких цепочек, и, по-видимому, начиная с 60 % объемного содержания песка/почвы мы имеем дело с субстратом, температуропроводность которого быстро растет по мере уменьшения количества и толщины торфяных теплоизолирующих прослоек между минеральными зёрнами. Для почвенно-



торфяных смесей нелинейный эффект выражен не столь ярко, как для торфо-песчаных, что неудивительно, если принять во внимание меньшую контрастность тепловых свойств в паре «торф – гор. А<sub>пах</sub>» по сравнению с парой «торф – песок» (рис. 1). При содержании торфа 40 % и выше температуропроводности торфо-песчаных и почвенно-торфяных смесей практически совпадают, что подтверждает гипотезу о преобладающей роли торфа в формировании температуропроводности смесей с его высоким содержанием.

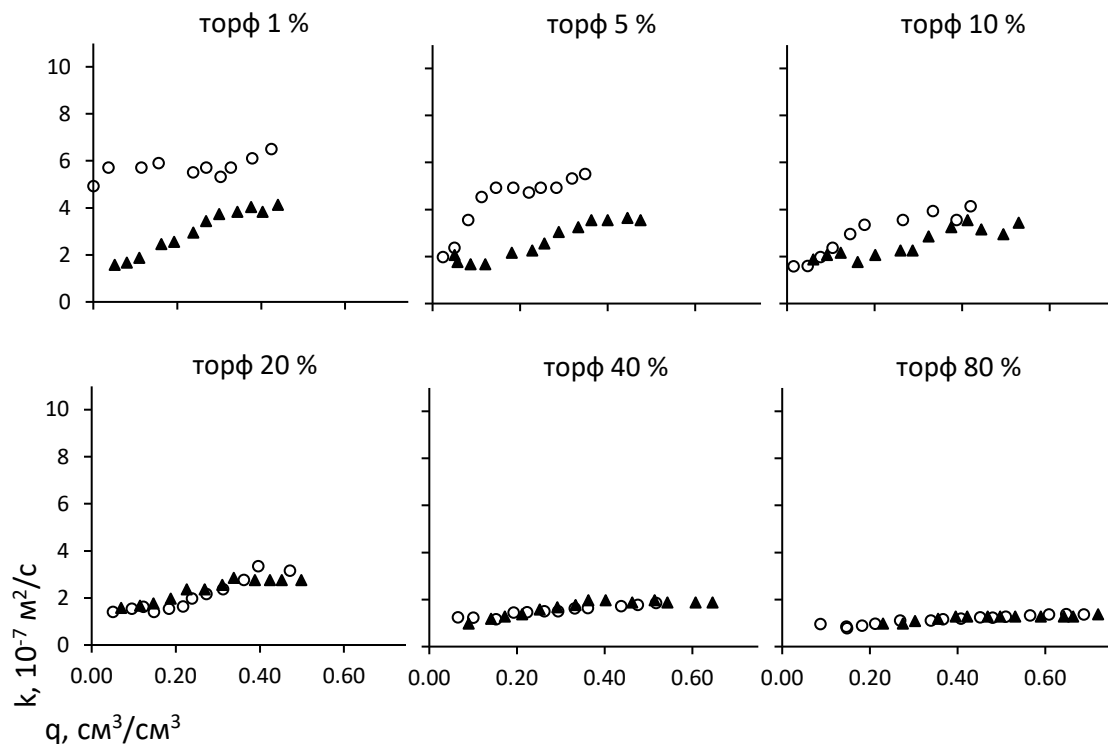


Рис. 3. Зависимости температуропроводности ( $k$ ) от влажности ( $q$ ) для торфо-песчаных (белые кружки) и почвенно-торфяных (черные треугольники) смесей при различном содержании торфа

Анализ зависимостей температуропроводности от влажности (рис. 3) подтверждает выявленные закономерности. Основное уменьшение температуропроводности наблюдается при изменении содержания торфа от 0 до 40 %. Расхождения между торфо-песчаными и почвенно-торфяными образцами наблюдаются лишь при содержании торфа менее 20 %.

### Выводы

Внесение небольших добавок торфа в песок может приводить к существенному снижению температуропроводности. Малые добавки торфа к почве не оказывают столь же значительного влияния на температуропроводность смеси, как в случае песка. Для получения сколько-либо значимого увеличения температуропроводности торфяного субстрата необходимо внести в него не менее 60 % песка или почвы.

### Благодарности

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 19-04-01298.

### Список литературы / References

- Архангельская Т.А. Параметры зависимости температуропроводности минеральных почв от влажности для различных текстурных классов // Почвоведение. 2020. № 1. С. 44-55.
- Архангельская Т.А. Температурный режим и тепловые свойства почв // Теории и методы физики почв. Коллективная монография под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. М.: Гриф и К, 2007. С. 373-401.
- Умарова А.Б., Сусленкова М.М., Бутылкина М.А., Салимгареева О.А., Кокорева А.А., Ежелев З.С., Гасина А.И. Гидросорбционные и микроструктурные характеристики почвенных субстратов разного генезиса и их изменение в составе конструкторземов // Почвоведение. 2019. №. 11. С. 1346-1355.
- Witkowska-Walczak B., Bieganski A., Rovdan E. Water-air properties in peat, sand and their mixtures // International Agrophysics. 2002. Vol. 16. P. 313–318.

### THERMAL DIFFUSIVITY OF PEAT-SAND AND SOIL-PEAT MIXTURES AT DIFFERENT WATER CONTENTS

T. A. ARKHANGELSKAYA, E.V. TELYATNIKOVA

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, arhangelskaia@gmail.com;*

**Abstract.** The results of determining thermal diffusivities of peat-sand and soil-peat mixtures obtained by the unsteady-state method for different water contents are discussed. The research objects were mixtures of lowland packaged peat “Seliger-Agro” and (a) quarry sand or (b) topsoil layer of urbanozem from the territory of the Moscow State University Soil Station. Sand and topsoil were mixed with peat in different proportions; peat dry weight content in mixtures was from 1 to 80 %. Thermal diffusivity was measured for water contents from the capillary-saturated state to the air-dry state. The nonlinear character of thermal diffusivity vs. peat content dependence was revealed.

**Keywords.** Thermal diffusivity, peat-sand mixtures, soil-peat mixtures, the unsteady-state method.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ГИДРОФИЛЬНО-ГИДРОФОБНЫХ СВОЙСТВ ВЛАЖНЫХ ПОЧВ**

Д. И. ПОТАПОВ, И. В. ГОРЕПЕКИН, Г. Н. ФЕДОТОВ

МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, [zmiyovka1995@mail.ru](mailto:zmiyovka1995@mail.ru)

**Аннотация.** Разработана методика, позволяющая определять гидрофильно-гидрофобные свойства почв различной влажности по площади пятна, остающегося на поверхности почвы после впитывания капли раствора, содержащего флуорисцеин. Показано, что движение воды в почве заключается в сочетании двух процессов: впитывания воды внутрь агрегатов и ее перемещения по их поверхности с образованием пленки.

**Ключевые слова.** Методы определения гидрофильно-гидрофобных свойств почв, метод пятна, взаимодействие почвенных агрегатов с водой.

### **Введение**

Водоотталкивающая способность является важным свойством почв, влияющим на происходящие в них процессы: сорбцию воды, транспорт веществ, фильтрационную способность, водоустойчивость, равномерность их увлажнения (Doerr et al., 2000).

К настоящему времени разработано достаточно много методов для определения гидрофобности почв. WDPT-test (Dekker, 1994) основан на измерении времени проникновения капли воды в образец почвы, и чем больше это время, тем более гидрофобной является почва. Метод молярности (MED-test) водно-этаноловых капель (King, 1981) идентичен предыдущему методу, только в данном случае вместо воды используют водно-спиртовой раствор. Кроме того, для оценки гидрофобности почв используются методы определения краевого угла смачивания: метод «сидячей капли» (Leelamanie et al., 2008) и метод подъема капиллярной каймы (Zhang, Pei, 2020).

Все эти методы основаны на работе с почвами низкой влажности и их сложно, а зачастую невозможно использовать для работы в интервале влажностей от ВРК до НВ и выше, наиболее интересных для сельского хозяйства. Таким образом, простых методов, позволяющих оценить гидрофобность почв естественной влажности, на данный момент не существует.

Целью работы является разработка метода оценки гидрофильно-гидрофобных свойств влажных почв.

### **Объекты и методы исследования**

В работе использовали образцы почв зонального ряда:

- агродерново-глубокоподзолистой легкосуглинистой на водно-ледниковых (древнеозерных) отложениях почвы, подстилаемой с глубины 92 см бескарбонатными лёссовидными (покровными) суглинками.
- серой лесной освоенной со вторым гумусовым горизонтом высококовскипающей среднесуглинистой почвы на лёссовидных карбонатных суглинках;
- чернозема выщелоченного среднесплодного среднесуглинистого на лёссовидном суглинке.
- каштановой среднесплодной легкосуглинистой на элюво-делювиальных суглинках, залежь

### **Результаты и обсуждение**

Разработанный метод определения гидрофильно-гидрофобных свойств почв является модификацией хорошо известного метода времени проникновения капли воды в почву. Отличие заключается в фиксации результата: определяется не время проникновения капли воды в почву, а средний размер пятна после ее поглощения почвой. У этого метода есть легкоустраняемый недостаток: после впитывания капли воды во влажный почвенный образец пятна не видно. Для решения этой проблемы в воду был добавлен флуоресцеин натрия в концентрации 2 г/л, раствор

которого светится под воздействием УФ излучения, что позволяет получать хорошо отличимые от почвы по цвету пятна. Их фотографировали, и определяли площадь пятен путем взвешивания копий изображения. Метод позволяет оценивать гидрофильно-гидрофобные свойства почв в широком диапазоне влажностей и дает возможность получать хорошо воспроизводимые данные (рис. 1). Ошибка измерения при трехкратной повторности не превышает 20%.

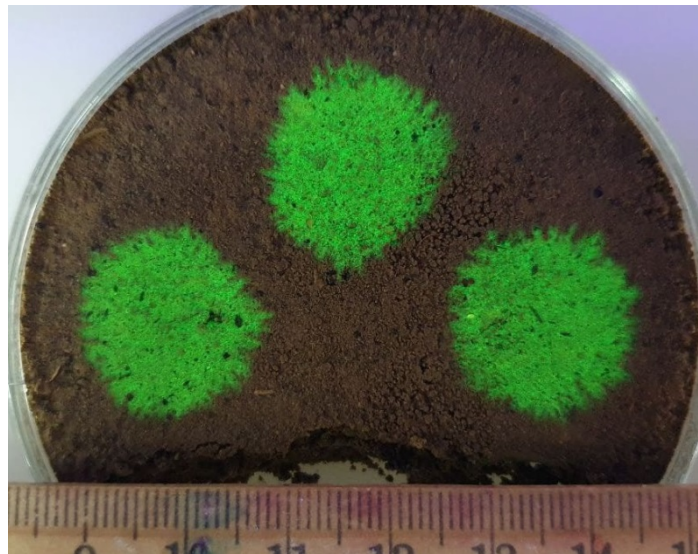


Рис. 1. Фотография пятен, остающихся после попадания капли раствора флуорисцеина натрия на поверхность образца дерново-подзолистой почвы

Для определения гидрофильно-гидрофобных свойств почв «методом пятна» использовали воздушно-сухие почвы, просеянные через сито 2 мм, которые насыпали в чашки Петри и выравнивали поверхность почвенных образцов, убирая излишки почвы. Для уплотнения и равномерного распределения почв внутри чашек использовали вибрацию. Для предотвращения процесса самосортировки почвенных частиц и агрегатов при вибровоздействии на поверхность образцов перед включением вибростол помещали груз цилиндрической формы массой 900г, имеющий диаметр равный внутреннему диаметру (70 мм) чашек Петри. После уплотнения с помощью распылителя к образцам добавляли количество воды необходимое для достижения конкретной влажности почвы. Для равномерного распределения воды образцы почвы герметично закрывали и оставляли на 3 суток и только после этого проводили измерения. Использовали вибростол Renfert Vibrax. Уплотнение производили в течение 10 секунд при частоте вибрации 50 Гц с использованием длинноволнового диапазона на втором уровне интенсивности.

На рисунке 2 представлены кривые зависимости размера пятен на поверхности почвенных образцов от влажности после попадания капель воды для разных типов почв. Хорошо видно, что гидрофильность почв возрастает с увеличением их влажности. Данные, полученные с использованием этого метода, не противоречат и логично объясняются с позиции существующих представлений о гидрофобности почв в зональном ряду (Милановский, 2009).

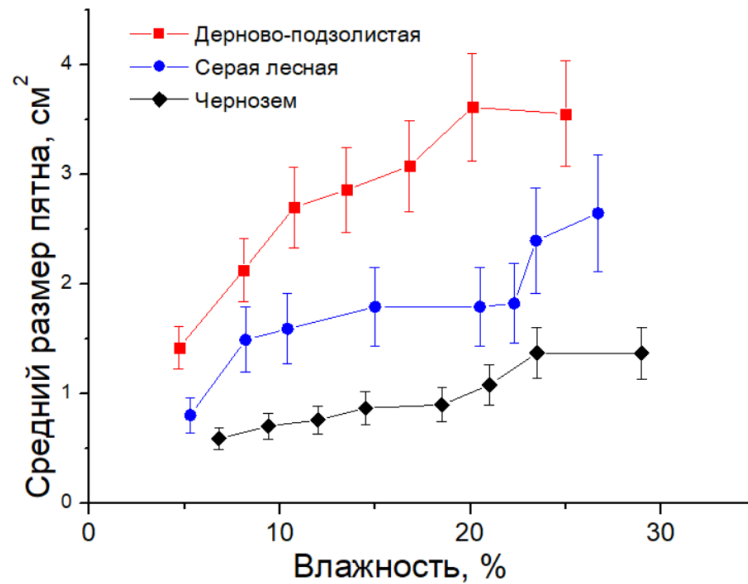


Рис. 2. Графики зависимости размера пятен после попадания капли воды на поверхность почвы от ее влажности

Для того чтобы лучше разобраться в процессе поведения воды при попадании капли на поверхность почвенного образца, изучили взаимодействие агрегатов гидрофильной (дерново-подзолистой) и гидрофобной (каштановой) почв разной влажности с водой.

В области низких влажностей происходит хорошо известное всем впитывание капли воды внутрь почвенных агрегатов. В процессе капиллярного увлажнения агрегата вода полностью смачивает весь его объем, о чем свидетельствует (рисунок 3А) равномерная окраска флуорисцеином всего среза агрегата. С увеличением влажности почвы процесс капиллярного увлажнения агрегатов принципиально меняется: впитывание воды внутрь замедляется, однако при этом наблюдается ее движение по поверхности агрегатов (рисунок 3Б) с образованием пленки таким образом, что они оказываются как бы внутри капли воды, о чем говорит наличие зеленой окраски во внешних слоях агрегата. Таким образом, в диапазоне средних влажностей от 10 до 25% вода преимущественно движется по поверхности агрегатов, увлажняя их поверхностные слои и слабо промачивая внутренние. При дальнейшем увеличении влажности происходит замедление, а затем прекращение движения воды по поверхности агрегата, а его промачивание при больших влажностях происходит очень медленно, о чем свидетельствует наличие окраски только в части агрегата, контактирующего с водой (рисунок 3В).

С каштановой почвой ситуация несколько другая. Процессы впитывания воды внутрь агрегатов и их равномерного смачивания происходят начиная с области низких влажностей и до высоких порядка 28-30%. Об этом говорит равномерная окраска срезов этих агрегатов, показанная на рисунке 4.

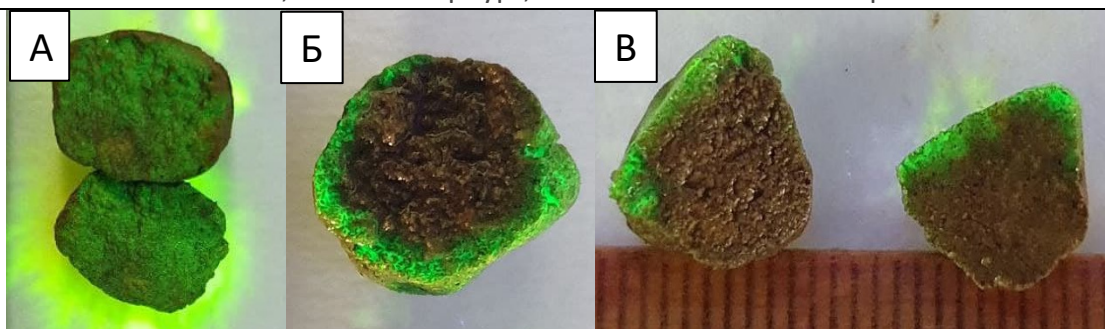


Рис. 3. Фотографии разрезов агрегатов дерново-подзолистой почвы после капиллярного увлажнения: А-воздушно-сухой, Б-влажность 18%, В-влажность 25%

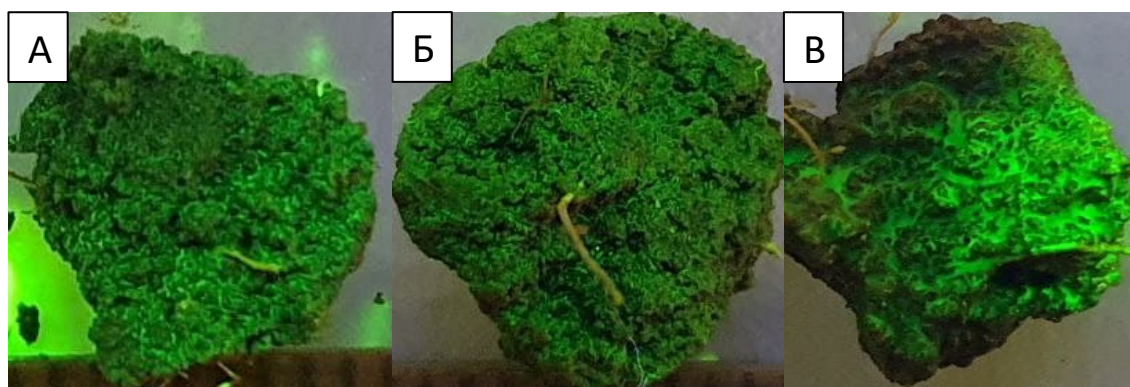


Рис. 4. Фотографии разрезов агрегатов каштановой почвы влажностью 13% (А), 22% (Б) и 29% (В) после капиллярного увлажнения

При дальнейшем увеличении влажности агрегаты перестают полностью пропитываться, и наблюдается их смачивание в поверхностных слоях, что хорошо видно на рисунке 5А. Однако полноценной пленки как у дерново-подзолистой почвы не образуется. Только достигая очень высоких значений влажности почвы порядка 38-40 процентов, вода перестает двигаться по поверхности агрегата, и скорость его смачивания падает (рисунок 5Б).

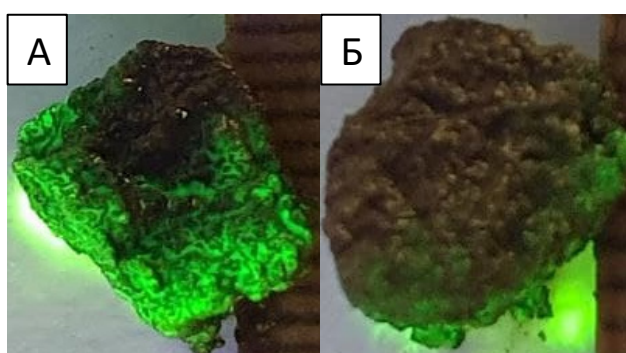


Рис. 5. Фотографии разрезов агрегатов каштановой почвы влажностью 36%(А) и 39%(Б) после капиллярного увлажнения

Движение воды для разных типов почв отличается и заключается в сочетании двух механизмов:

- 1) проникновение воды внутрь агрегатов
- 2) движение воды по поверхности агрегатов с образованием пленки воды.

Для каштановой почвы в широком интервале влажностей доминирующим механизмом является впитывание воды внутрь агрегатов. Однако с дерново-подзолистой почвой ситуация другая: в области средних влажностей скорость впитывания воды внутрь падает и доминирующим

процессом является движение воды по поверхности агрегатов. Исходя из этого, можно предположить, что движение воды для некоторых почв в определенном интервале влажности происходит не путем ее впитывания, а преимущественно путем ее передвижения по поверхности почвенных частиц и агрегатов. Различия между типами почв в распределении воды являются интересными с точки зрения перемещения и распределения воды и вносимых удобрений внутри почвенной толщи. При этом вероятнее всего эти процессы для разных типов почв будут отличаться, поэтому данный вопрос требует дальнейшего изучения.

### Выводы

1. Разработан метод позволяющий определять гидрофильно-гидрофобные свойства почв в широком интервале влажностей: от воздушно-сухой до НВ и выше.
2. Показано, что движение воды в почве заключается в сочетании двух процессов: впитывания воды внутрь агрегатов и ее перемещения по их поверхности с образованием пленки, причем для дерново-подзолистой почвы, в отличие от каштановой, в области средних влажностей доминирующим процессом является именно передвижение воды по поверхности агрегатов.

### Список литературы / References

- Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М.: ГЕОС, 2009. 186 с.
- Dekker L. W., Ritsema C. J. How water moves in a water repellent sandy soil: 1. Potential and actual water repellency //Water Resources Research. 1994. V. 30. no. 9. P. 2507-2517.
- Doerr S. H., Shakesby R. A., Walsh R. P. D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance //Earth-Science Reviews. 2000. V. 51. no. 1-4. P. 33-65.
- King P. M. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement //Soil Research. 1981. V. 19. no. 3. P. 275-285.
- Leelamanie D. A. L., Karube J., Yoshida A. Characterizing water repellency indices: Contact angle and water drop penetration time of hydrophobized sand //Soil Science & Plant Nutrition. 2008. V. 54. no. 2. P. 179-187.
- Zhang S., Pei H. Rate of capillary rise in quartz nanochannels considering the dynamic contact angle by using molecular dynamics //Powder Technology. – 2020. – Т. 372. – С. 477-485.

### DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSESSING THE HYDROPHILIC-HYDROPHOBIC PROPERTIES OF WET SOILS

D. I. ПОТАПОВ, I. V. ГОРЕПЕКИН, G. N. ФЕДОТОВ

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Moscow, zmiyovka1995@mail.ru*

**Annotation.** A method has been developed to determine the hydrophilic-hydrophobic properties of soils of different humidity by the size of the spot remaining on the soil surface after absorbing a drop of a solution containing fluorescein. It is shown that the movement of water in the soil consists in a combination of two processes: the absorption of water into the aggregates and its movement along their surface with the formation of a film.

**Keywords.** Methods of determining hydrophilic-hydrophobic properties of soils, spot size method, interaction of soil aggregates with water.

## ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОРФЯНЫХ СУБСТРАТОВ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ АЛЬТЕРНАНТЕРЫ ПУРПУРНОЙ В СИСТЕМЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАТОПЛЕНИЯ

А. Э. ТЫНИССОН<sup>1</sup>, З.С. ЕЖЕЛЕВ<sup>2</sup>, В.Р. ПРАЗДНИКОВ<sup>3</sup>, А. Г. БОЛОТОВ<sup>4</sup>

<sup>1, 2</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва;

<sup>3</sup> «Центральный парк культуры и отдыха имени Максима Горького»;

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет МСХА имени  
К.А. Тимирязева»

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования гидрофизических свойств трех типов грунтов (Peter Peat, Klasmann TS1, Klasmann TS2), которые используются в оранжерее закрытого типа в Парке Горького для выращивания однолетних культур, с добавками пеностекла различных фракций и битого кирпича. В результате измерения сухой и мокрой биомассы Альтернантеры пурпурной Никита грунты Peter Peat и Klasmann TS1 с битым кирпичом оказались наиболее подходящими для черенкования данной культуры. Оценка гидрофизических свойств показала, что наиболее подходящий грунт для данной культуры – Klasmann TS1. Добавки к грунту повлияли на гидрофизические свойства незначительно.

**Ключевые слова.** Торфогрунты, пеностекло, воднофизические свойства.

### Введение

В настоящее время в оранжереях закрытого типа используются различные грунты и субстраты для выращивания однолетних культур, которые должны обладать рядом характеристик: высоким содержанием основных питательных веществ (азот, калий, фосфор, магний), оптимальным для выбранной культуры показателем pH, хорошими воздухоемкостью, влагоемкостью, смачиваемостью, воздухопроницаемостью, однородностью, высокой водоудерживающей способностью (1, 2, 3). При использовании грунтов необходим дренаж, который с одной стороны, не давал бы влаге застаиваться, с другой — сохранял бы определенный запас для лучшего развития корневой системы. В качестве дренажа довольно длительное время применяется керамзит, состоящий из гидрослюдистых и монтмориллонитовых глин. У этого материала есть ряд недостатков, среди которых закрытые поры в отличие от пеностекла, где поры открытые, что даёт дополнительный запас влаги корневой системе. В данной работе был проведён эксперимент по смешиванию классических грунтов и добавок пеностекла различной фракции и битого кирпича. Добавление этих материалов к субстратам обеспечит не только запас влаги, но и дополнительный скелет бесструктурному и набухающему при увлажнении торфу. Целью работы было оценить гидрофизические свойства торфяных субстратов для выращивания Альтернантеры пурпурной в системе периодического затопления. В задачи работы вошли: оценка влияния трех типов грунта (Peter peat, Klasmann TS1, Klasmann TS2) с различными добавками (пеностекло фракций <0,8 мм, 0,8-5 мм, 5-10 мм и битого кирпича) на скорость укоренения и биомассу Альтернантеры пурпурной Никита, оценка уровня кислотности в субстратах, оценка воднофизических свойств грунтов.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования стали три типа грунта, которые применяются в оранжерее Парка Горького для выращивания различных культур, со следующими характеристиками (табл. 1) (4, 5):



Таблица 1. Характеристики грунтов

Название грунта	Состав	N (нитратный + аммонийный) мг/л	P2O5 мг/л	K2O мг/л	Mg мг/л	pH <sub>KCl</sub>	W, %
Peter Peat	Верховой торф низкой степени разложения с добавлением известкового материала и комплексного минерального удобрения PG mix	150	115	230	-	Не менее 5,5	Не более 60%
Klasmann TS 1 (рецептура 876)	100% белый торф с 78% влагоемкости, 10% воздухоемкости и 12% сухого вещества	140	100	180	100	6	Не менее 60%
Klasmann TS 2 (рецептура 420)	100% белый торф с 75% влагоемкости, 10% воздухоемкости и 12% сухого вещества	280	200	360	100	6	Не менее 60%

В каждый грунт было добавлено четыре типа субстратов: пеностекло (<0,8 мм, 0,8-5 мм, 5-10 мм) и битый кирпич. В качестве оценочной культуры была выбрана Альтернантера пурпурная Никита. Методы:

1. Подготовка посадочного материала проводилась методом черенкования.
2. Грунты смешивались с добавка в следующих соотношениях в пересчете на сухое вещество (табл. 2):

Таблица 2. Соотношение субстрат/добавочный компонент в пересчете на сухое вещество, г/г

Субстрат/сухое в-во	<0,8 мм	0,8-0,5 мм	5-10 мм	битый кирпич
PETER PEAT	1434/202	1434/207	1434/176	1434/195
KLASMANN TS 1 для посева	1534/202	1534/207	1534/176	1534/195
P.P/KLSMN/2 %	1500/202	1500/207	1500/176	1500/195

3. Полив производится методом периодического затопления без применения удобрений.
4. Для оценки гидрофизических свойств был использован метод тензиометра с использованием тензиометра T5x-10 фирмы UMS.
5. Для измерения pH водного раствора был применён метод водной вытяжки по ГОСТу № 26423-85 с применением pH-метра Ohaus ST20 RU (6).

### Результаты и обсуждение

В результате измерения надземной биомассы Альтернантеры пурпурной Никита, были получены следующие результаты: наибольшие значения наблюдаются при выращивании культуры в грунте Klasmann TS1 и Peter Peat с добавлением кирпича, а также на чистом грунте Klasmann TS1. Битый кирпич был раздроблен неоднородно, поэтому в массе грунта были как крупные включения, которые послужили дополнительным источником влаги, так мелкодисперсная фракция, обеспечившая высокую пористость и, следовательно, воздухоёмкость. Наименьшие значения биомасс были выявлены при добавлении фракции пеностекла <0,8 мм ко всем типам грунта (табл. 3).

Таблица 3. Результаты определения мокрой и сухой биомасс Альтернантеры пурпурной Никита

Типы грунта и добавки	Среднее значение мокрой биомассы, г	Среднее значение сухой биомассы, г
PP + < 0,8 мм	2,28±0,31	0,24±0,06
PP + 0,8-5 мм	2,37±0,3	0,24±0,02
PP + 5-10 мм	2,69±0,35	0,27±0,05
PP + бит. кирп.	2,93±0,49	0,32±0,05
PP фон	2,62±0,65	0,29±0,05
KLSMN TS1 + <0,8 мм	2,24±0,45	0,24±0,04
KLSMN TS1 + 0,8-5 мм	2,76±0,31	0,26±0,03
KLSMN TS1 + 5-10 мм	3,13±0,53	0,30±0,05
KLSMN TS1 + бит. кирп.	3,33±0,25	0,31±0,02
KLSMN TS1 фон	3,08±0,38	0,29±0,04
PP/KLSMN + <0,8 мм	2,06±0,47	0,21±0,03
PP/KLSMN + 0,8-5 мм	2,48±0,5	0,23±0,04
PP/KLSMN + 5-10 мм	2,37±0,41	0,24±0,04
PP/KLSMN + бит. кирп.	2,61±0,26	0,25±0,02
PP/KLSMN + фон	2,00±0,39	0,20±0,03

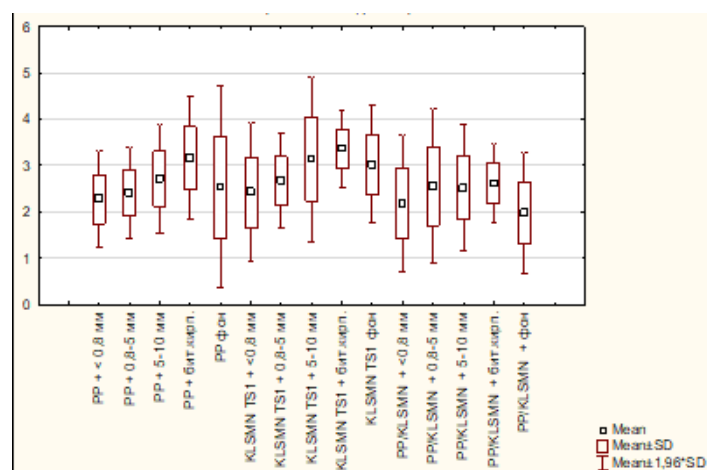


Рис. 1. Диаграмма размаха для значений мокрой биомассы Альтернантеры пурпурной на разных типах грунта

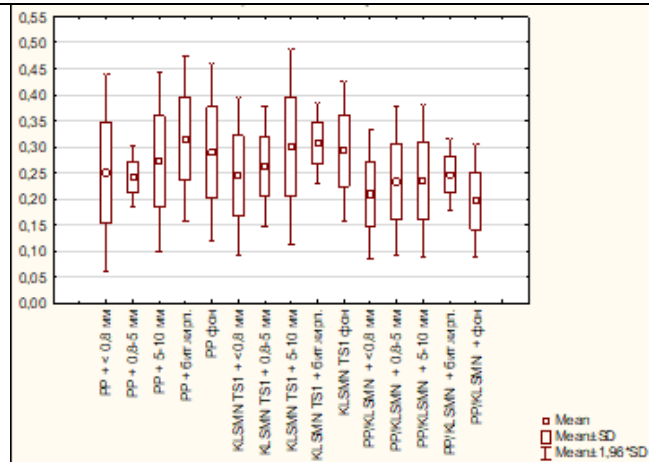


Рис. 2. Диаграмма размаха для значений сухой биомассы Альтернантеры пурпурной на разных типах грунта

По диаграммам размаха видно, что для мокрой биомассы и сухой разброс максимумом и минимум отличается (рис. 1, рис. 2).

Также было оценено влияние различных добавок на pH водного раствора. Наибольшие показатели кислотности были выявлены в тех грунтах, куда было добавлено пеностекло фракции <0,8 мм. Мелкодисперсность пеностекла за счет большей площади поверхности сильнее подщелачивает грунт, при этом pH водный остается в оптимальном для растений диапазоне. Наименьшие значения pH водного характеризуют грунты без добавок. Таким образом, можно сделать вывод о том, что добавки как пеностекла, так и битого кирпича влияют на уровень кислотности, а степень влияния обуславливается дисперсностью компонента (табл. 4).

Таблица 4. Показатель pH водный для различных типов грунтов

Типы грунта и добавок	pH водный	Типы грунта и добавок	pH водный
PP + < 0,8 мм	7,03	KLSMN TS1 + 5-10 мм	6,15
PP + 0,8-5 мм	6,92	KLSMN TS1 + бит. кирп.	6,20
PP + 5-10 мм	6,89	KLSMN TS1 фон	5,57
PP + бит. кирп.	6,85	PP/KLSMN + <0,8 мм	6,35
PP фон	6,68	PP/KLSMN + 0,8-5 мм	6,16
KLSMN TS1 + <0,8 мм	6,41	PP/KLSMN + 5-10 мм	6,15
KLSMN TS1 + 0,8-5 мм	6,23	PP/KLSMN + бит. кирп.	5,24
		PP/KLSMN + фон	4,60

По результатам анализа гидрофизических свойств методом тензиометрии, можно увидеть следующие отличия между грунтами:

1. Три исходных грунта – Peter peat, Klasmann TS1, Klasmann TS – в чистом виде без добавок имеют схожие воднофизические свойства в областях сорбционной влаги, пленочно-капиллярной и капиллярной влаги. Ближе к области насыщения начинаются расхождения в осях ОГХ. Вероятно, это может быть связано с различным фракционным составом (в грунте Klasmann TS2 наблюдались крупные растительные включения, в грунте Peter peat при производстве добавлялся перлит): чем более мелкодисперстен субстрат, тем больше в нем пор, способных удерживать влагу. Также такая закономерность может быть обусловлена различными гидрофильными и гидрофобными свойствами торфов (рис. 3).

2. При добавлении в грунт Peter peat битого кирпича, пеностекла фракций меньше 0,8 мм и 0,8-5 мм, его водоудерживающая способность в области крупных капилляров значительно снижается. Фракция пеностекла 5-10 мм влияет на гидрофизические свойства незначительно.
3. Схожие закономерности наблюдаются и в других типах грунта. Добавление в грунт Klasmann TS1 фракции пеностекла 5-10 мм, напротив, положительно сказалось на водоудерживающей способности.
4. В целом, как по своим гидрофизическим свойствам, так и по биомассе, грунт Klasmann TS1 оказался наилучшим для выращивания Альтернантеры пурпурной (рис. 3).

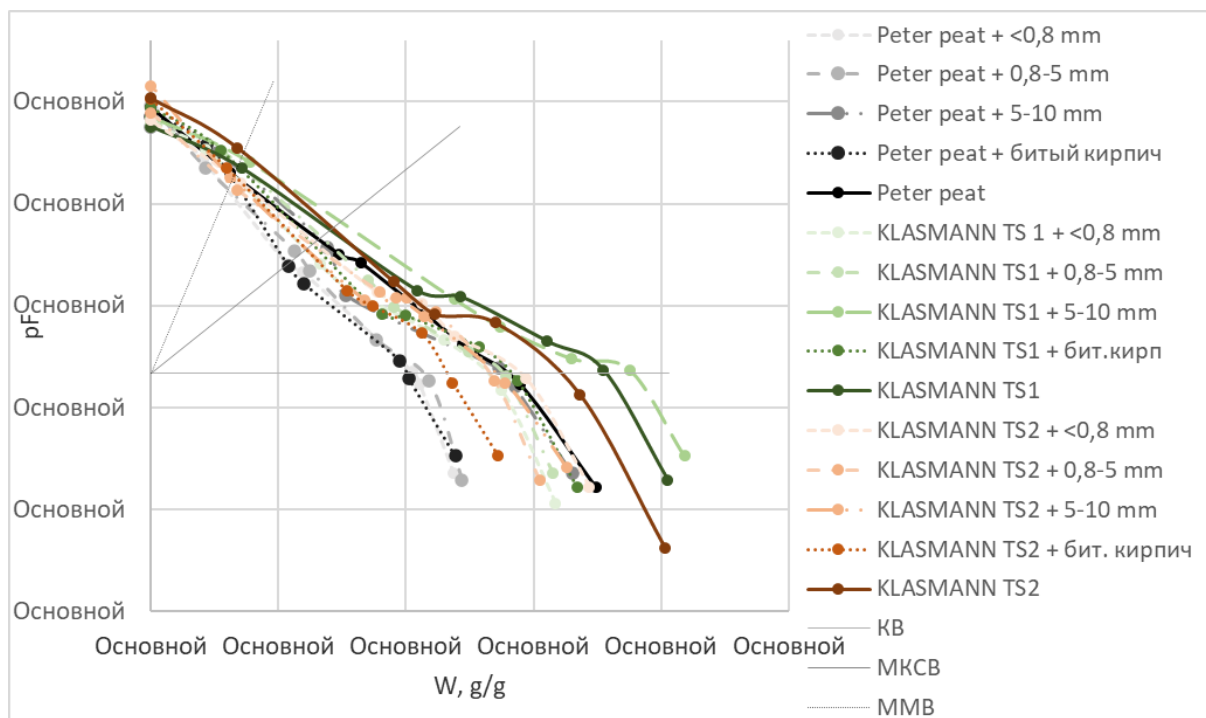


Рис. 1. Основная гидрофизическая характеристика трех типов грунтов с различными добавками

### Благодарности

В подготовке грунта и посадке участвовали студенты кафедры Физики и мелиорации почв: Сухова В.В., Чугунова О. Н., Шехтер К.П.

### Список литературы / References

1. Глобус А.М., Карлина И.А., Кузнецова Л.М., Кравцова Г.М. Влияние воднофизических свойств субстрата на продуктивность огурца // Плодоовощное хозяйство. 1985. № 9. С. 15-17.
2. Сафонова Е.В. Виды субстратов для овощей в защищенном грунте // Инновационная наука. 2015. № 7-2(7). С. 38-42.
3. Юдина И.Н., Попова Л.Д. Водные свойства пеностекла GROWPLANT // Территория науки. 2018. № 6. С. 45-48.
4. <https://www.peterpeat.ru/agroeconomy/line/torfyanye-substraty/>
5. <https://klasmann.ru/shop/torf-klasmann>
6. <https://docs.cntd.ru/document/1200023484>

---

**HYDROPHYSICAL PROPERTIES OF PEAT SUBSTRATES FOR GROWING ALTERNANTHERA PURPUREA IN A PERIODIC FLOODING SYSTEM**

A.E. TYNISSON<sup>1</sup>, Z.S. EZHELEV<sup>2</sup>, V.R. PRAZDNIKOV<sup>3</sup>, A.G. BOLOTOV<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> *Moscow State University named after M.V. Lomonosov;*

<sup>3</sup> *«Maxim Gorky Central Park of Culture and Recreation»;*

<sup>4</sup> *Russian State Agrarian University Moscow Timiryazev Agricultural Academy*

**Abstract.** The paper presents the results of a study of the hydrophysical properties of three types of soils (Peter Peat, Klasmann TS1, Klasmann TS2), which are used in a closed greenhouse in Gorky Park for growing annual crops, with additives of foam glass of various fractions and broken bricks. As a result of measuring the dry and wet biomass of the Alternanthers purple Nikita, the Peter Peat and Klasmann TS1 soils with broken bricks turned out to be the most suitable for cutting this crop. The evaluation of the hydrophysical properties showed that the most suitable soil for this crop is Klasmann TS1. Additives to the soil affected the hydrophysical properties slightly.

**Keywords.** substrates, foam glass, water-physical properties.

---

**СЕКЦИЯ «УПРАВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВ И СОСТОЯНИЕМ ЗЕМЕЛЬ В УСЛОВИЯХ  
ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА»**

---

**АГРОФИЗИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ ПРИ  
ЭКСТЕНСИВНОМ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОКА  
РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

А.А. АНАНЬЕВ<sup>1</sup>, С.В. ЖЕЛЕЗОВА<sup>2,3</sup>, О.А. САВОСЬКИНА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева;

<sup>2</sup> ФГБНУ ВНИИ фитопатологии;

<sup>3</sup> ФГБНУ ВНИИ агрохимии

**Аннотация.** Показано пространственное и профильное распределение агрохимических и агрофизических свойств темно-каштановой почвы при многолетнем выращивании озимой пшеницы по экстенсивной технологии на северо-востоке Ростовской области. Многолетние наблюдения NDVI позволили выявить на полях зоны разной продуктивности посевов. В данных зонах были показаны существенные различия по содержанию фосфора, гумуса и показателям рН, в то время, как по содержанию калия данные зоны практически не отличались. Выявлена регрессионная зависимость между показателем удельного электрического сопротивления почвы, рН и содержанием органического вещества в почвенном профиле.

**Ключевые слова.** Удельное электрическое сопротивление почвы, рН, содержание органического вещества.

**Введение**

Ростовская область традиционно является одним из лидеров России по производству сельскохозяйственной продукции, и по результатам 2019–2020 гг. занимает первое место в РФ по производству пшеницы ([www.donland.ru](http://www.donland.ru), 2020; <https://top-rf.ru/>, 2021). Почвенно-климатические условия региона являются благоприятными для выращивания озимой пшеницы даже при экстенсивном способе возделывания. Основные почвообразующие породы северо-востока Ростовской области — это карбонатные и карбонатно-сульфатные лессовидные суглинки и глины, а почвенный покров здесь представлен каштановыми почвами, нередко почвы имеют различную степень солонцеватости и находятся в комплексе с солонцами (Садименко, 1966). В настоящее время в Ростовской области отмечается физическая деградация и агроистощение пахотных земель (Безуглова, 2019), что проявляется в снижении доступных элементов минерального питания и органического вещества почвы. Согласно данным Государственной станции агрохимической службы «Цимлянская» за период наблюдений около 50 лет в почве происходит медленное, но устойчивое снижение содержания гумуса, которое с 1970 г. уменьшилось на 0,43% (Попов, 2018). Интенсивное использование пахотных земель Ростовской области также ускоряет процессы мобилизации калия в почве, что может привести к обеднению почвенного поглощающего комплекса. Для каштановых почв «характерна более высокая, чем для черноземов, степень подвижности калия, то есть перехода его из необменного состояния в обменное» (Турчин, 2014). В зависимости от интенсивности сельскохозяйственного использования в той или иной степени в почвах Ростовской области наблюдается недостаток подвижного фосфора и несбалансированное соотношение азота, фосфора и калия (Безуглова, 2019). При выращивании основной сельскохозяйственной культуры – озимой пшеницы – изучение агрофизических и агрохимических почвенных свойств является актуальной задачей для оценки потенциального плодородия.

**Цель исследования:** оценить агрофизические и агрохимические показатели плодородия каштановой почвы при возделывании озимой пшеницы по экстенсивной технологии при различных культурах-предшественниках.

**Материалы и методы исследования**

Исследование проводили на производственных полях с посевами пшеницы в Цимлянском районе Ростовской области 2019 и 2020 гг. Почва участка тёмно-каштановая слабосмытая тяжелосуглинистая слабосолонцеватая на лессовидных суглинках. Обследуемая площадь 76 га. В хозяйстве выращивают озимую пшеницу по экстенсивной технологии, чередуя её с чистым паром, а также используют посев пшеницы по пласту многолетних бобовых кормовых трав (люцерна) и по залежи, которая используется как пастбище. В 2019 г. на поле было заложено 16 точек по посевам озимой пшеницы, люцерны и на пастбище (предшественники для озимой пшеницы). В этих точках проводили измерение удельного электрического сопротивления методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), твёрдости и массовой влажности почвы на глубину до 1 м, а также были отобраны образцы для агрохимического анализа почвы. В сезон 2020 было обследовано 34 точки по тем же показателям. Точки обследования закладывали не случайным и не регулярным методом, а по результатам предварительной оценки уровня плодородия на основании многолетнего композита NDVI с использованием возможностей агроплатформы ExactFarming. Под посевами пшеницы были выделены зоны высокой, средней и низкой продуктивности почвы. Отдельно оценивали агрофизические и агрохимические свойства почвы на участке под пастбищем и под многолетними посевами люцерны. В почвенных образцах, отобранных послойно с поверхности до глубины 100 см определяли следующие агрохимические показатели: pH, содержание гумуса и общего азота (%), подвижного фосфора и калия по Мачигину (мг/кг почвы), сумму поглощенных оснований (мг\*экв/100 г почвы), содержание легкорастворимых солей.

**Результаты и обсуждение**

Наибольший интерес представляет сравнение показателей плодородия в контрастных зонах, выделенных по многолетнему анализу NDVI, т.е. при трёх уровнях продуктивности полей. В условиях экстенсивного возделывания пшеницы были выявлены существенные различия в профильном распределении фосфора, калия, гумуса и pH почвы (рис. 1). Зона 1 соответствует высокой, зона 2 средней, и зона 3 низкой продуктивности полей.

В целом, содержание подвижных фосфора и калия в почве соответствуют средним зональным показателям. Выявленные на основании анализа NDVI зоны более высокого плодородия существенно отличаются от других зон по количеству гумуса в почве и уровню обеспеченности фосфором и калием. По показателю pH все почвы характеризуются как слабощелочные, по сумме поглощенных оснований почвы из сравниваемых зон не различались. Как было показано ранее (Ананьев с соавт., 2020), показатель УЭС резко снижается, а твёрдость почвы возрастает вниз по почвенному профилю. При этом наиболее сильный разброс абсолютных значений показателя УЭС отмечен в поверхностном слое почвы, а вниз по профилю разброс снижается (рис. 2).

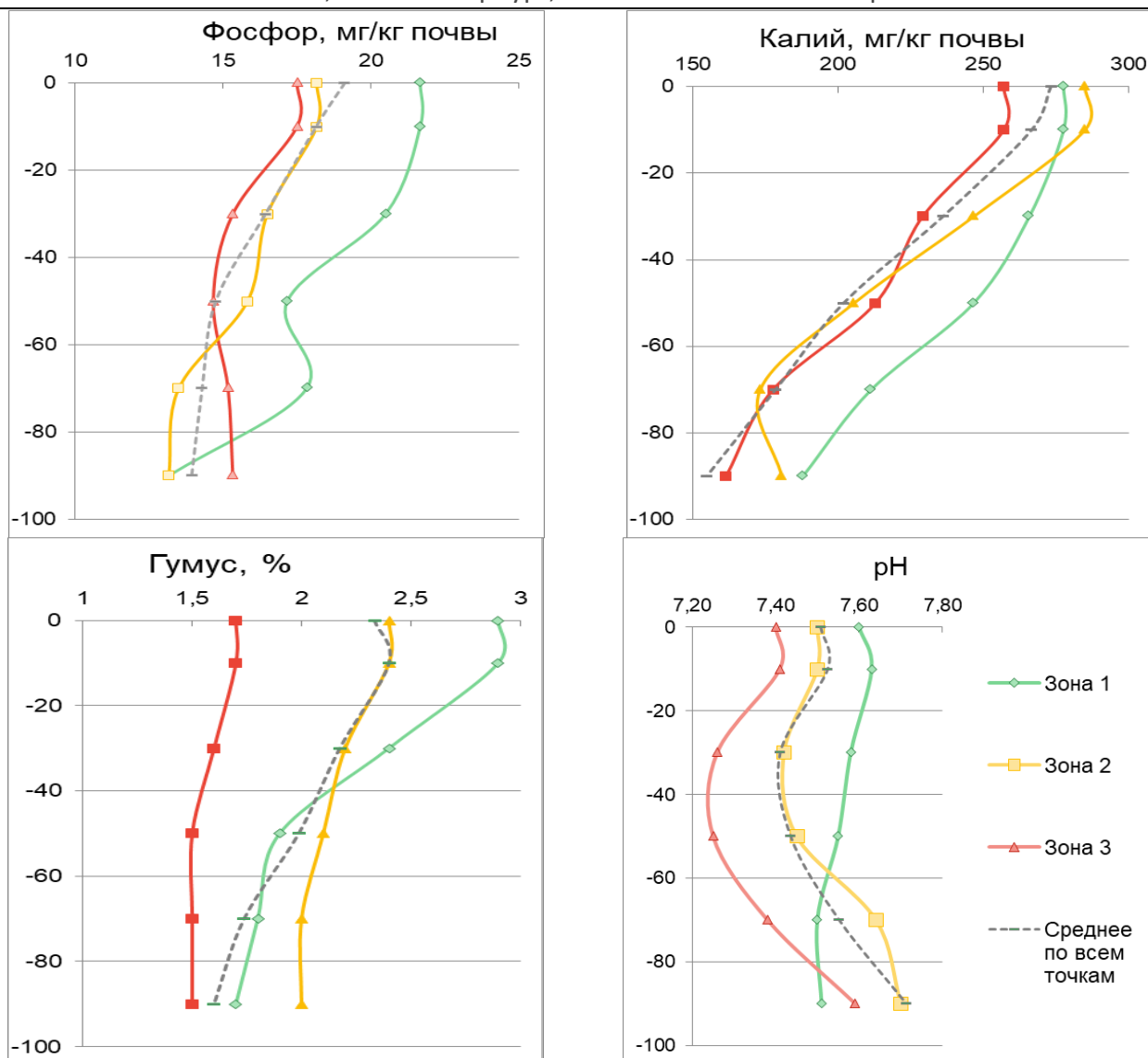


Рис. 1. Профильное распределение основных агрохимических показателей почвы в разных зонах продуктивности

Удельное электрическое сопротивление окультуренных почв зависит от pH и содержания гумуса (Поздняков с соавт., 2015). В случае каштановой почвы при её полной полевой влагоёмкости было показано, что УЭС связано с показателем pH только верхнего (пахотного) слоя почвы, в нижних слоях зависимости между pH и УЭС не было выявлено (рисунок 3, а). Зависимость УЭС от содержания гумуса, напротив, была выявлена нами только для глубоких слоев почвы (60–80 и 80–100 см), а для поверхностного слоя (0–20 см) зависимости не было выявлено.

Зависимость показателя УЭС от pH почвы и содержания гумуса описывается степенной функцией с достаточно высоким коэффициентом детерминации ( $R^2=0,54-0,73$ ).



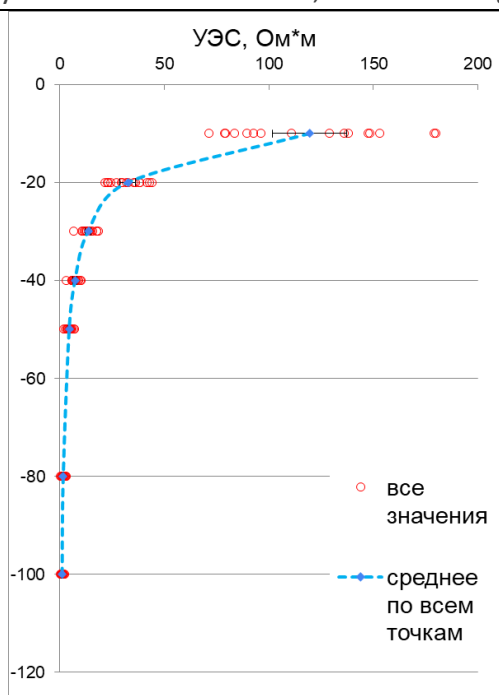


Рис. 2. Профильное распределение и разброс значений удельного электрического сопротивления вниз по профилю каштановой почвы при полевой массовой влажности 18–24%

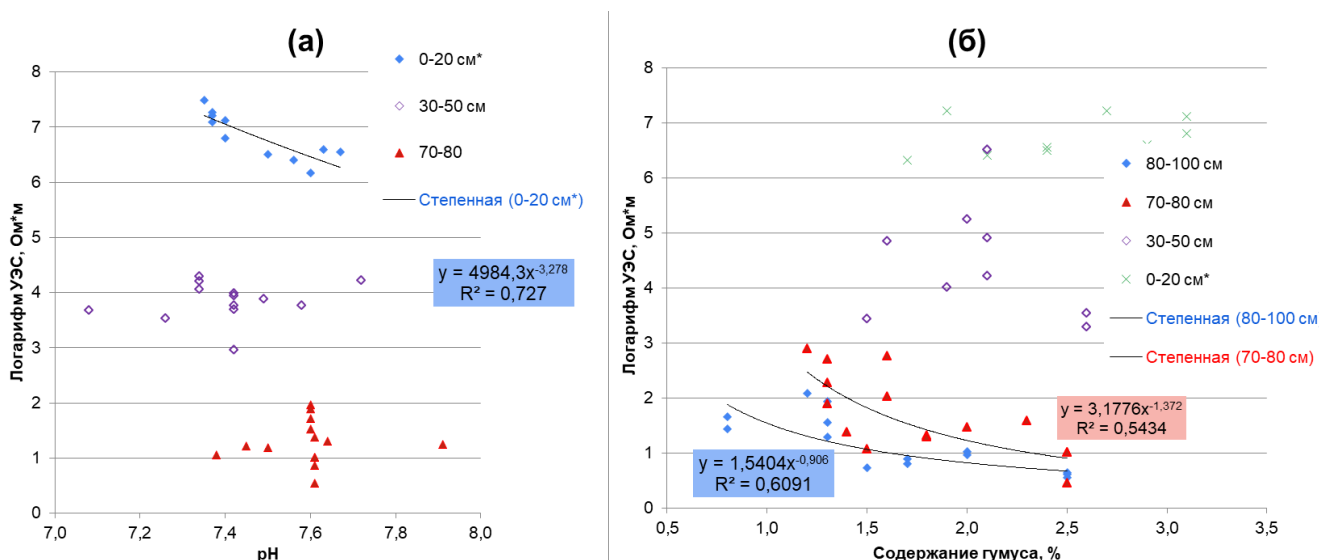


Рис. 3. Регрессионная зависимость показателя УЭС от pH почвы и содержания гумуса.

\* Исходные показатели УЭС прологарифмированы по основанию 10

### Заключение

Для тёмно-каштановых почв северо-востока Ростовской области под озимой пшеницей по результатам сопоставления многолетних данных по NDVI были выявлены зоны неодинакового плодородия. В результате проведения агрохимических анализов в данных зонах было показано, что они различаются по количеству доступного фосфора, содержанию гумуса в почве и по показателю pH.

В условиях полевого эксперимента при высоком влагонасыщении почвы ранней весной (до 24% массовой влажности) было выявлено, что показатель удельного электрического

сопротивления почвы связан обратной зависимостью с содержанием гумуса в глубоких (70...100 см) слоях почвы и с показателем pH в пахотном (0...20 см) слое почвы.

Наибольшая вариабельность удельного электрического сопротивления почвы отмечена для поверхностного слоя, где разброс значений составил от 60 до 180 Ом\*м. Вниз по профилю почвы показатель удельного электрического сопротивления снижается, и на глубинах более 50 см для всех исследованных точек в зоне обследования 76 га представлен практически одинаковыми значениями, не превышающими 10 Ом\*м.

### Список литературы / References

1. Ростовская область – в первой десятке регионов по производству основных сельхозпродуктов // Официальный портал правительства Ростовской области <https://www.donland.ru/news/7971/> [публикация от 19.02.2020, просмотрено 10.06.2021]
2. 30 регионов – лидеров по сбору зерна в России в 2020 году <https://top-rf.ru/places/312-proizvodstvo-zerna-v-gossii-po-regionam.html> [публикация от 21.06.2021, просмотрено 12.07.2021]
3. Садименко П.А. Почвы юго-восточных районов Ростовской области. Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1966. – 128 с.
4. Безуглова О.С. Современное состояние черноземов Ростовской области и проблемы мониторинга // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2019. Т. 148. С. 34-41.
5. Попов В. В. Состояние плодородия пахотных земель в юго-восточных районах Ростовской области // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. – С. 7-11. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10302
6. Турчин В.В. Динамика калийного режима почв Ростовской области // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. 2014. № 5. С. 88-91.
7. Ананьев А.А. Твёрдость, влажность и электрическое сопротивление темно-каштановой почвы Ростовской области под разными культурами севооборота / А.А. Ананьев, С.В. Железова // «Вклад агрофизики в решение фундаментальных задач сельскохозяйственной науки». – С-Пб.: ФГБНУ АФИ, 2020. – С.378–391.
8. Поздняков А.И. Электрофизический подход к оценке некоторых элементов окультуренности и плодородия легких почв гумидной зоны / А.И. Поздняков, П.И. Елисеев, Л.А. Поздняков // Почвоведение. – 2015. – № 7. – С. 832–842.

### AGROPHYSICAL AND AGROCHEMICAL PROPERTIES OF DARK CASTANOEZEM SOIL UNDER EXTENSIVE WINTER WHEAT CULTIVATION IN THE NORTH-EAST OF THE ROSTOV REGION

A.A. ANANEV<sup>1</sup>, S.V. ZHELEZOVA<sup>2,3</sup>, O.A. SAVOSKINA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

<sup>2</sup> Russian Scientific-Research Institute of Phytopathology;

<sup>3</sup> Pryanishnikov Institute of Agrochemistry

**Abstract.** The spatial distribution and profile distribution of agrochemical and agrophysical properties of dark kastanozem soil within the field under the long-term extensive cultivation of winter wheat in the north-east of the Rostov region is shown. Long-term observations of NDVI allowed us to identify zones of different crop productivity in the fields. In these zones, significant differences were shown in the content of phosphorus, humus and pH indicators, while these zones practically did not differ in the content of potassium. The regression dependence between the indicator of the electrical resistivity of the soil, pH and the content of organic matter in the soil profile is revealed.

**Keywords.** Electrical resistivity of the soil, pH, organic matter content.

**ПОДДЕРЖКА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ БИОУДОБРЕНИЙ**Г. И. АНТОНОВ<sup>1</sup>, И. Д. ГРОДНИЦКАЯ<sup>2</sup>, О. Э. ПАШКЕЕВА<sup>3</sup>, В. А. СЕНАШОВА<sup>4</sup><sup>1</sup> Институт леса им. В.Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, РФ, egoan@yandex.ru<sup>2</sup> Институт леса им. В.Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, РФ, igrod@ksc.krasn.ru<sup>3</sup> Институт леса им. В.Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, РФ, koeandkoe@mail.ru<sup>4</sup> Институт леса им. В.Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, РФ, vera0612@mail.ru

**Аннотация.** Мелкие отходы лесоперерабатывающих предприятий пока еще не нашли широкого применения, но уже имеют перспективные направления использования в виде экологических удобрений. Коллективом лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН разработаны варианты удобрительных композиций на основе опилочно-почвенной смеси, содержащих микродозы различных азотных удобрений. Выполненные ранее исследования показали необходимость сочетания удобрительных композиций на основе хвойных опилок с микопродуктом для стимулирования роста и развития саженцев сосны и ели. В результате были получены два вида биоудобрений: ОПС - опилочно-почвенные субстраты с микродозами азотных удобрений и ОПСМ – с добавлением микопродукта, полученного в результате делигнификации опилок дереворазрушающими базидиомицетами. После применения ОПСМ на питомнике экспериментального хозяйства «Погорельский Бор» с микродозами диаммофоски саженцы сосны обыкновенной оказались выше на 53% (62 см), чем на участке с ОПС. Саженцы ели сибирской, произрастающие на ОПСМ, были также выше на 30–58%, чем саженцы того же возраста на ОПС. Внесение микопродукта в ОПС также привело к увеличению приростов верхушечной почки главного побега саженцев сосны и ели после применения данного субстрата в течение вегетационного сезона. В случае микокомпостирования с диаммофоской и аммонийной селитрой прирост увеличился на 45–51%. Данная технология в перспективе может быть рекомендована для искусственного лесовыращивания и поспособствует экологически-ориентированному ведению лесного хозяйства на территории Красноярского края.

**Ключевые слова.** Биоудобрения, микопродукт, микокомпостирование, лесные питомники, Красноярская лесостепь

**Введение**

В настоящее время такой вид лесопромышленных отходов как опилки используются не более чем на 30% от общего объема [1]. Наибольшая их часть вывозится на полигоны ТБО для перегнивания, либо сжигается в отвалах [3, 4, 5]. Коллективом лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН в ходе экспериментов по утилизации древесно-опилочной массы разработаны варианты биоудобрений на основе опилочно-почвенной смеси, содержащих микродозы различных азотных удобрений – ОПС и ОПСМ [6, 7, 8]. В выполненных ранее исследованиях показано, что в микопродукте, полученном путем лабораторного культивирования мицелия гриба *Trametes versicolor* на сосновых опилках в течение 2 месяцев, помимо частичной минерализации древесины (потери веса достигали 28%) происходила заметная модификация структуры полисахаридной и ароматической составляющих древесины [9]. Данные изменения способствовали быстрой утилизации микопродукта почвенными микроорганизмами, что обусловило дополнительное поступление в почву углерода. Для лучшего роста растений также необходимо увеличивать поступление азота в почву. В работах О.А. Ульяновой и О.Э. Кондаковой [4, 10] указано на необходимость сочетания углеродного субстрата с азотными удобрениями для стимулирования роста и развития хвойных. В связи с этим представлялось актуальным исследовать полученные биоудобрения и сравнить их влияние на саженцы хвойных.

Цель настоящего исследования – оценить эффективность применения различных вариантов азотных композиций инновационных биоудобрений ОПС и ОПСМ, созданных на

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия      14–15 сентября 2021 г.

основе опилочно-почвенного субстрата, на состояние саженцев сосны обыкновенной и ели сибирской, а также почвенных микробоценозов под ними в опытном лесном питомнике.

**Объекты и методы исследования**

С 2018 г. по 2020 г. на участках с ОПС и ОПСМ (табл. 1) проводили наблюдения морфометрических показателей саженцев сосны и ели, параллельно анализировали биологические процессы, происходящие в почве под саженцами хвойных. Изучали такие биологические параметры как: содержание микробной биомассы (МБ), интенсивность базального (БД) и удельного дыхания ( $qCO_2$ ) почвенных микробоценозов методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД) [11, 12]. Исследовали активность ферментов окислительно-восстановительной группы: пероксидазы (ПО) и полифенолоксидазы (ПФО). По соотношению активности полифенолоксидазы и пероксидазы высчитывали коэффициент гумификации ( $K_{гум}$ ), позволяющий судить об интенсивности процесса минерализации гумуса [13]. Целлюлозоразлагающую способность почвы оценивали с помощью аппликационного метода Е.Н. Мишустина и А.Н. Петровой [14].

Таблица 1. Схема опытных участков по тестированию опилочно-почвенных субстратов на лесопитомнике «Погорельский Бор»

Удобрительные композиции опилочно-почвенного субстрата (ОПС)		Удобрительные композиции опилочно-почвенного субстрата с добавлением микопродукта (ОПСМ)	
СОСНА	ЕЛЬ	СОСНА	ЕЛЬ
Контроль: Опилки+Почва (КО)		Контроль: Опилки+Почва +Микопродукт (КО+М)	
Диаммофоска (Д)		Диаммофоска+Микопродукт (Д+М)	
Аммонийная селитра (АС)		Аммонийная селитра+Микопродукт (АС+М)	
Сульфат аммония (СА)		Сульфат аммония+Микопродукт (СА+М)	
Мочевина (М)		Мочевина+Микопродукт (М+М)	

**Результаты и обсуждение**

Измерения прироста верхушечной почки центрального побега и высоты саженцев в 2020 г. на участках с ОПСМ показали, что у саженцев сосны прирост достоверно увеличился в вариантах с сульфатом аммония (СА) до 68,3 см и в контроле (КО) до 65 см. На участках ОПС достоверное увеличение приростов сосны было зарегистрировано в вариантах с микродозами сульфата аммония (СА) и мочевины (М) (до 55-62 см). Высота саженцев сосны достоверно увеличилась как в контроле, так и практически во всех вариантах в обоих видах биоудобрений, за исключением вариантов с аммонийной селитрой (АС) на ОПС и мочевиной (М) на ОПСМ. У саженцев ели отсутствовал достоверный прирост на ОПСМ (за исключением варианта с диаммофоской). Высота саженцев ели достоверно увеличилась во всех вариантах ОПС и ОПСМ, за исключением вариантов с аммонийной селитрой (АС) и сульфатом аммония (СА). Двухфакторным дисперсионным анализом установлено, что варьирование показателей высоты и прироста верхушечной почки обусловлены в основном возрастом саженцев (или длительностью эксперимента) нежели выбранными микродозами минеральных удобрений в субстратах. Уровень значимости для сосны:  $p=0,004-0,01$ ; для ели –  $p=0,0003-0,009$ .

Исследования почвенного микробоценоза под посадками саженцев в различных вариантах ОПСМ показали, что микробная биомасса (МБ) в ризосфере саженцев хвойных в вариантах ОПСМ в среднем за вегетационный сезон были выше, чем в вариантах ОПС: под

сосной в 1.8, под елью – в 1.2 раза, в то время как интенсивность БД наоборот была снижена (в 1.2 раза). На протяжении вегетации отмечали, что в вариантах ОПС в ризосфере ели формировалось больше МБ, чем под сосной (в 1.5 раза), в вариантах ОПСМ содержание МБ было высоким под обеими культурами и различалось незначительно. Наибольшие значения МБ отмечали в июле во всех вариантах опыта, в среднем в ОПС под сосной формировалось 222, под елью – 367 мкг С г<sup>-1</sup> почвы, а в ОПСМ под сосной 342, под елью – 351 мкг С г<sup>-1</sup> почвы. Двухфакторный анализ показал, что добавление микопродукта к ОПС вызывало достоверное увеличение биомассы микроорганизмов в ризосфере саженцев в течение всего вегетационного сезона, рассчитанная сила влияния этого фактора (с микопродуктом) возросла с 49.8 в мае до 94.2% в сентябре. Микродозы композиций удобрений также влияли на накопление МБ под саженцами. Наибольшие значения МБ в ОПСМ под сосной регистрировали в вариантах с ДА и М, а под елью – с АС, СА и М. В ОПС – под сосной в вариантах с ДА, АС и М, под елью – с СА, ДА и М. На интенсивность БД в вариантах ОПС повлияли микродозы АС и М, особенно в середине летнего периода, когда интенсивность дыхания доходила до 15-19 мкг С-СО<sub>2</sub> г ч<sup>-1</sup> под сосной и до 16-29 мкг С-СО<sub>2</sub> г ч<sup>-1</sup> под елью. Значения коэффициента удельного микробного дыхания изменялись в зависимости от времени вегетации и породы саженцев. В вариантах ОПС в среднем за сезон под сосной значение qCO<sub>2</sub> составило 74, а под елью – 32 мкг С-СО<sub>2</sub> ч<sup>-1</sup>, в вариантах ОПСМ – под сосной 34, а под елью 27 мкг С-СО<sub>2</sub> ч<sup>-1</sup>, что в 2.2 и 1.2 раза меньше. Уменьшение интенсивности qCO<sub>2</sub> свидетельствует о более благоприятных экофизиологических условиях для почвенного микробоценоза при добавлении в почву микопродукта. Двухфакторный дисперсионный анализ показал большее влияние сезона и времени отбора образцов на почвенное дыхание, как в ОПС, так и ОПСМ. В вариантах ОПСМ под елью сила влияния микопродукта достигает к концу вегетации 97%. Под саженцами сосны наиболее сильное влияние на почвенное дыхание оказывали ранее выбранные микродозы удобрительных композиций, особенно увеличивается БД в варианте с мочевиной. Доля влияния фактора времени (месяца) вегетации также высока: в вариантах ОПС 77% под сосной и 86% под елью, в ОПСМ – 47% под сосной и 64% под елью (p = 0.05).

Целлюлозоразложение в целом за три года (2018-2020 гг.) на участках питомника варьировало в пределах ошибки, за исключением повышения в контрольных вариантах: под сосной с 22 до 33%, под елью – с 37 до 41%. Наибольшее снижение целлюлозоразлагающей активности отмечено под елью в вариантах с СА с 47 до 35% и М – с 45 до 39%. Наибольшая активность целлюлозоразложения в 2020 г. была в вариантах М (36-39%) и ДА (33-40%) под сосной, и ДА (45-40%) – под елью. Потенциал окислительно-восстановительных ферментов также снизился. Под саженцами обеих пород заметно снизилась активность ПФО (с 35-55 мг до 17-34 мг под сосной, и с 46-64 до 21-31 мг под елью), что в итоге привело к снижению коэффициента гумификации (с 0,77-0,97 до 0,40-0,68 под сосной и с 0,85-1,03 до 0,46-0,92 под елью). К моменту завершения эксперимента, наибольшая активность ПФО сохранялась в ОПСМ с мочевиной под обеими культурами. Полученные данные по активности почвенных ферментов окислительно-восстановительной группы говорят о том, что, несмотря на снижение коэффициента гумификации (его значения во время эксперимента редко превышали 1 в среднем за сезон), процессы гумусообразования и гумусонакопления были сбалансированы в течение всего вегетационного периода после применения ОПСМ.

## Выводы

Таким образом, биоудобрение ОПСМ с разными вариантами микродоз азотных удобрений не только оптимизировали процессы разложения и минерализации опилочной

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

массы, но и положительно сказались на морфологических характеристиках саженцев хвойных. Установлено, что внесенные в почву различные варианты биоудобрения не истощились за период наблюдений, несмотря на их активную минерализацию. На протяжении трех лет эксперимента во всех вариантах ОПСМ наблюдали постепенное снижение биологических показателей почвы, которые в целом оставались выше контрольных вариантов (почва+опилки), что свидетельствует о пролонгированном влиянии внесенного биоудобрения. Следовательно, наиболее перспективные/эффективные варианты азотных композиций ОПСМ (СА, М, ДА) можно рекомендовать для поддержки плодородия в лесных питомниках при искусственном лесоразведении.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках базового проекта № 0287-2021-0011

### Список литературы / References

1. Ларченко В.М., Джафаров Т.А. Перспективы и проблемы использования отходов лесопромышленного сектора и древесного сырья в биоэнергетике Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2013. №9, С. 206-210.
2. Медведев С.О., Соболев С.В., Степень Р.А. Возможности рационального использования древесных отходов в Лесосибирском лесопромышленном комплексе: монография. – Красноярск, СибГТУ, 2010, 85 с.
3. Степень Р.А., Репях С.М. Альтернативные пути рациональной переработки древесных отходов // Инвестиционный потенциал лесопромышленного комплекса Красноярского края. Красноярск, Изд. Сиб госуд. техн. университета, 2001. С. 116-121.
4. Дитрих В.И., Андрияс А.А., Пережилин А.И., Корпачев В.П. Оценка объемов и возможные пути использования отходов лесозаготовок на примере Красноярского края // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII. № 3-4. С. 346–351.
5. Медведев С.О., Соболев С.В., Степень Р.А. Возможности рационального использования древесных отходов в Лесосибирском лесопромышленном комплексе: монография. – Красноярск: СибГТУ, 2010. 85 с.
6. Антонов Г.И., Сорокин Н.Д., Барченков А.П., Кондакова О.Э. Оптимизация лесовыращивания с использованием биоконверсии древесно-опилочной массы в условиях Красноярской лесостепи // Лесоведение. – 2018. – №1, С. 56-64.
7. Кондакова О.Э. Использование микроорганизмов для выращивания хвойных и улучшения биогенности почв в лесных питомниках Сибири: автореф. дис... канд. биол. наук: 03.02.08 – экология. Томск, 2019. 24 с.
8. Патент на изобретение № 2681572 от 11.03.2019 Опилочно-почвенный субстрат для оптимизации плодородия почв / Г.И. Антонов, Н.В. Пашенова, И.Д. Гродницкая.
9. Пашенова Н.В., Лоскутов С.Р., Пермьякова Г.В., Анискина А.А. Влияние отвара чистотела на биоконверсию сосновых опилок культурами базидиальных грибов-ксилотрофов: Матер. IV Всерос. конф. «Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья». (Барнаул, 21–23 апреля 2009 г.) Барнаул: Изд. госуд. алтайского университета, 2009. – Кн. 2. С. 39-41.
10. Ульянова О.А., Чупрова В.В., Луганцева М.В., Кулебакин В.Г. Получение удобрительных композиций и влияние их на содержание и состав органического вещества в черноземе обыкновенном Красноярской лесостепи // Агрохимия. 2007. № 6. С. 42–49.
11. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biology & Biochemistry. 1978. V. 10, № 3. P. 314–322.

12. Sparling G.T. The substrate-induced respiration method // *Methods in applied soil microbiology & biochemistry*. Cambridge, Massachusetts. Academic Press, 1995. P. 397-404.
13. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
14. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 303 с.

#### **SOIL FERTILITY SUPPORT OF FOREST NURSERY USING INNOVATIVE BIOFERTILIZERS IN KRASNOYARSK FOREST-STEPPE**

G.I. ANTONOV<sup>1</sup>, I.D. GRODNITSKAYA<sup>2</sup>, O.E. PASHKEEVA<sup>3</sup>, V. A. SENASHOVA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», Krasnoyarsk, Russian Federation, egoan@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», Krasnoyarsk, Russian Federation, igrod@ksc.krasn.ru*

<sup>3</sup>*Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», Krasnoyarsk, Russian Federation, koeandkoe@mail.ru*

<sup>4</sup>*Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», Krasnoyarsk, Russian Federation, koeandkoe@mail.ru*

**Abstract.** Small-scale sawmill waste has not yet found wide application, but it already has promising areas of use in the form of eco-friendly fertilizers. The workshop of the Laboratory of Microbiology and Environmental Biotechnology of the V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS has developed variants of fertilizer compositions based on a sawdust-soil mixture containing microdoses of various nitrogen fertilizers. The performed studies indicated the need to combine a mycoproduct based on coniferous sawdust with nitrogen fertilizers to stimulate the growth and development of pine and spruce seedlings. As a result, two types of sawdust-soil substrates with the addition of micro-doses of nitrogen fertilizers without mycoproduct (sawdust soil substrate - SSS) and with the introduction of mycoproduct (SSSM) were obtained. After application of SSSM the nursery of the experimental farm "Pogorelsky Bor" with microdoses of diamphosca, the scots pine seedlings were higher by 62 cm (53%) than in the site with SSS. Siberian spruce seedlings growing on SSSM were also 30-58% higher than seedlings of the same age on SSS. The introduction of mycoproduct (SSSM) also led to an increase in the apical bud growth of the main shoot of pine and spruce seedlings after the application of this substrate during the season. In the case of mycocomposting with diammonium phosphate and ammonium nitrate growth increased by 45-51%. In the future, this technology can be recommended for artificial forest cultivation with environmentally determined forest management in the Krasnoyarsk Territory.

**Keywords.** Biofertilizers, mycoproduct, mycocomposting, forest nurseries, Krasnoyarsk forest-steppe.

---

## КРИТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОЗДУХОНОСНОЙ ПОРИСТОСТИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ РАЗВИТИЯ ОГЛЕЕНИЯ В ОСУШЕННЫХ ПОЧВАХ АГРОЛАНДШАФТОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О. А. АНЦИФЕРОВА

ФГОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (ФГОУ ВО «КГТУ»),  
Калининград, [anciferova@inbox.ru](mailto:anciferova@inbox.ru)

**Аннотация.** Исследование проведено на пахотном поле в западной части Калининградской области в пределах холмистой равнины. Установлена продолжительность периода с критической воздухоносной пористостью (ниже 10%) в глееватых буроземах и дерново-глеевых почвах. Верхняя граница зоны низкой воздухоносной пористости (ВП) указывает на уровень оглеения в осушенных пахотных почвах. Выявлено отрицательное влияние низких значений ВП на урожай сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова.** Воздухоносная пористость, буроземы, дерново-глеевые почвы.

### Введение

Переувлажнение почв в условиях гумидного климата Калининградской области явление типичное. Поэтому в регионе площадь осушенных сельскохозяйственных угодий составляет более 80 % (596 тыс. га) (Показатели по учету и оценке, 2020). В настоящее время высокая эффективность агротехнологий во многом зависит от условий влажности, складывающихся на полях. В связи с этим актуальными задачами являются определение: 1) критической границы переувлажнения в пахотном слое, ниже которой происходит снижение урожая; 2) контроль границы оглеения в профиле осушенных почв. Цель исследования: на основании результатов многолетнего мониторинга режима влажности (2012–2020 гг.) выявить показатель, достоверно отражающий критическую границу переувлажнения.

### Объекты и методы исследования

Исследования проводились на производственном пахотном поле в Зеленоградском районе Калининградской области. Участок расположен в пределах физико-географического района Самбийской холмисто-моренной возвышенности (Географический атлас, 2002, с. 30). Геоморфологические условия и почвенный покров поля являются типичными для района исследования. На вершинах и склонах холмов располагаются буроземы преимущественно глееватые, в открытых понижениях – дерново-подзолистые глеевые и дерново-глеевые почвы, в замкнутых понижениях – дерново-глеевые почвы. Все оглеенные почвы осушаются системой закрытого гончарного дренажа со сбросом вод в открытые каналы. В настоящее время сток из закрытой сети блокируется вследствие локальных разрывных нарушений, засыпки водопоглонительных колодцев и оголовков коллекторов.

Мониторинг режима влажности и воздухоносной пористости проведен в 2012–2020 гг. буровым методом 2 раза в месяц с апреля по октябрь. Пробы почвы на влажность отбирались послойно каждые 10 см до глубины 1 м. Морфологическое строение почв изучали в разрезах, диагностика почв дана по классификации 1977 г. (Классификация и диагностика, 1977). Свойства почв анализировались по следующим методикам: плотность твердой фазы пикнометрически; плотность сложения методом режущих колец (цилиндров) объемом 100 см<sup>3</sup>; общая пористость и воздухоносная пористость (ВП) - расчетными методами; полевая влажность - термостатно-весовым методом (объемную влажность получали в результате умножения полевой влажности на плотность сложения) (Вадюнина, Корчагина, 1986; Зайдельман, 2008). Анализы выполнены в 4-х кратной повторности. Статистическая и графическая обработка проведена в программе Microsoft Excel.



## Результаты и обсуждение

Переувлажнение является основной причиной оглеения. При переувлажнении в первую очередь нарушается газообмен, оптимальное соотношение между воздухом и влагой в почве. Поэтому показатель воздухоносной пористости может отражать наступление избыточного экологического переувлажнения. В научной литературе в качестве критической границы воздухоносной пористости (ВП) предлагается использовать 8% в пахотном слое и 6% в подпахотном (Зайдельман, 2009), по другим данным 10% (Шеин, 2005, с. 297).

Нами была принята критическая граница ВП в 10% и нижний предел ВП в 5%, при котором интенсивно развивается оглеение. Воздухоносную пористость в слое 0–100 см оценивали по двум аспектам: 1) длительность периода с ВП ниже 10% и 5% (по учету продолжительности существования зон с данными ВП); 2) верхняя граница этих зон за вегетационный период (апрель – октябрь).

По данным мониторинга влажности почв были рассчитаны значения ВП послойно для каждых 10 см в пределах всей метровой толщи. Таким образом, получен массив данных по ВП для 12 ареалов почв на одном пахотном поле (4 ареала буроземов на вершинах холмов, 4 на склонах, 4 ареала дерново-глеевых почв в замкнутых понижениях). Затем построили графики динамики ВП и определили периоды с критическими значениями.

Исследование охватило годы с разным количеством осадков (таблица 1). Мы сгруппировали годы по степени увлажненности (сухие, средние, сырые) по отношению к среднемноголетней норме для изученной территории - 781 мм (Географический атлас, 2002, с. 82). Обеспеченность осадками была рассчитана по рекомендованной методике (Зайдельман, 2003, с. 74). В итоге получилось, что за период мониторинга было по три года в каждой группе: а) сухие – 2014, 2015, 2018; б) средние – 2013, 2019, 2020; в) сырые – 2012, 2016, 2017.

Затем рассчитали средние значения верхней границы и продолжительности периодов с ВП ниже 10% и 5% для каждой группы почв (буроземы вершин, склонов и дерново-глеевые) (рис. 1–2, таблица 2).

Таблица 1. Среднегодовые температуры и суммы осадков за 2012 – 2020 гг.  
(по данным метеостанции г. Калининграда)

Показатель	Годы								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Температура, °С	+7,7	+8,2	+9,1	+9,2	+8,9	+8,6	+9,0	+9,7	+9,8
Осадки, мм	977	798	631	715	921	1090	617	778	751
Обеспеченность осадками, %	10	53	89	76	13	4	91	62	66

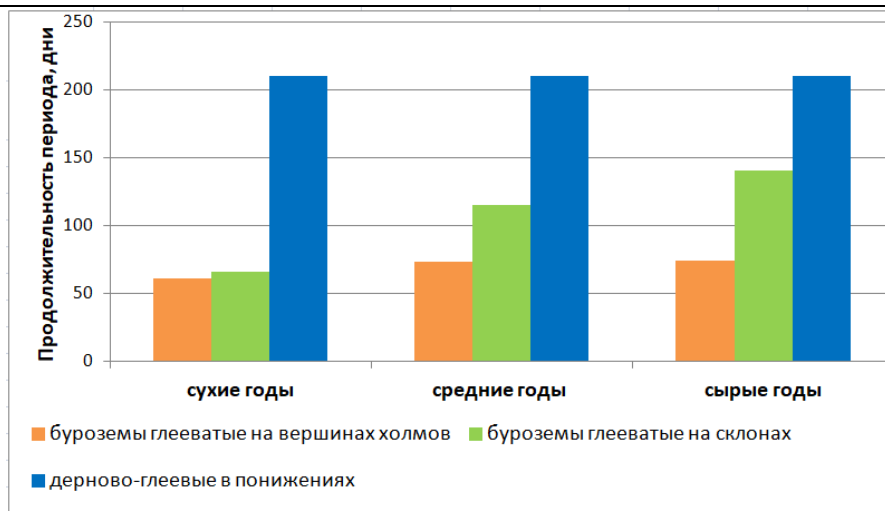


Рис. 1. Продолжительность периода с воздухоносной пористостью менее 10 % в осушенных почвах на разных элементах рельефа с апреля по октябрь 2012–2020 гг.

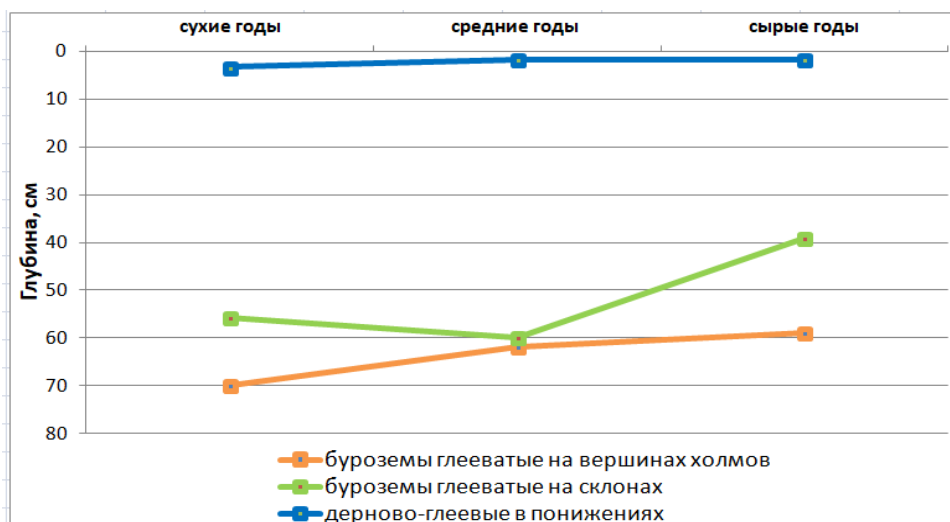


Рис. 2. Верхняя граница зоны с воздухоносной пористостью менее 10 % в осушенных почвах на разных элементах рельефа с апреля по октябрь 2012 – 2020 гг.

Выяснилось, что в глееватых буроземах как на вершинах, так и на склонах различия существенны по критерию Стьюдента на 5%-ном уровне значимости между сухими и сырыми годами. В дерново-глеевых почвах замкнутых понижений вне зависимости от влажности года в профиле весь вегетационный период существовали зоны с ВП ниже 10 % и развивалось оглеение.

Верхняя граница зоны с критической воздухоносной пористостью в буроземах достоверно выше в сырые годы по сравнению с сухими. Граница располагается в пределах иллювиальных горизонтов. В дерново-глеевых почвах максимальная граница зоны с ВП ниже 10 % находится в верхней части гумусового горизонта. Это приводит к постоянному недостатку воздуха для корней сельскохозяйственных культур.

Таблица 2. Воздухоносная пористость ниже 5 % в осушенных почвах за апрель – октябрь в слое 0 – 100 см (n = 12 для каждой группы лет)

Показатели	Почвы	Годы по увлажненности		
		Сухие	Средние	Сырые
Период с ВП менее 5 %, дни	Буроземы глееватые на вершинах холмов	5,2 ± 2,9	16,0 ± 10,3	21,0 ± 11,2
	Буроземы глееватые на склонах	33,8 ± 10,3	33,8 ± 6,5	53,8 ± 10,0
	Дерново-глеевые в замкнутых понижениях	168,7 ± 9,9	173,3 ± 9,8	190,0 ± 6,7
Верхняя граница зоны с ВП менее 5 %, см	Буроземы глееватые на вершинах холмов	95,8 ± 10,7	82,5 ± 5,9	65,0 ± 6,0
	Буроземы глееватые на склонах	80,0 ± 3,6	75,0 ± 4,7	57,5 ± 4,7
	Дерново-глеевые в замкнутых понижениях	5,8 ± 3,8	6,7 ± 2,8	2,5 ± 2,5

Аналогичные закономерности получены для категории «ВП ниже 5%» (таблица 2). Можно утверждать, что оглеение продолжает развиваться в глубоких слоях осушенных почв, в том числе и на автономных позициях рельефа (вершины холмов). Так как среднемноголетнее количество осадков, соответствующее «нормальному увлажнению», составляет 781 мм, то на вершинах холмов в агроландшафтах западной части Калининградской области (Самбийская возвышенность) преобладают глееватые почвы. И для них также актуально контролировать критическую границу ВП в профиле почв, особенно на фоне тренда к повышению количества осадков (Анциферова, 2018).

В дерново-глеевых почвах замкнутых понижений критическая граница с ВП менее 10 % и 5% находятся в гумусовом горизонте. Поэтому распашка этих почв происходит в период экологического переувлажнения, что усугубляет физические свойства. Результатом неудовлетворительного воздушного режима является гибель культур на стадии проростков.

Корреляционный анализ показал, что граница оглеения во всех группах почв совпадает с верхней границей зоны с ВП менее 10 %. Коэффициенты корреляции варьировали для разных групп почв от 0,97 до 0,99. Это позволяет заключить, что морфологический облик осушенных почв несет информацию о современном гидрологическом состоянии. Изучение динамики воздухоносной пористости в осушенных почвах, длительности периода с критической ВП и выявление границы зоны с ВП ниже 10 % должно широко применяться в почвенно-мелиоративных исследованиях.

Для пахотного горизонта наиболее информативные данные получаются при определении ВП в октябре и апреле. Изучение ВП под всходами озимой пшеницы в 2009, 2010 и 2019 гг. на фоне различных погодных условий и контрастного почвенного покрова поля позволили установить: 1) воздухоносная пористость в дерново-глеевых почвах открытых понижений достоверно ниже, чем в глееватых буроземах на вершинах и склонах холмов. Снижение значений ВП до критической отметки 10% в октябре 2016 и апреле 2017 гг. повлекло в итоге резкое снижение показателей продуктивности (высота растений, длина колоса, количество зерен в колосе). Масса зерна на дерново-глеевых почвах открытых понижений уменьшилась в среднем на 62,5 % по сравнению с буроземами на вершинах холмов. При этом технология возделывания включала три минеральные подкормки и оптимальную для региона схему

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

химической защиты растений. На дерново-глеевых почвах в замкнутых понижениях, где значения ВП в октябре и апреле составили 0 – 5 % фиксировались явные признаки оглеения в пахотном горизонте, а урожай полностью погиб. Условия увлажнения оказывают решающее влияние на урожайность озимой пшеницы.

В итоге работы показана контрастность почвенного покрова пахотного поля. Мелиоративное состояние дерново-глеевых почв в замкнутых понижениях оценивается как неудовлетворительное, что приводит к гибели урожая в большинстве лет. Без улучшения водно-воздушного режима (отвод поверхностных вод, щелевание, устройство водопоглотительных колодцев, раскрытие западин) на этих почвах невозможно получение удовлетворительных урожаев даже при высоком уровне агротехники.

### Выводы

1. Продолжительность периода с воздухоносной пористостью ниже 10 % и верхняя граница этой зоны достоверно указывают на процесс оглеения в осушенных почвах в условиях гумидного климата западной части Калининградской области. Критическое значение ВП в 10 % может использоваться при оценке мелиоративного состояния почв.

2. Низкие значения воздухоносной пористости в апреле и октябре в пахотном слое осушенных почв приводят к снижению урожая сельскохозяйственных культур.

### Список литературы / References

1. Анциферова О.А. Климатические изменения и экологические риски для земледелия Калининградской области // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы природных и урбанизированных территорий» (24-25 мая 2018 г., г. Астрахань). Астрахань, 2018. С. 29 – 33.
2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследований физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
3. Географический атлас Калининградской области / Гл. ред. В.В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. 276 с.
4. Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв. М.: Изд-во МГУ, 2003. 448 с.
5. Зайдельман Ф.Р. Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв. М.: Колос, 2008. 486 с.
6. Зайдельман Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. М.: КДУ, 2009. 720 с.
7. Классификация и диагностика почв СССР / Сост. В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розов, и др. М.: Колос, 1977. 224 с.
8. Показатели по оценке и учету мелиоративного состояния осушенных сельскохозяйственных угодий и технического состояния осушительных систем [2020] [электронный ресурс] URL: <http://mcx-dm.ru/fgbu/86?report=osvalues&cur=94011> (дата обращения 17.05.2020).
9. Шеин Е.В. Курс физики почв. М.: МГУ, 2005. 432 с.

**CRITICAL VALUE OF POROSITY OF AERATION AS AN INDICATOR OF THE DEVELOPMENT OF GLEYIZATION IN THE DRAINED SOILS OF AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE KALININGRAD REGION**

O. A. ANTSIFEROVA

*Kaliningrad State Technical University, Department of Agro-soil Science and Agroecology, anciferova@inbox.ru*

**Abstract.** The study was conducted in an arable field in the western part of the Kaliningrad region within the hilly plain. The duration of the period with critical porosity of aeration (below 10 %) in Endogleyic Cambisols and Gleysols is established. The upper limit of the zone of low porosity of aeration (PA) indicates the level of gleyization in drained arable soils. The negative impact of low values of PA on the yield of agricultural crops was revealed.

**Keywords.** Porosity of aeration, Endogleyic Cambisols, Gleysols.

## РЕЖИМ ВЛАЖНОСТИ ОСУШЕННЫХ ПОЧВ ПОД ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕЙ И ЯЧМЕНОМ

О. А. АНЦИФЕРОВА, Д.Н. САФОНОВА

ФГОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (ФГОУ ВО «КГТУ»),  
Калининград, [anciferova@inbox.ru](mailto:anciferova@inbox.ru); [potailer@mail.ru](mailto:potailer@mail.ru)

**Аннотация.** Исследования проведены в 2019 - 2020 гг., которые по количеству осадков близки к среднемноголетним значениям. Установлены отличия между группами почв разной степени гидроморфизма (неоглееными и глееватыми буроземами и дерново-глеевыми почвами). Для характеристики гидрологического режима осушенных почв предлагается использовать комплекс показателей, включающий длительность периодов иссушения и переувлажнения, сквозного промачивания, критической воздухоносной пористости, динамику верховодки. Почвенно-гидрологические условия способствуют получению более высоких урожаев на автономных позициях рельефа. Дерново-глеевые почвы в замкнутых понижениях имеют неблагоприятное гидрологическое состояние, поэтому потери урожая на них составляли более 80% в годы исследований.

**Ключевые слова.** Режим влажности, воздухоносная пористость, верховодка, урожай озимой пшеницы и ячменя

### Введение

Калининградская область расположена в гумидном климате южной тайги, среднемноголетнее количество осадков 781 мм для западной части области (Географический атлас, 2002). В таких условиях преобладающим типом водного режима является промывной. Более двух столетий назад в регионе начали строить осушительные системы. К 2019 г. площадь осушенных сельскохозяйственных угодий составляла 596 тыс. га. Мелиоративное состояние осушенных почв зависит от эффективности работы дренажа и погодных условий. Еще А.А. Роде предлагал выделять особые варианты дренажных промывных водных режимов (Роде, 1963). Однако для условий Калининградской области до сих пор отсутствуют характеристики гидрологических режимов почв. Поэтому актуальность исследований состоит в изучении водного режима как главного условия получения высоких урожаев при современных агротехнологиях. Особенно важно это направление на фоне тренда к изменению климата в XXI в.

### Объекты и методы исследования

Исследования проводились на пахотном поле площадью 100 га в западной части Калининградской области (Зеленоградский городской округ). Рельеф поля волнистый и холмистый, что типично для моренных равнин региона. Почвенный покров контрастный: чередование буроземов супесчаных и легкосуглинистых разной степени оглеения на вершинах и склонах холмов с дерново-глеевыми среднесуглинистыми почвами в понижениях. Оглеенные почвы осушаются сетью закрытого гончарного дренажа со сбросом вод в открытые каналы. Последняя реконструкция мелиоративной системы проведена в 1975 г. Глубина заложения дрен в глееватых буроземах 90–110 см, в дерново-глеевых почвах – 40–80 см.

В работе представлены данные мониторинга режима влажности 2019-2020 гг. Пробы почв отбирались буровым методом 2 раза в месяц с апреля по ноябрь послойно (каждые 10 см) до глубины 1 м. Для изучения динамики верховодки проводилось бурение до 2 м круглогодично. Проанализированы свойства почв: плотность твердой фазы пикнометрически; плотность сложения методом режущих колец (цилиндров) объемом 100 см<sup>3</sup>; общая пористость и воздухоносная пористость (ВП) - расчетными методами; полевая влажность - термостатно-весовым методом, максимальная гигроскопическая влага (МГ) и наименьшая влагоемкость (НВ) по Николаеву, влажность завядания (ВЗ) расчетным методом, влажность разрыва капилляров принята равной 0,6НВ для супесей и 0,7 НВ для суглинков, полная влагоемкость по величине общей пористости (Вадюнина, Корчагина, 1986; Зайдельман, 2008). Анализы выполнены в 4-х

кратной повторности. Для статистической и графической обработки использована программа Microsoft Excel.

### Результаты и обсуждение

Погодные условия оказывают решающее влияние на режим влажности почв. Годы исследований отличались количеством осадков, близким к среднемуголетней норме (таблица 1, рис.1). Только в 2019 г. за период выращивания озимой пшеницы с апреля по август была на 69 мм меньше среднемуголетних значений.

Таблица 1. Количество осадков (мм) за характерные периоды 2019–2020 гг.  
 (по данным метеостанции г. Калининграда)

Показатели	2019 г.	2020 г.	Среднее многолетнее (1949 – 2013 гг.)
Сумма осадков за год	778	751	791
Сумма осадков за вегетационный период (апрель – октябрь)	495	447	493
Сумма осадков за период вегетации зерновых культур (апрель – август)	270	320	339

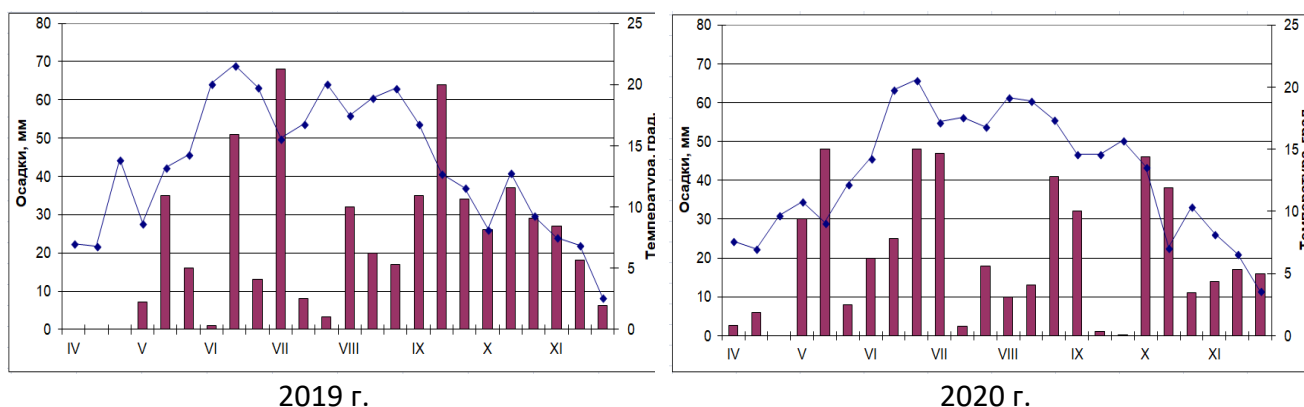


Рис. 1. Осадки и температуры в период с октября по октябрь  
 (по данным метеостанции г. Калининграда)

Большое количество осадков за год приводит к формированию верховодок не только в почвах понижений, но и на склонах, заболачиваемых натечными водами (рис. 2). Верховодки обнаруживаются и в сильноглееватых почвах на вершинах холмов, если там создаются условия для застоя воды.

Формирование верховодок на склонах начинается чаще всего осенью в период снижения среднесуточных температур. Водоносный горизонт существует весь зимний период и в марте вплоть до первой половины апреля. В 2019 – 2020 гг. к началу апреля верховодка залегала глубже 1 м. В летний период 2019 г. верховодка отсутствовала в профиле глееватых буроземов. Но в некоторых ареалах на склонах в 2020 г. верховодка обнаруживалась в глубоких слоях почвообразующих пород летом, вызывая капиллярное поднятие влаги в почвенный профиль.

В дерново-глеевых почвах также присутствует верховодка, которая в глубоких горизонтах смыкается с почвенно-грунтовыми водами. Однако, непостоянный характер водоносного слоя позволяет заключить, что это именно верховодка.

Материалы III международной научной конференции  
 «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

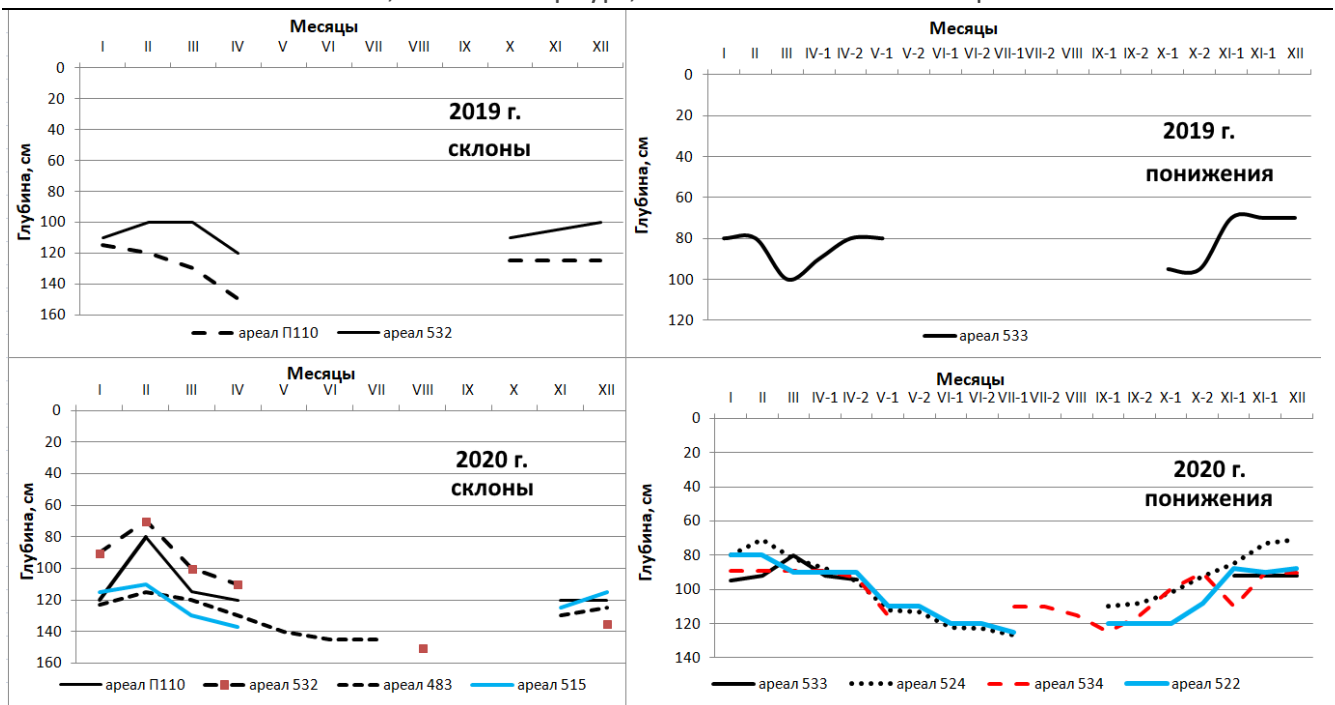


Рис. 2. Динамика верховодок в буроземах глееватых на склонах (графики слева) и дерново-глеевых почвах замкнутых понижений (графики справа) в 2019 – 2020 гг.

Помимо традиционных графиков объемной влажности по категориям (ВЗ – ВРК, ВРК – НВ, НВ – ПВ, верховодка) мы решили систематизировать данные мониторинга по основным показателям, отражающим специфику режима влажности и воздухоносной пористости (таблица 2). Ранее такие попытки предпринимались Т.А. Романовой для слоя 0–20 см (выделение периода с влажностью менее ВРК и более НВ, т.е. иссушение и переувлажнение) (Романова, 2015). Ф.Р. Зайдельманом была обоснована необходимость изучения режима воздухоносной пористости (Зайдельман, 2009). В нашей системе объединены два подхода и существенно дополнены рядом показателей. Это позволяет учитывать гидрологические особенности не только пахотного горизонта (0–20 см), но и слоя 0–100 см (большая часть профиля почв).

В 2019 г. динамика влажности изучалась на четырех ареалах почв: неоглеенном и сильноглееватом буроземах на вершинах холмов, глееватом буроземе на склоне и в дерново-глеевой почве замкнутого понижения. В 2020 г. исследования охватили 12 ареалов почв (по четыре бурозема на вершинах и склонах холмов и четыре дерново-глеевых почвы в замкнутых понижениях). В дальнейшем планируется продолжать набирать базу данных по режиму влажности и воздухоносной пористости.

Засушливые условия апреля 2019 (не было осадков) способствовали быстрому просыханию верхних горизонтов почв. На вершинах этот процесс шел интенсивнее, чем на склонах. В дерново-глеевых почвах понижений период поверхностного затопления закончился в конце марта, а к началу апреля почвы находились в состоянии переувлажнения. На глубине 80–100 см сохранялась верховодка.



Таблица 2. Показатели режима влажности и воздухоносной пористости в почвах разной степени гидроморфизма в 2019 г. (над чертой) и 2020 г. (под чертой) с апреля по октябрь

Показатели	Вершины холмов		Склоны	Замкнутые понижения
	бурозем неоглеенный	буроземы глееватые	буроземы глееватые	дерново-глеевые
Слой 0 – 20 см				
Период с влажностью менее ВРК, дни	<u>35</u> 15	<u>10</u> 0	<u>45</u> 15	<u>30</u> 15
Период с влажностью выше НВ, дни	<u>30</u> 45	<u>45</u> 60	<u>60</u> 53	<u>60</u> 68
Слой 0 – 100 см				
Максимальная глубина иссушения, см	<u>50</u> 50	<u>40</u> 40	<u>30</u> 25	<u>30</u> 10
Влажность выше НВ по всему слою 1 м, дни	<u>0</u> 0	<u>30</u> 30	<u>60</u> 15	<u>20</u> 10
Период с ВП менее 10 %, дни	<u>10</u> 0	<u>90</u> 110	<u>30*</u> 101	<u>210</u> 210
Верхняя граница (см) зоны с ВП менее 10 %	<u>80</u> -	<u>50</u> 50	<u>90</u> 73	<u>10</u> 3
Период с ВП менее 5 %, дни	<u>0</u> 0	<u>60</u> 15	<u>5*</u> 25	<u>180</u> 165
Верхняя граница (см) зоны с ВП менее 5 %	- -	<u>70</u> 90	<u>95</u> 83	<u>20</u> 10

\* - данные по одному ареалу почв

Период биологического иссушения в буроземах приходится на фазы выхода в трубку, колошения и цветения озимой пшеницы. Максимальная глубина иссушения характерна для неоглеенного бурозема. Примечательно, что на вершинах холмов также встречаются глееватые буроземы (Antsiferova, 2019) и длительность периода переувлажнения в них существенно выше, чем в неоглеенных. В глееватых почвах на вершинах и склонах период сквозного промачивания метровой толщи с апреля по октябрь продолжался от месяца до двух. В неоглеенном (автоморфном) буроземе в 2019 г. такого явления не отмечено. Причиной короткого периода сквозного промачивания в дерново-глеевых почвах служат глинистые и тяжелосуглинистые иловатые водоупорные слои. Они сохраняют влажность в границах ВРК – НВ. При этом в этих горизонтах крайне низкая воздухоносная пористость (таблица 2). Еще Ф.Р. Зайдельман обращал внимание, что влажность выше НВ еще не означает экологического переувлажнения. В глинистых почвах и породах эта граница на 3–5% ниже НВ (Зайдельман, 2009, с. 199). Поэтому показатель критической величины воздухоносной пористости (ВП) более объективно отражает соотношение влаги и воздуха в почве. Период длительности с ВП ниже 10% возрастает от неоглеенного бурозема к дерново-глеевым почвам. В последних круглогодично присутствуют зоны с критической ВП. Данные мониторинга позволяют утверждать, что в 2019 г. оглеение развивалось в глубоких горизонтах осушенных глееватых буроземов. В дерново-глеевых почвах граница зоны с критической ВП находилась в гумусовом горизонте.

Режим влажности на автономных позициях рельефа и на склонах был благоприятным для получения высоких урожаев озимой пшеницы (табл. 3). Максимальный биологический урожай был получен на неоглеенном и глубокоглееватом буроземах. На сильноглееватой почве на вершине холма снижение урожайности составило 27,7% от максимального. При оценке урожайности надо принимать во внимание не только влагообеспеченность культур, но и эрозионные процессы, агрохимический фон и геохимическую миграцию питательных веществ из удобрений. В 2019–2020 гг. почвы на поле отличались среднекислой реакцией среды.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Варьирование  $pH_{KCl}$  и особенно обменного алюминия в пахотном слое разных ареалов выразилось в пестроте урожайности на вершинах и склонах. В условиях интенсивного минерального удобрения проявились процессы миграции нитратных форм азота с повышений и склонов в понижения. Совокупное влияние всех этих факторов привело к тому, что урожайность на склонах была ниже, чем на повышениях, хотя различия недостоверны. А вот в распаханых замкнутых западинах пшеница была низкорослой, разреженной, засоренной и урожай не имел производственного значения.

Таблица 3. Биологический урожай озимой пшеницы и ячменя на почвах разной степени гидроморфизма в 2019 – 2020 гг. (n = 12 для каждой группы почв)

Год	Культура	Буроземы на вершинах холмов	Буроземы глееватые на склонах	Дерново-глеевые почвы в замкнутых понижениях
2019	Озимая пшеница	6,86 ± 1,00	6,38 ± 0,45	1,09 ± 0,35
2020	Яровой ячмень	4,56 ± 0,46	4,19 ± 0,41	0,50 ± 0,40

В 2020 г. засушливый апрель был сходен с предыдущим годом. Однако запасы влаги с зимнего периода создавали хорошую влагообеспеченность почв. Распределение осадков с мая по август отличалось большей равномерностью по сравнению с 2019 г. Возможно, поэтому период с влажностью выше НВ в пахотном слое в 2020 г. был длиннее. Также увеличилась длительность периода с ВП менее 10 % в профиле. Другие характеристики гидрологического режима либо были сходны с 2019 г., либо изменялись неоднозначно.

В биологическом урожае ячменя проявились уже известные закономерности: средняя урожайность больше на вершинах, но различия со склонами недостоверны. В замкнутых понижениях складывается неудовлетворительный режим воздухоносной пористости, что и приводит к гибели большей части урожая уже на стадии всходов.

## Выводы

1. Режим влажности пахотного неоглеенного легкосуглинистого бурозема характеризуется отсутствием верховодок в течение года, сквозного промачивания почвы с апреля по октябрь (в годы с количеством осадков, близким к среднегодовым значениям), эпизодическим возникновением зон с ВП ниже 10 % на глубине более 80 см, отсутствием зон с ВП менее 5 % в профиле почвы.

2. Глееватые осушенные буроземы на вершинах и склонах холмов отличаются наличием верховодок в позднеосенний, зимний и ранневесенний период на глубине свыше 80 см, длительностью периода с влажностью выше НВ в слое 0–20 см 45–60 дней и сквозным промачиванием метровой толщи (0,5–2 месяца) за вегетационный период. Верхняя граница зоны с критической воздухоносной пористостью (ниже 10%) располагается в среднем глубже 50 см, а в нижних горизонтах почв крайне низкие значения ВП способствуют развитию оглеения.

3. Дерново-глеевые почвы в замкнутых понижениях характеризуются неблагоприятными для сельскохозяйственных растений гидрологическими особенностями и режимом воздухоносной пористости (поверхностное заболачивание в ранневесенний период, верховодка в нижних горизонтах, верхняя граница зоны с критической ВП расположена в пахотном горизонте, интенсивное развитие оглеения).

4. Биологический урожай озимой пшеницы и ярового ячменя находится в зависимости от степени гидроморфизма почв. Максимальные значения характерны для неоглеенного и

глубокоглееватого буроземов на автономных позициях рельефа (вершины холмов), несколько меньший урожай получается на склоновых глееватых буроземах. На дерново-глеевых почвах в замкнутых понижениях в 2019–2020 гг. наблюдалось снижение урожайности более чем на 80% по сравнению с буроземами на вершинах холмов. Эти почвы требуют улучшения водно-воздушного режима.

Исследование выполнено в рамках инициативно-поисковой госбюджетной научно-исследовательской темы кафедры агропочвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «КГТУ» «Почвенные ресурсы Калининградской области: оценка, использование, продуктивность, управление» (13.16.022.2. ООПНДИНТИ КГТУ) и темы НИОКР «Разработка предложений по совершенствованию сырьевой базы рыбного кормопроизводства в условиях природно-климатических и антропогенных изменений».

### Список литературы / References

1. Географический атлас Калининградской области / Гл. ред. В.В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. 276 с.
2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследований физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
3. Зайдельман Ф.Р. Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв. М.: Колос, 2008. 486 с.
4. Роде А.А. Водный режим почв и его регулирование. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 120 с.
5. Романова Т.А. Водный режим почв Беларуси. Минск, 2015. 144 с.
6. Зайдельман Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. М.: КДУ, 2009. 720 с.
7. Antsiferova O. A. Monitoring-based investigation of Cambisols moisture regimes for areas in autonomous relief positions / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 368, conference 1, 2019 [Электрон. данные]. Режим доступа: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/368/1/012004>

### HYDROLOGICAL REGIME OF DRAINED SOILS UNDER WINTER WHEAT AND BARLEY

O. A. ANTSIFEROVA, D.N. SAFONOVA

*Kaliningrad State Technical University, Department of Agro-soil Science and Agroecology,  
antsiferova@inbox.ru; pomailer@mail.ru*

**Abstract.** The studies were conducted in 2019-2020, which are close to the annual average in terms of precipitation. The differences between the groups of soils of different degrees of hydromorphism (Cambisols, Endogleyic Cambisols and Gleysols) are established. To characterize the hydrological regime of drained soils, it is proposed to use a set of indicators, including the duration of periods of drying and waterlogging, through-wetting, critical porosity of aeration, and the dynamics of perched water. Soil and hydrological conditions contribute to higher yields in autonomous positions of relief. Gleysols in closed depressions have an unfavorable hydrological state, so crop losses on them amounted to more than 80 % in the years of research.

**Keywords.** Hydrological regime, porosity of aeration, perched water, winter wheat and barley yield

## **СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНО ОСУШАЕМЫХ ГЛЕЕВАТЫХ БУРОЗЕМОВ САМБИЙСКОЙ РАВНИНЫ**

О. А. АНЦИФЕРОВА, Д.И. ЮСУПОВА

ФГОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (ФГОУ ВО «КГТУ»),  
Калининград, *anciferova@inbox.ru; dinarij1986@mail.ru*

**Аннотация.** В результате изучения агрегатного состава 22 ареалов глееватых буроземов на трех полях установлено, что структура пахотного слоя почв является глыбисто-комковатой или комковато-глыбистой. Содержание агрономически ценных агрегатов (10 – 0,25 мм) преимущественно удовлетворительное. Водопрочность структуры неудовлетворительная по причине низкого содержания ила и гумуса.

**Ключевые слова.** Агрегатный состав, буроземы, водопрочность структуры

### **Введение**

Структура почвы создает условия для произрастания сельскохозяйственных культур, регулируя содержание влаги, воздуха и тепла (Качинский, 1965; Шеин, 2006). На формирование почвенной структуры пахотных почв влияет комплекс природных (физические, физико-химические, химические свойства почв, растительность и фауна почв) и агрогенных факторов (обработка почвы, удобрения, культуры, мелиорации). В Калининградской области большинство пахотных почв являются длительно осушаемыми по причине их избыточного увлажнения. В западной части региона преобладают буроземы разной степени оглеения (Анциферова, 2008). С 2010 г. началось внедрение высокоинтенсивных агротехнологий. В этих условиях структура почвы остается слабоизученным свойством. Поэтому актуальность проблемы состоит в оценке современного агрегатного состава пахотных почв как физического фактора получения стабильных урожаев.

### **Объекты и методы исследования**

Исследования проводили на трех полях в Зеленоградском районе Калининградской области. Рельеф полей и состав почвенного покрова типичны для региона и представляют собой холмистую равнину с преобладанием глееватых буроземов легкосуглинистого и супесчаного состава. Почвы в большинстве случаев глубоковыщелоченны (имеют кислую реакцию среды в подпахотных горизонтах и почвообразующей породе). Это результат промывного типа водного режима и длительного применения гидrolитически кислых минеральных удобрений. Все оглеенные почвы осушаются сетью закрытого гончарного дренажа с отводом вод в каналы или водохранилища. Последняя реконструкция дренажных сетей проведена на участке «Перелески» в 1975 г., «20-й км» в 1980 г, «Панаево» в 1985 г.

Пробы почв отбирали в четыре - пятикратной повторности с каждого почвенного ареала в летний период. Структурное состояние гумусового горизонта (0–20 см) изучали методом Н.И. Саввинова (сухое и мокрое просеивание) (Вадюнина, 1986, с. 62–66). Плотность сложения почв (равновесная плотность перед уборкой культур) определяли методом режущих колец (Вадюнина, 1986, с. 97–98). Коэффициент структурности рассчитывали, как отношение суммы агрегатов размером 10–0,25 мм к сумме агрегатов крупнее 10 мм и мельче 0,25 мм. Критерий водопрочности представляет собой процентное отношение суммы агрегатов размером 10–0,25 мм при мокром и сухом просеве. В программе Excel выполняли статистический анализ полученных данных.

Название структуры давали по агрономической классификации Н. И. Саввинова (Кирюшин, 1996, с. 162). Оценка структурного состояния почв проводили по шкале С. И. Долгова и П. У. Бахтина (Ганжара, 2002, с. 21).

### **Результаты и обсуждение**

Причинами формирования и разрушения почвенной структуры является комплекс факторов. Гумусовый горизонт буроземов имеет мощность от 20 до 30 см, причем слой 20 – 30 см является результатом почвоуглубления при формировании культурного слоя в период 70-80-х годов XX в. по программе комплексного агрохимического окультуривания почв (КАХОП). Содержание гумуса в пахотном слое (0–20 см) буроземов варьирует от 2 до 3%, в эродированных почвах ниже 2%. Региональной особенностью является увеличение количества гумуса при повышении степени гидроморфизма почвы (Анциферова, 2008).

Гранулометрический состав пахотного горизонта буроземов связносупесчаный или легкосуглинистый (содержание физической глины 15–30%). Гумусовый горизонт обеднен илистой фракцией, максимум которой в профилях почв обнаруживается в иллювиальных горизонтах (50 – 100 см) (Анциферова, 2008). Под влиянием промывного водного режима развивается лессиваж (вынос ила без химического разрушения). Большинство буроземов не имеет признаков оподзоливания. Осушение усиливает процесс выноса ила из верхних горизонтов почв (Эколого-географические..., 1999). Разрушение минералов илистой фракции происходит под влиянием минеральных удобрений (Чижикова, 1992). Результатом воздействия этих факторов является низкое содержание ила (5–8%) в слое 0–20 см осушаемых глееватых буроземов.

На пахотных почвах практикуется следующее чередование культур: озимая пшеница – озимый рапс – озимая пшеница – ячмень. Также иногда встраивается яровая пшеница, реже яровой рапс. Система обработки почв оказывает сильное влияние на агрегатный состав. В настоящее время широко практикуется дискование на глубину 12–15 см под яровые культуры весной (дисковая борона Amazone Catros 6001-2). Под озимую пшеницу и озимый рапс проводят сначала культивацию на глубину до 20 см (культиватор KOCKERLING VECTOR 620), а затем дискование. Иногда применяют позднюю вспашку на глубину 20–22 см под яровые культуры с использованием плуга Amazone-Hektor 7.

За последние 30 лет в почвы не вносились органические удобрения в форме навоза или компостов. Органический материал поступал в почвы при заправке стерни зерновых колосовых или рапса. Известкование также не проводилось, поэтому почвы стали подкисляться. Таким образом, система удобрений была минеральной. Основным удобрением является аммонийная селитра, которая вносится поверхностно вразброс в качестве подкормки два - четыре раза за период вегетации. Также используется удобрение Полифоска21 ( $N_{21}Mg_4S_{35}$ ).

В результате анализа 22 ареалов глееватых осушенных буроземов на трех пахотных полях Зеленоградского района (Самбийская холмисто-моренная равнина) получены данные о механической прочности и водопрочности структуры (таблица 1-2). Пробы почв отбирались с учетом геоморфологических особенностей и степени гидроморфизма почв изучаемой территории (буроземы на вершинах и склонах холмов). Все почвы имеют комковато-глыбистую или глыбисто-комковатую структуру. По количеству агрономически ценных агрегатов при сухом рассеве структура варьирует от хорошей до неудовлетворительной как в пределах одного поля, так и между полями. При сходных системах земледелия больший выход агрегатов размером 10 – 0,25 мм отмечается на ключевом участке «Перелески», а структура в среднем характеризуется как удовлетворительная. Надо отметить, что почвы этого поля характеризуются большей опесчаненностью по сравнению с другими участками. Поэтому водопрочность агрегатов оказалась неудовлетворительной, а критерий водопрочности - низким.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1. Агрегатный состав глееватых буроземов по данным сухого рассева

Элемент рельефа	Ключевой участок*	Содержание (%) фракций, мм			K <sub>стр</sub>
		Более 10	10 - 0,25	Меньше 0,25	
Вершины холмов	1	33,5 ± 1,5	58,6 ± 2,2	7,9 ± 1,4	1,4 ± 0,4
	2	45,5 ± 2,9	46,1 ± 2,5	8,0 ± 1,3	0,9 ± 0,2
	3	61,1 ± 2,9	33,1 ± 0,9	5,8 ± 1,9	0,5 ± 0,2
Склоны 2–5°	1	36,9 ± 3,1	52,1 ± 3,2	11,0 ± 2,0	1,1 ± 0,7
	2	44,1 ± 3,9	47,9 ± 4,5	8,0 ± 0,9	0,9 ± 0,2
	3	55,9 ± 8,1	40,1 ± 7,1	4,0 ± 0,4	0,7 ± 0,2

\* 1 – участок «Перелески», 2 – участок «20-й км», 3 – участок «Панаево»

Таблица 2. Содержание водопрочных агрегатов в глееватых буроземах (мокрый рассев)

Элемент рельефа	Ключевой участок	Содержание (%) фракций, мм		K <sub>вп</sub>
		10-0,25	Меньше 0,25	
Вершины холмов	1	31,4 ± 2,4	68,6 ± 2,5	53,6
	3	34,6 ± 1,7	65,4 ± 1,7	104,5
Склоны 2-5°	1	34,6 ± 4,0	65,4 ± 4,2	66,4
	3	40,8 ± 3,2	59,8 ± 3,2	100,0

На участке «20-й км» увеличивается количество глыбистой фракции. Причина заключается в большей степени гидроморфизма почв и проведении механических обработок в неоптимальные сроки. Наибольшей глыбистостью отличаются почвы на участке «Панаево». Здесь определяющим является фактор техногенного воздействия на почвы. В 2013 г. на поле проложены линейные сооружения и трасса ЛЭП. Итогом явилось сильное уплотнение почв, абрадирование гумусового горизонта в некоторых ареалах буроземов. По водопрочности различия с другими участками недостоверны. Но критерий водопрочности показывает, что на поле «Панаево» при мокром просеивании глыбистые фракции дают выход водопрочных агрегатов.

Средняя плотность пахотного слоя почв на участке «Перелески» и «20-й км» составила соответственно 1,29±0,03 г/см<sup>3</sup> и 1,31±0,04 г/см<sup>3</sup>, а на поле «Панаево» 1,35 ± 0,02 г/см<sup>3</sup>. Примечательно, что практика преимущественно минимальной обработки почв в течение последних 10 лет привела к формированию сильно уплотненного горизонта (плотность выше 1,5 г/см<sup>3</sup>) на глубине 20 – 30 см в большинстве ареалов почв. Особенно это выражено в сильноглееватых и эродированных буроземах на участке «20-й км» и во всех изученных почвах участка «Панаево».

Различия оструктуренности почв по геоморфологическому признаку (вершины холмов и склоны) недостоверны, также отсутствует корреляционная связь агрегатного состава с содержанием гумуса при рассмотрении незэродированных (слабозэродированных) почв внутри одного поля.

При изучении ареалов эродированных (в основном смытых) буроземов наблюдается высокая опесчаненность пахотного слоя, крайне низкое содержание илистой фракции, при сухом расसेве высокое содержание агрономически ценных агрегатов за счет низкого количества глыб и попадания песка в мелкие фракции, при этом структура практически неводопрочная. Критерий водопрочности среднеэродированных почв ниже 33 %. Различия по количеству водопрочных агрегатов достоверны между незэродированными (и слабозэродированными) и среднеэродированными буроземами (НСР<sub>05</sub> = 9,3 при t<sub>факт</sub> = 10,4).

Как отмечали Н.А. Качинский, А.Д. Воронин, В. В. Медведев при оценке оптимальных размеров почвенных агрегатов нет единых требований, важно учитывать степень увлажнения природной зоны (Качинский, 1965, Воронин, 1986, Медведев, 2008). В условиях гумидного климата западной части Калининградской области (среднепогодное количество осадков 781 мм) наиболее ценными будут агрегаты, которые обеспечивают хорошие фильтрационные качества пахотного слоя, т.е. воздухо- и водопроницаемость. Вероятно, оптимальный диапазон агрегатов должен быть 20–5 мм, на что также указывал В.В. Медведев в своих опытах. Количество таких агрегатов в изученных почвах варьирует от четверти до половины от общего количества агрегатов более 0,25 мм при сухом расसेве. Результаты мокрого просеивания показывают, что преобладают агрегаты мельче 1 мм. Сумма водопрочных агрегатов крупнее 1 мм составляет всего 5–8% на участке «Панаево» и 10–11% на участке «Перелески». Следовательно, при супесчаном и легкосуглинистом составе и содержании гумуса в пределах 2–3% крупных водопрочных комочков образуется очень мало.

### **Выводы**

1. Структура пахотного горизонта глееватых осушенных буроземов является комковато-глыбистой или глыбисто-комковатой. Количество агрономически ценных агрегатов размером 10 – 0,25 мм варьирует в зависимости от гранулометрического состава и антропогенной преобразованности почв.

2. Водопрочность структуры пахотного горизонта большинства почв неудовлетворительная как следствие низкого содержания илистой фракции и гумуса (2 – 3 %). Худшие показатели водопрочности у среднеэродированных почв.

3. В периоды интенсивного увлажнения агрегаты почв будут разрушаться, что приведет к потере почвами структурности и увеличит риск развития эрозии.

### **Благодарности**

Работа выполнена в рамках инициативно-поисковой госбюджетной научно-исследовательской темы кафедры агропочвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «КГТУ» «Почвенные ресурсы Калининградской области: оценка, использование, продуктивность, управление» (13.16.022.2. ООПНДИНТИ КГТУ).

### **Список литературы / References**

- Анциферова О.А. Почвы Замландского полуострова и их антропогенное изменение. Ч. 1. Факторы почвообразования. Почвы подзолистого и буроземного рядов. Калининград, 2008. 397 с.
- Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследований физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- Воронин А.Д. Основы физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 244 с.
- Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.
- Качинский Н.А. Физика почвы. Ч.1. М.: Высшая школа, 1965. 324 с.
- Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 367 с.
- Медведев В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). Харьков, 2008. 406 с.
- Шейн Е.В., Гончаров В.М. Агрофизика. Ростов на Дону, 2006. 400 с.
- Чижикова Н.П. Преобразование минералогического состава почв в процессе агрогенеза: диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук: 03.00.27. Москва, 1992. 692 с.
- Эколого-географические закономерности эволюции почв и почвенного покрова мелиорируемых земель Нечерноземья. Под ред. М.С. Симаковой, Л.Л. Шишова. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1999. 372 с.

**STRUCTURAL STATE OF LONG-DRAINED GLEYING CAMBISOLS OF THE SAMBIAN PLAIN**

O. A. ANTSIFEROVA, D.I. YUSUPOVA

*Kaliningrad State Technical University, Department of Agro-soil Science and Agroecology,  
anciferova@inbox.ru; dinarij1986@mail.ru*

**Abstract.** As a result of the study of the aggregate composition of 22 areas of gleying Cambisols on three fields, it was found that the structure of the arable layer of soils is crumby-lumpy. The content of agronomically valuable aggregates (10 – 0.25 mm) is mostly satisfactory. The water stability of the structure is unsatisfactory due to the low content of silt and humus.

**Keywords.** Aggregate composition, Cambisols, water stability of structure.



**ДИНАМИКА ОРГАНИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ И ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В  
ЗЕРНОПРОПАШНОМ СЕВООБОРОТЕ ОПЫТА ЦТЗ**

А. И. БЕЛЕНКОВ

*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,  
Москва*

**Аннотация.** В статье рассматриваются отдельные элементы биологизации земледелия в полевом опыте ЦТЗ, связанные с проведением пожнивного посева горчицы на сидерат после уборки озимой пшеницы под урожай картофеля будущего года, послеуборочным использованием соломы озимой пшеницы и ячменя, заделкой в почву растительных остатков всех культур зернопропашного севооборота.

**Ключевые слова.** Биологизация земледелия, зернопропашной севооборот, растительные остатки, сидерат, поступление и вынос элементов питания.

В 2007 году в рамках инновационного общеобразовательного проекта в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева впервые в стране в учебном ВУЗе был создан научный Центр точного земледелия (ЦТЗ). Основу Центра составляет полевой опыт общей площадью около 6 га по сравнительному изучению технологий точного и традиционного земледелия в четырехпольном зернопропашном севообороте с чередованием культур: викоовсяная смесь на корм – озимая пшеница с пожнивным посевом горчицы на сидерат – картофель – ячмень. В опыте изучаются два фактора – технологи возделывания полевых культур (фактор А) и приемы основной обработки почвы (фактор В). В данной статье рассматривается только один фактор - В. Схемой опыта предусмотрены следующие приемы основной обработки почвы: отвальная на 20-22 см под все культуры севооборота, которая изучалась в сравнении с нулевой (без обработки) под викоовсяную смесь и озимую пшеницу и минимальной на 12-14 см под картофель и ячмень. Следует добавить, что культуры возделывались с применением минеральных комплексных удобрений с предпосевным внесением нормой 300 кг/га под вику + овес, озимую пшеницу и ячмень, 1 т/га под картофель в расчете на соответствующую планируемую урожайность [1-3].

В связи с этим, в качестве элементов биологизации земледелия в опыте рассматривается пожнивной посев горчицы на сидерат после уборки озимой пшеницы, послеуборочное использование соломы озимой пшеницы и ячменя, заделка в почву растительных остатков всех культур зернопропашного севооборота [4-6].

В течение пяти лет определялась масса пожнивно-корневых растительных остатков по культурам севооборота (табл. 1).

Обнаружено, что как накопление растительных остатков полевыми культурами, так и их урожайность зависели от технологии возделывания, агроклиматических условий, приемов обработки почвы. Анализируя количество пожнивно - корневых остатков, накопленное по отдельным годам различными культурами, следует отметить, что викоовсяная смесь только в отдельные годы, при благоприятных условиях для минимальных обработок, большую массу растительных остатков накапливала на прямом посеве (2016 г.). В остальной период наблюдалось преимущество вспашки, особенно в «провальном» для нулевой обработки 2017 г., когда отмечалась чрезвычайно высокая засоренность кормовой культуры. По большинству лет преимущество лидирующего варианта подтверждается расчетами НСР. В среднем за 5 лет отвальная обработка опережала нулевую по накоплению пожнивно-корневых остатков вики с овсом на 0,44 т/га. Похожая тенденция складывалась по величине формируемой урожайности зеленой массы смеси. При этом преимущество вспашки в среднем за годы составляло 6,3 т/га.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1. Масса пожнивно-корневых остатков и урожайность культур по вариантам опыта, т/га.

Культура	Обработка почвы	Масса пожнивно - корневых остатков, т/га / урожайность, т/га					
		2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее
Вика + овес	отвальная	2,56/25,3	2.33/22,2	1.93/13,8	0,75/7,6	2,41/22,6	2,0/18,3
	нулевая	2.60/27,5	1.3/6.1	1,71/11,5	0,52/3,8	1.69/11,0	1,56/12,0
	НСР <sub>05</sub> , т/га	0,14/3,10	0,85/5,46	0,20/2.2	0,31/2,8	0,45/6,9	-
Оз. пшеница	отвальная	4,60/5,00	4,77/5,39	4.94/5,46	3,08/3,59	5.88/6,73	4,65/5.23
	нулевая	4.99/5,52	4,55/5,09	4,38/4,83	2.14/2,55	5.09/5.96	4,27/4.80
	НСР <sub>05</sub> , т/га	0,28/0,39	0,21/0,24	0,49/0,48	0,36/0,50	0,52/0,52	-
Ячмень	отвальная	3,39/4,03	3.67/4,21	2,88/3,70	1,96/2.62	2.12/2,86	2.80/3.48
	минимальная	3,23/3,99	3.13/4,04	2,92/3,79	2,12/2.76	1,74/2,48	2,63/3,41
	НСР <sub>05</sub> , т/га	0,09/0,19	0,32/0,17	0,06/0,13	0,18/0,14	0,29/0,25	-

По озимой пшенице картина складывалась следующим образом. В среднем за 5 лет, прямой посев накапливал растительных остатков на 0,38 т/га меньше отвальной обработки, однако. В 2016 г., разница между вариантами составила порядка 0,39 т/га в пользу нулевой обработки, соответственно, в относительно благоприятный по метеоусловиям период наблюдалось преимущество вспашки. В среднем за период исследований, отвальная обработка имела преимущество в сравнении с нулевой по урожайности 0,43 т/га. Это свидетельствует о возможности в условиях Нечерноземья под зерновые культуры, в отдельных случаях, применять прямой посев с минимальными затратами.

Ячмень, практически, одинаково реагировал на приемы основной обработки, имея преимущество минимальной над отвальной в 2018 и 2019 гг., в остальной период приоритет за вспашкой. Соответственно накапливались и масса растительных остатков под посевами ячменя по вариантам опыта. Средняя за 5 лет разница по массе корней и жнивья находилась на уровне 0,17 т/га, по урожайности культуры она составляла 0,07 т/га в пользу вспашки.

Рисунок 1 содержит информацию по массе сидеральной горчицы, возделываемой пожнивно после уборки озимой пшеницы под урожай картофеля будущего года. В среднем, за период наблюдений, отвальная обработка достоверно опережала минимальную по растительной массе горчицы, заделываемой в почву. Только в 2016 г. ее биомасса по вариантам опыта статистически не отличалась. В среднем за 5 лет отвальный вариант имел преимущество над минимальным на 0.24 т/га. Как элемент биологизации данный прием - запашка сидеральной горчицы, в т.ч. послужил причиной более высокой урожайности картофеля по первой обработке. Средняя урожайность культуры по вспашке опережала минимальную обработку на 3,8 т/га.

Таким образом, подчеркиваем необходимость формирования гомогенного глубококультурного слоя почвы при выращивании картофеля за счет проведения качественной обработки отвальным плугом, что обеспечивало наиболее полноценное развитие культуры.



Рис. 1. Масса пожнивной горчицы и урожайность картофеля по вариантам опыта ЦТЗ, т/га

Важно проследить количество поступивших с пожнивно-корневыми остатками полевых культур элементов питания в почву и определить их вынос с урожаем (табл. 2).

Таблица 2. Поступление элементов питания с растительными остатками и их вынос с урожаем с.-х. культур, кг/га (в среднем за 2016-2020 гг.)

Культура	Обработка почвы	Азот		Фосфор		Калий	
		поступление*	вынос	поступление*	вынос	поступление*	вынос
Вика+овес	отвальная	125	133	35	36	108	112
	нулевая	120	116	27	31	80	104
Озимая пшеница	отвальная	159	206	26	31	69	104
	нулевая	57	181	18	53	58	115
Картофель	отвальная	106	226	25	72	164	139
	минимальная	90	197	22	66	137	120
Ячмень	отвальная	154	196	112	36	64	74
	минимальная	154	208	91	38	69	88

\*поступило в почву с растительными остатками с.-х. культур, в т.ч. с сидератом под картофель [7].

Следует заметить, что поступление азота с растительными остатками только по вике с овсом превышало над выносом из почвы, по остальным культурам наблюдался дефицит, который покрывался за счет внесения минеральных комплексных удобрений, вносимых перед посевом (рис. 2).

Наибольший дефицит азота отмечался на картофеле, несмотря на заделку с осени под культуру горчицы на сидерат в предыдущий год. В связи с этим, под картофель вносилось порядка 1 т/га минеральных удобрений, что позволило покрыть дефицит.

Паритет между внесением и выносом фосфора проявлялся на викоовсяной смеси по вспашке (рис. 3).

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

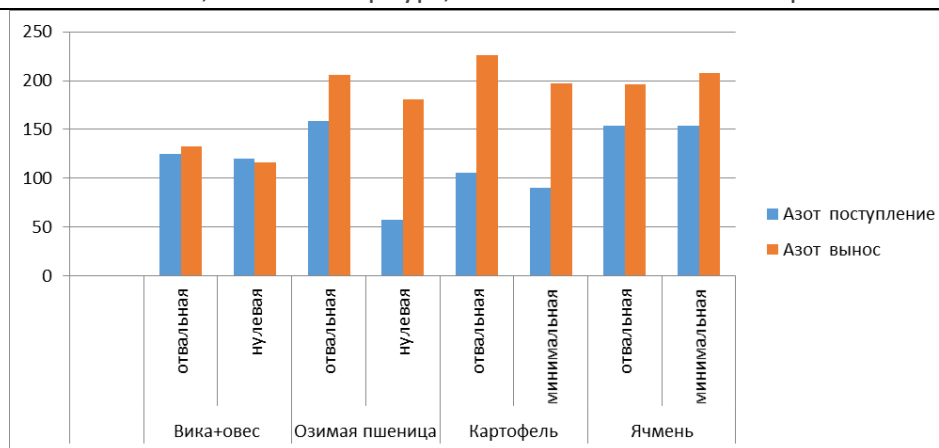


Рис. 2. Поступление азота с растительными остатками и его вынос с урожаем с.-х. культур, кг/га (в среднем за 2016-2020 гг.)

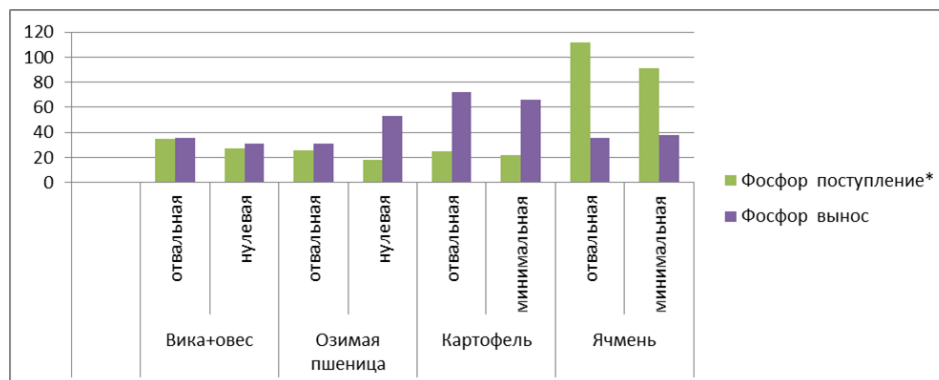


Рис. 3. Поступление фосфора с растительными остатками и его вынос с урожаем с.-х. культур, кг/га (в среднем за 2016-2020 гг.)

Незначительное превышение выноса над поступлением фосфора наблюдалось на прямом посеве этой культуры и на обоих вариантах по озимой пшенице. Более дефицитным в отношении баланса фосфора сложилась ситуация на картофеле. Разница между поступлением и выносом фосфора пропашной культурой оказалась около 3 раз в пользу расходной статьи баланса элемента. На ячмене поступление фосфора с пожнивно-корневыми остатками превосходило вынос практически в 3 раза.

Относительно содержания калия в почве следует отметить превышение расходной части над приходной по большинству культур, за исключением картофеля (рисунок 4).

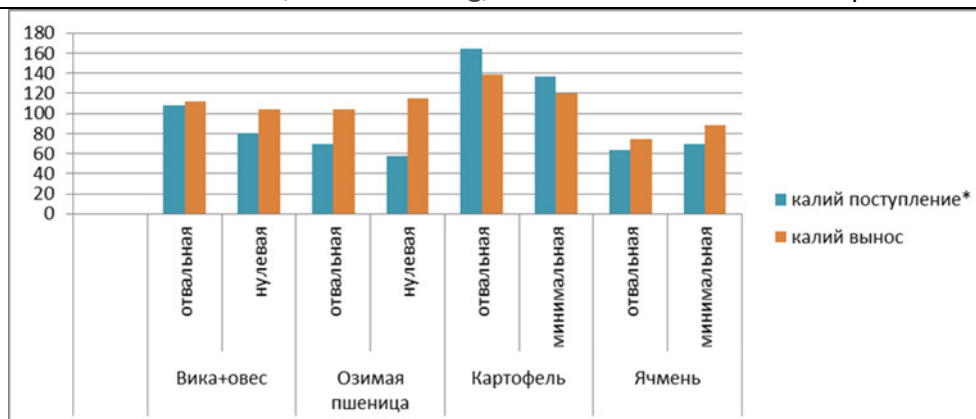


Рис. 4. Поступление калия с растительными остатками и его вынос с урожаем с.-х. культур, кг/га (в среднем за 2016-2020 гг.)

Кормовая вика с овсом и зерновые культуры испытывали различной степени дефицит обменного калия, который покрывался за счет внесения минеральных удобрений перед посевом культуры.

Обобщая результаты наших исследований, следует подчеркнуть, что биологизация севооборотов в современной земледелии имеет важное практическое значение, которое следует учитывать при планировании системы удобрения под культуры, выборе приемов обработки почвы, определении возможности качественной заделки пожнивных и корневых остатков при минимальной и, особенно, нулевой обработке. Более эффективными и рациональными приемами биологизации, на наш взгляд, помимо приводимых, является посев многолетних трав в севооборотах и использование навоза [8].

#### Список литературы / References

1. Точное сельское хозяйство (precision agriculture) / Под ред. Д. Шпаара, А.В. Захаренко, В.П. Якушева. СПб-Пушкин, 2009-400 с.
2. Балабанов В.И. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие: Учебное пособие / В.И. Балабанов, С.В. Железова, Е.В. Березовский, А.И. Беленков, В.В. Егоров. М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2013. 48 с.
3. Беленков А.И., Железова С.В., Березовский Е.В., Мазиров М.А. Элементы технологии точного земледелия в полевом опыте РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева // Известие ТСХА. 2011. Вып. 6. С. 90-100.
4. Беленков А.И., Полин В.Д., Железова С.В. Результаты полевого опыта Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева// «Нивы России». №5(160), июнь, 2018. С. 42-57.
5. Alexey Belenkov, Mikhail Mazirov, Valeria Arefieva Theoretical and practical aspects of basic soil treatment in the conditions of modern soil management systems in Russia // Eurasian Journal of Soil Science. 2018. №7 (4). P. 300-307.
6. Беленков А.И., Березовский Е.В., Железова С.В. Совершенствование технологии возделывания картофеля в системе точного земледелия // Картофель и овощи. 2019. № 6. С. 30-34.
7. Малахов Н.В. Эффективность разноглубинной заделки пожнивного сидерата и соломы в повышении плодородия почвы и продуктивности севооборота в ЦР НЧЗ: автореф. канд. дисс. – 06.01.01. – М., 2019. – 22 с.
8. Беленков А.И., Шевченко В.А., Трофимова Т.А., Шачнев В.П. Научно-практические приемы совершенствования обработки почвы в современных адаптивно-ландшафтных системах земледелия: монография. – М.: Инфра-М, 2019. – 279 с.

**DYNAMICS OF ORGANIC RESIDUES AND MINERAL NUTRITION ELEMENTS IN GRAIN CROP  
ROTATION OF THE CTR EXPERIENCE**

A.I. BELENKOV

*Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev*

**Abstract.** The article examines individual elements of the biologization of agriculture in the field experiment of the TsTZ, associated with stubble sowing of mustard on green manure after harvesting winter wheat for the next year's potato harvest, post-harvest use of winter wheat and barley straw, incorporating plant residues of all crops of grain-tilled crop rotation into the soil.

**Keywords.** Biologization of agriculture, grain-row crop rotation, plant residues, green manure, intake and removal of nutrients.

**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ЭКСТЕНСИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАВСТОЕВ ЛУГОВ РАЗНЫХ КЛАССОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ**

Н.В. ГРИЦ<sup>1,2</sup>, А.В. ДИЧЕНСКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии» (ФГБНУ ВНИИФ), р.п. Большие Вязёмы, Московская область, [ngritz@gmail.com](mailto:ngritz@gmail.com);

<sup>2</sup>ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (ФГБНУ ФНЦ ЛК), г.Тверь, [dichalex@yandex.ru](mailto:dichalex@yandex.ru)

**Аннотация.** Процесс экстенсификации использования лугопастбищных угодий в последнее время характеризует сельское хозяйство большинства стран европейского континента. Для улучшения природной среды возможно применение консервации некоторых малопродуктивных угодий, в частности, сенокосов и пастбищ. Эксперимент проводился более 20 лет на суходольном, низинном и пойменном лугах. Наибольшее накопление биомассы отмечено на суходольном лугу, наименьшее - на низинном, в промежуточном положении краткопоемный луг.

**Ключевые слова.** Экстенсивное использование, многолетние травостои, пойменный луг, суходольный луг, низинный луг, почвенное плодородие.

**Введение**

О роли лугов в «зелёном» будущем человеческого сообщества в 2013 году рассматривались вопросы на симпозиуме Европейской федерации луговодов. Отдельно на конференции выделялась секция «Сохранение лугов экстенсивного использования», где затрагивался широкий круг вопросов, связанных с луговодством (Тампере, 2013).

Для России, три четверти территории которой расположено в экстремальных для сельского хозяйства условиях, имеющей 40 млн га залежных земель, семикультуры приобретают особенно актуальное значение. Семикультуры — это энергосберегающие, весьма разнообразные популяции и сообщества (по биоморфам, видовому составу, структуре), используемые преимущественно в экстенсивных формах хозяйствования. При оптимальном сочетании культур и семикультур достигается высокая эффективность в экономике АПК и гармония с биосферой, при нарушении - неизбежны издержки в производстве, экологические нарушения, проблемы в биосфере и сохранении биоразнообразия (Димитриев, Шилов, 2018).

Многочисленные результаты исследований по агроэкологической оценке состояния земель, выбывших из сельскохозяйственного оборота позволяют оценить экологические, экономические и социальные причины, возможные позитивные и негативные последствия этого явления. Данные по выводу пашни из оборота за последние годы, общероссийские и региональные аспекты и методы почвенно-агроэкологического обоснования использования этих земель позволяют поставить задачи совершенствования нормативно-правового обеспечения сохранения сельскохозяйственных земель в активном обороте, а также научного обеспечения мероприятий и технологий по возврату таких почв в сельскохозяйственное производство и консервации их деградированных аналогов (Иванов и др., 2008).

Многолетние исследования проводятся в ФГБНУ ФНЦ ВИК имени В.Р. Вильямса на базе полевого опыта, заложенного весной 1935 года как варианта заповедника без использования (не скашивается). Так продуктивность сеяного сенокоса в экстенсивных условиях (за счёт естественного плодородия дерново-подзолистой кислой почвы) в среднем составляет 1,9 тыс. корм. ед./га. На основе нового метода определения потоков валовой энергии в агроэкосистеме в 1994-2015 годах впервые получены количественные показатели дополнительного увеличения размеров мобилизации природных факторов в расчёте 7,7-8,0 ГДж на 1 ГДж антропогенной нагрузки. Это положение обосновывает приоритет улучшений природных кормовых угодий в

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

современных условиях при ограниченной доступности материально-технических ресурсов в кормопроизводстве и АПК (Кутузова, Тебердиев, Родионова, 2016).

Конкретные показатели по средообразующему влиянию луговых агроэкосистем при долголетнем использовании фитоценозов (60 лет) на формирование подземной массы, изменение почвенного плодородия предлагаются на основе методологии оценки производства валовой энергии луговыми агросистемами, что подтверждается экспериментальными данными, определяющими ведущую роль факторов, обеспечивающих высокую окупаемость антропогенных затрат энергии (Кутузова, Привалова, Тебердиев, 2017).

Целью наших опытов предусматривалось изучить долговременные последствия сохранения сложившихся систем использования кормовых угодий и последствия перехода от них к более или менее интенсивным системам с учетом разнообразия встречающихся в хозяйстве местообитаний.

#### Объекты и методы исследования

Поскольку экстенсификация и интенсификация использования травостоев на разных типах кормовых угодий приводят к разным результатам, в качестве опытных участков были выбраны луга трех классов – равнинный (подкласс суходол временного избыточного увлажнения), низинный и краткочасовой.

Агрохимическая характеристика почвы опытных участков представлена в таблице 1.

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почв перед закладкой опытов (слой 0-10 см), 1995 год

Показатель	Краткочасовой луг	Низинный осушенный луг	Суходол временно-избыточного увлажнения
pH <sub>сол.</sub>	7,4	5,8	5,2
мг. экв. Гк, 100 г почвы	0,7	2,6	4,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г почвы	8,0	19,0	14,7
K <sub>2</sub> O, мг/100 г почвы	8,0	14,4	7,8
Гумус, %	4,5	2,8	3,2

Опыт заложен методом расщепленных делянок по одинаковой схеме на сенокосах трех классов и включал 9 вариантов. Повторность опытов четырехкратная. Площадь одной опытной делянки - 15 м<sup>2</sup>.

Последствия дальнейшей экстенсификации использования травостоев изучали в вариантах с прекращением их использования на кормовые цели, то есть без удаления накапливающейся массы с участка. При этом травостой оставался без подкашивания или же подвергался подкашиванию с оставлением скошенной массы на месте (мульчирование в осенний период и после завершения периода плодоношения растений). Такое подкашивание не препятствует семенному размножению луговых растений и обеспечивает ландшафту приемлемый эстетический вид, то есть имеет эстетико-экологическое значение.

Учет урожая на каждой опытной делянке проводился на трех учетных площадках площадью по 1 м<sup>2</sup>. Урожайность биомассы на всех вариантах не используемого травостоя проводили скашиванием растений на высоте 3-5 см, одновременно - в период раннеосеннего подкашивания.



**Результаты и обсуждение**

В вариантах пойменного луга в период исследований преобладала доля чинной луговой. Ее содержание в травостое уменьшилось с 24,1% в 1997 году до 19,4% в 2019 году. Сохранилась тенденция снижения доли злаков (тимофеевка луговая, овсяница луговая, лисохвост луговой) и увеличения доли разнотравья под влиянием раннеосеннего мульчирования травостоев. Так в 2019 году тимофеевка луговая, преобладающая в травостое, при раннеосеннем мульчировании составила 15,3% по сравнению с 14,7% в варианте без мульчирования.

Распространению разнотравья на низинном лугу способствовали более позднее подкашивание и отсутствие подкашивания. Более чем за 20 лет доля разнотравья возросла с 31,8% до 54,3% в варианте без мульчирования. При этом во всех вариантах в течение указанного периода преобладала ежа сборная – от 36,3% в 1997 году до 25,5% в 2019.

Доля разнотравья на неиспользуемом участке суходольного луга несколько больше была при отсутствии подкашивания травостоя. Доминирующее положение злаков в травостое оставалось неизменным на протяжении всего опыта. Учитывая биологические особенности, содержание лисохвоста лугового, сохраняющего за собой лидерство, последовательно снижалось с 39,3 до 29,1%, а тимофеевки луговой и овсяницы луговой, наоборот, увеличивалось с 7,6 и 6,6% до 12,3 и 11,4% соответственно.

Изменение урожайности по годам опыта отмечено на всех видах кормовых угодий. Наиболее значительные изменения произошли на суходоле временно-избыточного увлажнения – накопление биомассы к 2019 году сократилось на 12,9-17,1%. Варианты низинного осушенного луга характеризовались увеличением биомассы травостоя на 4-10%. На пойменном лугу произошло сокращение образования биомассы порядка 7%. Меньше ее накапливалось на участке, травостой которого подкашивали в предшествующем году ранней осенью.

Накопление неразложившейся органической массы на лугах без сельскохозяйственного использования представлено на рисунке.

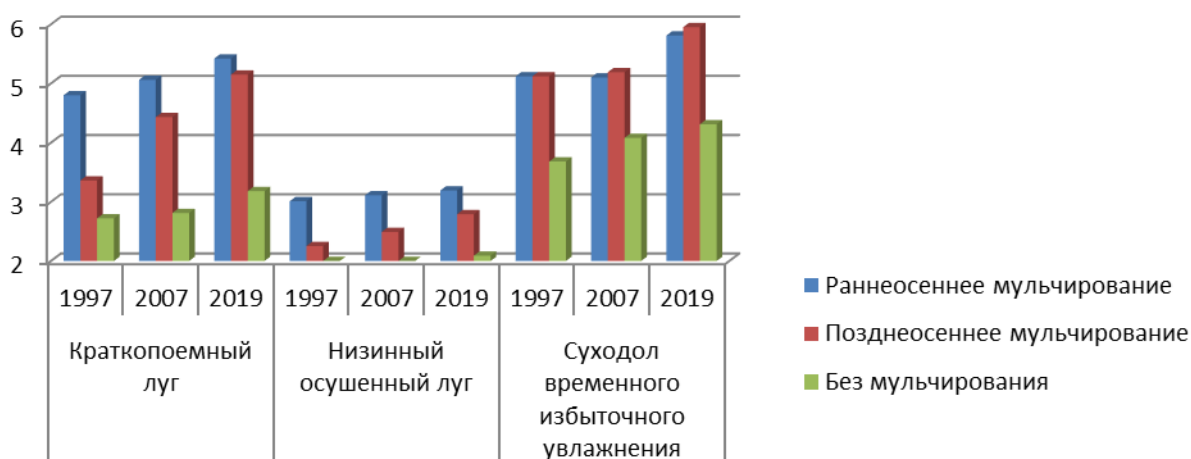


Рис. Накопление неразложившейся органической массы, т/га сухого в-ва

Снижение накопления биомассы на опытных участках суходола временно избыточного увлажнения сопровождалось по годам опыта увеличением накопления неразложившейся органической массы. Так при раннеосеннем мульчировании количество неразложившейся органической массы увеличилось с 5,12 до 5,81 т/га, а оставление травостоя нескошенным с 3,68 до 4,31 т/га. Низинный луг характеризовался самым незначительным накоплением органического вещества – до 3,18 т/га без мульчирования и до 5,42 т/га при раннеосеннем

мульчировании. Выявленную закономерность можно объяснить образованием достаточно мощного и плотного слоя растительной массы, которую оставляли на участке. Действие осенних осадков затрудняет обеспечение массы кислородом и формирует наименее благоприятные условия для деятельности бактерий, отвечающих за процесс разложения.

Периодическое проведение агрохимического анализа почв опытных участков позволяет делать вывод о сохранении почвенного плодородия при консервации угодий. Содержание гумуса по вариантам сохраняется на уровне, отмеченном при закладке опыта – на короткопоемном лугу – 4,53%, низинном осушенном – 2,85%, суходольном – 3,2%.

## Выводы

Переход к экстенсивному содержанию кормовых угодий в форме их консервации на разных местообитаниях сопровождается незначительным снижением доли разнотравья при преобладании в этой группе растений доли чины луговой (пойменный луг), на других увеличением доли одного компонента – ежи сборной (низинный осушенный луг), на третьих – резким уменьшением доли разнотравья и превращением луга в злаковый малокомпонентный (суходол временного избыточного увлажнения).

Проведение подкашивания неиспользованного на кормовые цели травостоя без мульчирования приводит к более значительному накоплению органического вещества на поверхности почвы по сравнению с оставлением травостоя в нескошенном виде. Объясняется эта особенность вероятнее всего тем, что на вариантах с присутствием мульчирования масса срезается, укладывается и тем самым, находится в непосредственной близости к почве, создавая анаэробные условия. В вариантах с оставлением массы нескошенной под действием атмосферных явлений биологическая масса быстрее минерализуется, тем самым в количественном выражении выбывает. Незначительные изменения химических элементов обусловлены сведением к минимуму выноса ввиду оставления биологической массы. В вариантах мульчирования образуются благоприятные условия для сохранения и прорастания семян ценных видов трав, что влечет положительные изменения ботанического состава травостоя. Таким образом, из трех вариантов ухода за консервированным угодьем, наибольшее предпочтение вызывают варианты с мульчированием – ранне-и позднеосенним, существенных различий между которыми не наблюдается.

## Список литературы / References

1. Тампере М. Роль лугов в "зелёном" будущем: проблемы и перспективы неблагоприятных регионов // Кормопроизводство. 2013. № 9. С. 3-5.
2. Димитриев А.В., Шилов М.П. Семикультуры: история, распространение, типы, технология, роль в апк, биосфере и ноосфере // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 9. С. 12-16.
3. Иванов А.Л., Завалин А.А., Кузнецов М.С., и др. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель, выбывших из активного сельскохозяйственного производства. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Российская академия сельскохозяйственных наук. Москва, 2008.
4. Кутузова А.А., Тебердиев Д.М., Родионова А.В. Эффективность антропогенных затрат и природных факторов на долголетнем сенокосе // Кормопроизводство. 2016. № 10. С. 8-12.
5. Кутузова А.А., Привалова К.Н., Тебердиев Д.М. Многофункциональная роль лугового кормопроизводства // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 2 (57). С. 23-27.

**THE INFLUENCE OF LONG-TERM EXTENSIVE USE OF GRASS STANDS OF MEADOWS OF DIFFERENT CLASSES ON THE FORMATION OF SOIL FERTILITY**

N. V. GRITS <sup>1,2</sup>, A.V. DICHENSKIY <sup>2</sup>

<sup>1</sup> *All-Russian Scientific Research Institute of Phytopathology (VNIIF), Bolshye Vyazemy district, Moscow Region, ngritz@gmail.com;*

<sup>2</sup> *Federal Scientific Center of Bast crops (FNC LC), Tver, dichalex@yandex.ru*

**Abstract.** The process of intensification of the use of grasslands has recently characterized the agriculture of most countries of the European continent. To improve the natural environment, it is possible to use the conservation of some low-yielding lands, in particular, hayfields and pastures. The experiment was carried out for more than 20 years on dry, low-lying and floodplain meadows. The greatest accumulation of biomass was observed in a dry meadow, the smallest-in a lowland, in an intermediate position, a short-term meadow.

**Keywords.** Extensive use, perennial herbage, floodplain meadow, dry meadow, lowland meadow, soil fertility.

---

## РАЗНООБРАЗИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО СООБЩЕСТВА НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВОГРУНТОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА НА ОСНОВЕ МЕТАГЕНОМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А. С. ЖУРАВЛЕВА<sup>1</sup>, Е. Е. АНДРОНОВ<sup>2</sup>, А. С. ГАЛУШКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),  
Санкт-Петербург, zhuravlan@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной  
микробиологии» (ВНИИСХМ), Санкт-Петербург

**Аннотация.** В результате проведенных метагеномных исследований выявлены структурные изменения сообществ нефтезагрязненных песчаных почвогрунтов г. Пушкин в зависимости от уровня загрязнения. Показано, что даже низкие уровни загрязнения в этих условиях могут быть критичными для выживаемости отдельных групп бактерий. Выявлены изменения обилия таксонов, среди представителей которых присутствуют термофильные виды.

**Ключевые слова.** Нефтезагрязненные почвогрунты, метагеномные исследования, бактериальное сообщество, термофильные бактерии.

### Введение

Изменение глобального климата влечет за собой массовые трансформации природных и антропогенных ландшафтов и закономерно приводит к изменениям температурного режима почв в сторону увеличения контрастности, что было показано для различных географических регионов (Алейникова, 2018, Неведров, Балабина, 2020). Поверхность антропогенно измененных почв и грунтов с нарушенным или отсутствующим растительным покровом, в том числе нефтезагрязненных почв и грунтов подвергается более выраженному нагреванию в жаркие периоды года в сравнении с зональными почвами. Изменение климата и антропогенная деятельность вызывают комплексные изменения в почвенных микробных сообществах, такие, как изменение их группового и видового состава в сторону увеличения доли видов, обладающих преимуществами в данных условиях, что неизбежно влияет на дальнейшее функционирование почвенно-растительных систем (Mc Hugh et al., 2017). Так, представители определенных таксонов бактерий, способные переходить в состояние покоя, такие как актинобактерии и бациллы, могут надолго сохраняться в почвах, испытывающих воздействие засухи (Bouskill et al., 2016, Naylor et al., 2017). Ранее нами было выявлено, что в нефтезагрязненных грунтах Санкт-Петербурга и Ленинградской области обитают спорообразующие термофильные бактерии, принадлежащие к родам *Geobacillus* и *Aeribacillus* (Журавлева и др., 2021), эти бактерии часто обнаруживают в местах с поверхностной геотермальной активностью.

В настоящее время для исследования изменений микробных сообществ почв и грунтов целесообразно применять генетические методы, в частности, метагеномный, позволяющий оценить разнообразие и структуру сообществ, в том числе, с учетом малочисленных и некультивируемых видов.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования служили 9 проб нефтезагрязненного почвогрунта (P1-P9) с полотна железной дороги г. Пушкин. Пробы отбирали в стерильные контейнеры с глубины 0,5–5 см в 5 точках 1 м<sup>2</sup>, далее из них приготавливали среднюю пробу. Выделение ДНК из образцов грунта, конструирование и секвенирование ампликонных библиотек и анализ нуклеотидных последовательностей проводились по стандартным методикам ВНИИСХМ (Malferrati et al., 2002, Андронов и др., 2009). Определение содержания нефтепродуктов в грунтах проводилось методом инфракрасной спектрофотометрии в соответствии с МУК 4.1.1956-05. Обработка полученных данных и расчет экологических индексов проводился в программе Excel 2016.

**Результаты и обсуждение**

Полученные метагеномные данные наглядно демонстрируют изменение состава бактериального сообщества исследуемых почвогрунтов в зависимости от уровня загрязнения нефтепродуктами, в том числе, при низких уровнях загрязнения. Известно, что низкий уровень загрязнения нефтепродуктами (менее 1%) может оказывать стимулирующее воздействие на численность и разнообразие микроорганизмов за счет развития углеводородоокисляющих групп (Hung-Soo et al., 2008), что подтверждается данными, представленными в таблице (табл.1). Снижение видового богатства в наиболее загрязненных образцах сопровождается проявлением доминирования отдельных групп бактерий. Стоит отметить, что в наиболее загрязненном образце (P3) доминирует род бактерий класса Clostridia, в котором присутствуют термофильные виды.

Таблица 1. Количество обнаруженных родов бактерий в образцах почвогрунтов г. Пушкин и доминирующие филоциты в зависимости от уровня загрязнения нефтепродуктами

Номер пробы	Содержание нефтепродуктов, масс%	Количество родов бактерий	Доминирующие филоциты
P1	0,55	165	<i>Burkholderiaceae, Mycobacterium, Williamsia, Sphingomonas, Proteobacteria, Blastocatellia</i>
P2	0,29	167	<i>Burkholderiaceae, Blastocatellaceae, Mycobacterium, Chitinophagaceae</i>
P3	2,67	57	<i>Clostridia, Proteiniphilum</i>
P4	0,35	184	<i>Chthoniobacteraceae (Candidatus – Udaeobacter), Mycobacterium, Skermanella, Burkholderiaceae</i>
P5	1,91	108	<i>Dysgonomonadaceae, Clostridia Gammaproteobacteria (Other)</i>
P6	0,15	219	<i>Blastocatellaceae, Burkholderiaceae</i>
P7	0,03	218	<i>Chitinophagaceae, Burkholderiaceae</i>
P8	0,02	207	<i>Chitinophagaceae, Burkholderiaceae, Betaproteobacteriales</i>
P9 (фон)	<0,01	196	<i>Chitinophagaceae, Nitrososphaeraceae, Burkholderiaceae, Gammaproteobacteria (Acidibacter)</i>

При уровнях загрязнения 1,91–2,67% наблюдается выраженное доминирование типа Proteobacteria, что соотносится со многими литературными данными (Popp et al., 2006, Zrafi-Nouira et al., 2009, Head et al., 2006, DosSantos et al., 2011). В литературе имеются данные о доминировании представителей типа Proteobacteria в почвах разных типов – серых лесных, каштановых, черноземных при загрязнении в 20% (Manucharova et al., 2020), тогда как количество представителей типа Verrucomicrobia при загрязнении черноземного типа почвы, по данным авторов, меняется мало. В то же время, полученные нами результаты свидетельствуют о том, что в исследуемых условиях даже низкие уровни загрязнения нефтепродуктами могут быть критичными для бактерий определенных групп, что может быть связано с существенно более низким содержанием органического вещества и азота в песчаных почвогрунтах и их

слабой буферностью. Так, уровень загрязнения между 0,55 и 1,91% оказывается критичным для представителей типа *Verrucomicrobia*.

### Выводы

В результате проведенных метагеномных исследований выявлены структурные изменения сообществ нефтезагрязненных песчаных почвогрунтов г. Пушкин в зависимости от уровня загрязнения. Показано, что даже низкие уровни загрязнения в этих условиях могут быть критичными для выживаемости отдельных групп бактерий. Выявлены изменения обилия таксонов, среди представителей которых присутствуют термофильные виды.

### Благодарности

Выражаем благодарность зав. лаборатории «Биохимии почвенно-растительных систем» ФГБНУ АФИ Хомякову Ю.В. и сотрудникам лаборатории за выполнение анализов содержания нефтепродуктов в грунтах.

Работа проведена при частичной поддержке РФФИ (грант № 19-34-90156).

### Список литературы / References

1. Алейникова Г.Ю. Фенология винограда в условиях локального изменения климата. Виноградарство и виноделие. №3 – 2018, С. 4–6.
2. Андронов Е.Е., Петрова С.Н., Чижевская Е.П. и др. 2009. Влияние внесения генетически модифицированного штамма *Sinorhizobium meliloti* Ach\_5 на структуру почвенного сообщества микроорганизмов // Микробиология. Т. 78. № 4. С. 525–534.
3. Журавлева А.С., Волкова Е.Н., Галушко А.С. Термофильные аэробные органогетеротрофные бактерии антропогенно измененных территорий Санкт-Петербурга и Ленинградской области // Экологическая генетика. 2021. Т. 19. № 1. С. 47–58. DOI: 10.17816/ecogen50901
4. Неведров Н. П. Балабина Н. А. Динамика температурного режима темно-серой почвы на фоне изменений климата. Астраханский вестник экологического образования. № 1(55) 2020. С. 102–106.
5. Bouskill, N. J. et al. Belowground response to drought in a tropical forest soil. II. Change in microbial function impacts carbon composition. *Front. Microbiol.* 7, 323 (2016). P. 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00323>
6. Dos Santos H.F., Cury J.C., DoCarmo F.L., Dos Santos A.L., Tiedje J. (2011). Mangrove bacterial diversity and the impact of oil contamination revealed by pyrosequencing: bacterial proxies for oil pollution. *PLoS One* 6(3): e16943. P. 1–8. doi:10.1371/journal.pone.0016943.
7. Head I.M., Martin Jones D., Röling Wf.M. (2006). Marine microorganisms make a meal of oil. *Nature Rev Microbiol.* 4: 173–182
8. Hung-SooJoo, Pius M. Ndegwa, Makoto Shoda, Chae-Gun Phae. Bioremediation of oil-contaminated soil using *Candida catenulata* and food waste. *Environmental Pollution*, 156 (2008). P. 891–896.
9. Malferrati G., Monferinin P., De Blasio P. et al. High-quality genomic DNA from Human whole blood and mononuclear cells. *BioTechniques*. 2002, V.33, №6.
10. Manucharova, N.A., Ksenofontova, N.A., Karimov, T.D. et al. Changes in the phylogenetic structure of the metabolically active prokaryotic soil complex induced by oil pollution. *Microbiology* 89, P. 219–230 (2020). <https://doi.org/10.1134/S0026261720020083>

11. McHugh, T. A. et al. Climate controls prokaryotic community composition in desert soils of the southwestern United States. *FEMS Microbiol. Ecol.* 93, fix116 (2017).
12. Naylor, D., DeGraaf, S., Purdom, E. & Coleman-Derr, D. Drought and host selection influence bacterial community dynamics in the grass root microbiome. *ISME J.* 11, P. 2691–2704 (2017).
13. Popp N, Schlomann M, Mau M. Bacterial diversity in the active stage of a bioremediation system for mineral oil hydrocarbon-contaminated soils. *Microbiology.*2006;152:3291–3304.
14. Zrafi-Nouira Ines, Sonda Guerhazi, Rakia Chouari, Nimer M. D. Safi, Eric Pelletier, Amina Bakhrouf, DalilaSaidane-Mosbahi, Abdelghani Sghir (2009). Molecular diversity analysis and bacterial population dynamics of an adapted seawater microbiota during the degradation of Tunisian zarzatine oil. *Biodegradation.*Vol.20. No.4. P. 467–486.

### **DIVERSITY OF THE BACTERIAL COMMUNITY OF OIL-CONTAMINATED SOILS OF ST. PETERSBURG BASED ON METAGENOMIC RESEARCH**

A.S. ZHURAVLEVA<sup>1</sup>, E.E. ANDRONOV<sup>2</sup>, A.S. GALUSHKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, zhuravlan@gmail.com;*

<sup>2</sup>*ARRIAM, St. Petersburg, Russia*

**Abstract.** As a result of the metagenomic studies, structural changes in the community of oil-contaminated sandy soils in the city of Pushkin were revealed, depending on the level of pollution. It has been shown that even low levels of contamination under these conditions can be critical for the survival of some bacterial groups. Changes in the abundance of taxa were revealed, among which there were discovered thermophilic species.

**Keywords.** Oil-contaminated soils, metagenomic studies, bacterial community, thermophilic bacteria.

---

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ К НИМ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЁМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

А. И. ИВАНОВ<sup>1,2</sup>, Ж. А. ИВАНОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),

Санкт-Петербург, [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru);

<sup>2</sup> Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СЗЦППО-СПб ФИЦ РАН), Санкт-Петербург, [szcentr@bk.ru](mailto:szcentr@bk.ru)

**Аннотация.** Глобальные климатические изменения привели к увеличению теплообеспеченности и биоклиматического потенциала земледельческой части Нечернозёмной зоны на 10-12% и гумидности климата – на 13-18%. В сочетании с положительным эффектом от повышения концентрации CO<sub>2</sub> это создаёт потенциал роста продуктивности регионального земледелия на 17-22%. Однако кратное увеличение рисков погодно-климатических аномалий создаёт угрозы для реализации Доктрины продовольственной безопасности. Основу адаптационного потенциала регионального земледелия составляют системы мелиорации, управления эффективным плодородием почв и продукционным процессом с использованием широкого набора агрохимических и агротехнологических средств.

**Ключевые слова.** Изменение климата, погодно-климатическая аномалия, мелиорация, окультуривание, адаптация

### Введение

Климатический фактор, несмотря на интенсивное агротехнологическое развитие, остаётся определяющим в результативности земледельческой деятельности человека. Нечернозёмная зона в этом отношении исторически воспринимается как регион рискованного земледелия. Однако в силу обширности её территории климат здесь имеет выраженные отличия: на севере он субарктический, на юге – умеренно тёплый, на западе – мягкий с приморскими чертами, на востоке – континентальный. Его основными особенностями являются избыточное поступление осадков (600-750 мм) при ограниченных параметрах теплообеспеченности (сумма активных температур 1200 до 2500°C) и испаряемости влаги (300-450 мм), а также крайне неравномерное их распределение в пространстве и времени. В результате в регионе один из самых высоких в стране уровень мезо- и микроклиматической неоднородности, оказывающий выраженное влияние на продукционный процесс сельскохозяйственных культур и эффективность товарного земледелия и кормопроизводства, находящихся под среднестатистическим прессингом недостатка тепла и избытка влаги (Иванов и др., 2021).

Вполне очевидные глобальные климатические изменения, выражающиеся в ускоренном относительно среднемировых темпов повышении среднесуточной теплообеспеченности региона на 0,03-0,04°C в год, сопровождается резким обострением рисков для земледельческой отрасли (Усков, Усков, 2014). Они выражаются, главным образом, в увеличении повторяемости экстремальных температурных перепадов в 1,3 раза, зимних оттепелей – в 1,4 раза, штормовых осадков – в 1,5 раза (Усков, Усков, 2014; Иванов, Конашенков, 2018). Негативные последствия погодных флуктуаций таковы, что на государственном и межгосударственном уровнях принят ряд инициатив, направленных на ограничение выбросов парниковых газов и всестороннюю оценку последствий, и адаптацию к ним социально-экономической сферы.

Несмотря на то, что общий вклад отечественного сельского хозяйства в выбросы парниковых газов оценивается менее, чем в 5%, стратегия его модернизации в Нечерноземье должна исходить из двух крупных задач: смягчения и адаптации. Первая направлена на сокращение выбросов парниковых газов, увеличение альбедо поверхности почв и т.п., вторая –



на научно-технологическую адаптацию, за счёт освоения адаптивных систем земледелия, восстановления мелиоративного комплекса, технологического перевооружения и климатически обусловленной селекционной работы (Иванов и др., 2021). В реальных условиях их результативность будет определяться эффективностью использования адаптивного потенциала культурных растений и других биологических компонентов агроэкосистем, энергоёмкостью и природоохранностью земледелия и животноводства.

### **Объекты и методы исследования**

Методической основой исследования служили многолетние статистические агроклиматических и агропроизводственные данные ряда сельскохозяйственных предприятий Северо-Запада России, а также серия многолетних (в т.ч. длительных) стационарных экспериментов в системах полевых и овощных севооборотов, заложенных в Меньковском филиале АФИ (1982-2021 гг.) и КХ «Прометей» Гдовского района Псковской области (2007-2017 гг.) (Иванов и др. 2016). Ситуационные производственные эксперименты были заложены в 2010-2011 гг. и 2016-2017 гг. в пределах осушительной системы «Подолесье» КХ «Прометей». Объектами исследования здесь выступали различные почвенные комбинации (пятнистости дерново-подзолистых автоморфных и полугидроморфных почв, мозаики литогенного происхождения, сформированные на морене от песчаного до тяжелосуглинистого гранулометрического состава), культуры полевых и овощных севооборотов, а также минеральные и органоминеральные системы удобрения и отдельные приёмы их прецизионного внесения. Дерново-подзолистые почвы опытов имели резкие отличия по степени окультуренности (от слабо до хорошо окультуренных), гранулометрическому составу (от песчаного до среднесуглинистого), агрофизическим и агрохимическим свойствам.

### **Результаты и обсуждение**

Как известно, основной вклад (до 70%) в парниковый эффект вносят пары воды, углекислый газ (до 20%), метан (до 7%), оксиды азота (до 1%). Поскольку значительно повлиять на круговорот воды практически невозможно, то в ограничительную сферу попадают  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ , в которой их вклад в парниковый эффект увеличивается до 50, 19 и 5 % соответственно. Для сельского хозяйства все они являются естественными продуктами физических и физико-химических процессов, происходящих в живых организмах (животных, растений, микроорганизмов) в поверхностном слое почвы и приземной атмосфере. Они же – высокообъёмные компоненты биологического круговорота вещества, интенсификация которого и составляет геохимическую сущность сельскохозяйственного производства (Иванов и др., 2021).

Применительно к сельскохозяйственному производству Нечернозёмной зоны последней четверти века, негативные изменения в землепользовании способствовали аккумуляции углекислого газа в форме углерода органического вещества: живой биомассы трав и древесно-кустарниковой растительности, микроорганизмов в почве, дернины и лесного опада, гумусовых соединений различной миграционной способности. Модельные расчёты показывают, что при существующих запасах надземной (около 132 т/га) и подземной биомассы в условиях региона среднегодовые темпы закрепления углекислого газа (за вычетом его эмиссии из почвы и растений) на залежных землях составляли 6,3 т/га, на посевных площадях, преимущественно в составе продукции – 2,1 т/га. Это значит, что сельскохозяйственный земельный фонд Нечернозёмной зоны с учётом его структуры и структуры посевов в настоящее время выступает не источником, а чистым нетто-потребителем и накопителем углекислого газа в среднегодовых объёмах около 4 т на каждый гектар сельскохозяйственных угодий. В пересчёте на всю

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

территорию региона этот вклад в сбережение атмосферы оценивается среднегодовым депонированием углекислого газа в размере до 147 млн. т.

Необходимое с целью социально-экономического развития региона освоение зарастающих древесно-кустарниковой растительностью сельскохозяйственных угодий с использованием ранее принятых технологий её сведения формирует потенциал выбросов углекислого газа до 40-50 т/га. Сократить его возможную эмиссию на 80 % позволяют природоподобные технологии, предусматривающие предварительное получение из ДКР новых мелиорантов, в частности, биоугля (Иванов, Соколов, Иванова, 2020). На посевных площадях параметры удельной (в расчёте на единицу продукции) эмиссии из дерново-подзолистой почвы сокращаются в 1,2-1,5 раза при её окультуривании. Основным фактором здесь выступает простая интенсификация фотосинтеза и формирование в 3-5 раз более высокого урожая сельскохозяйственных культур, влекущее за собой дополнительное связывание углекислого газа и выделение кислорода.

В условиях, когда дерново-подзолистые, серые лесные, оподзоленные и выщелоченные чернозёмные почвы региона весьма быстро подкисляются (среднегодовые темпы снижения  $pH_{KCl}$  составляют 0,03 ед.) остро нуждаются в известковании, возникают недобросовестные попытки приписать этому незаменимому мелиоративному приёму негативную роль в поступлении  $CO_2$  в атмосферу. Примитивный взгляд на известкование с позиций химической реакции между известью и сильной кислотой не имеет практически ничего общего с реальными внутрипочвенными физико-химическими процессами. Вопреки желаниям земледельца львиная доля углекислоты не десорбируется из почвы в атмосферу, а уносится фильтрующимися водами в составе гидрокарбоната кальция в грунтовые воды. Именно по этой причине среднегодовые инфильтрационные потери кальция и магния могут достигать 200-300 и более кг. В результате вместо теоретически возможного выделения в атмосферу при нейтрализации 1 т извести 440 кг углекислого газа, реально выделяется не более 40 кг. 400 кг углекислого газа в форме углекислоты из извести связывают такое же количество углекислоты из почвы образуя, вымываемый из неё гидрокарбонат кальция. То-есть, полное взаимодействие 1 т извести с кислой почвой вызывает не усиление эмиссии, а связывание, чистое нетто-депонирование углекислого газа в размере 0,36 т. Если при этом учесть и положительную роль извести в усилении фотосинтеза, то общий природосберегающий вклад известкования в извлечение из воздуха углекислого газа может быть оценен в 0,56 т  $CO_2$  на 1 т применённого известкового мелиоранта. Конечно, здесь речи не идёт о прямом поглощении почвой углекислого газа из воздуха, а лишь о той его части (образующейся при дыхании), что была усвоена в процессе фотосинтеза высшими растениями и попала в почву.

Всё это, наряду с новыми природосберегающими технологиями содержания животных и обращения с отходами животноводства (Производство, изучение и применение..., 2018), безусловно, необходимо учитывать при планировании мероприятий по смягчению возможного негативного воздействия на атмосферу и адаптации регионального сельского хозяйства к климатическим изменениям.

В числе первоочередных мер органам управления АПК следует предусмотреть разработку:

- на основе новой концепции развития сельскохозяйственных мелиораций в Нечернозёмной зоне региональных планов адаптации сельскохозяйственного производства к наблюдаемым и прогнозируемым погодно-климатическим изменениям, в т.ч. с учетом требований ограничения выбросов парниковых газов;

- региональных рекомендаций по проектированию адаптивных систем мелиоративного земледелия, ориентированных на снижение агропроизводственных, агроклиматических и

агроэкологических рисков, в т.ч. ограничение выбросов парниковых газов. Механизм адаптации систем земледелия к климатическим изменениям должен формироваться отдельными интегрирующими приёмами в его базовых звеньях, таких как система землеустройства и севооборотов, мелиорации, удобрения, тогда как к погодным аномалиям должны быть легко восприимчивы системы обработки почвы, защиты растений, регулирования питания, научного информационно-технологического и инженерного обеспечения и др.;

- специального реестра природосберегающих технологий в земледелии и животноводстве, регламентов их применения и комплекса мероприятий по финансово-экономической поддержке их освоения;

- программ развития мелиоративного комплекса в направлении восстановления его работоспособности, строительства и обустройства осушительно-увлажнительных мелиоративных систем.

При этом в рамках первоочередных адаптационных задач для органов управления АПК и региональных ВУЗов в составе этих планов и программ следует предусмотреть возобновление в кратчайшие сроки подготовки инженеров-гидротехников по направлению 35.03.11 – гидромелиорация, инженеров-мелиораторов по направлению 20.03.02 – мелиорация, рекультивация и охрана земель и инженеров-землеустроителей по направлению 21.03.02 – землеустройство и кадастры. Это позволит сформировать кадровое обеспечение обновлённых проектно-технологических институтов и высокотехнологичных частно-государственных мелиоративных предприятий, призванных служить одним из наиболее эффективных адаптационных средств к погодно-климатическим изменениям. Кроме того, потребуется доработка стандартных программ и учебных планов по всем направлениям профессиональной подготовки и повышения квалификации (агрономов, зоотехников, ветеринарных врачей, инженеров-механиков), а также введение дополнительных курсов по вопросам адаптации земледелия и животноводства к погодно-климатическим аномалиям и смягчения негативного воздействия на окружающую среду (Дубенок, Иванов, Чесноков, Янко, 2020).

НИУ совместно с ВУЗами следует развернуть проблемные исследования в области прогнозирования и управления агроклиматическими рисками, водным стоком и двойного регулирования водного режима мелиорируемых земель, а также агромелиоративной обработки почв и природосберегающих технологий;

Сельхозтоваропроизводителям всех организационных форм предстоит в ограниченные сроки разработать и освоить адаптивные системы земледелия, направленные на преодоление комплекса рисков за счёт: обоснованного подбора (размещения) культур и сортов, севооборотов, организации поверхностного и внутripочвенного стока, обеспечения работоспособности осушительных систем, агромелиоративной обработки и окультуривания почвы.

Результаты длительных экспериментов и эффективной производственной деятельности убедительно доказывают, что повышение среднесуточной температуры вегетационного периода на 1°C относительно средней многолетней величины позволяет повысить продуктивность зерновых культур в среднем на 0,4-0,7, картофеля – на 6-11, многолетних трав (сено) – на 0,5-0,7 т/га (Иванов, Янко, 2019). Положительную роль в этом направлении играет и сопровождающее глобальные климатические изменения увеличение концентрации углекислого газа в приземном слое атмосферы с 0,033 до 0,044%, позволяющее, по данным модельных экспериментов, рассчитывать на прибавку урожая до 10-15%. При этом, чем выше уровень плодородия почвы и потребность культуры в тепле, тем отзывчивее она на рост теплообеспеченности.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Факторный дисперсионный анализ показывает, что по мере окультуривания дерново-подзолистой почвы от слабого до хорошего уровня и повышения уровня культуры земледелия вклад погоды в изменчивость продуктивности полевого севооборота снижается с 24 до 13%. Уровень реализации биоклиматического потенциала картофелем и овощными культурами может быть повышен за счёт окультуривания дерново-подзолистой почвы – на 111–172%, оптимизации водного режима почвы при переувлажнении – на 127-170%, в условиях засухи – на 62-144%, применения калийных удобрений – на 42-78%, применения точных систем удобрения – на 78-95% к неудобренному фону и на 6-17% - к равномерно удобренному (Иванов и др., 2016; Иванов, Конашенков, 2018).

### **Выводы**

Глобальные климатические изменения привели к увеличению теплообеспеченности и биоклиматического потенциала земледельческой части Нечернозёмной зоны на 10-12%, гумидности климата – на 13-20%. В сочетании с положительным эффектом от повышения концентрации CO<sub>2</sub> это создаёт потенциал роста продуктивности регионального земледелия на 17-22%. Однако кратное увеличение рисков погодно-климатических аномалий способно не просто нивелировать положительные эффекты, но и сформировать очевидные угрозы для реализации Доктрины продовольственной безопасности. Основу адаптационного потенциала регионального земледелия, по-прежнему, составляют важнейшие звенья адаптивной системы земледелия: мелиорации, управления эффективным плодородием почв и продукционным процессом с использованием широкого набора агрохимических и агротехнологических средств. На картофеле и овощных культурах уровень реализации биоклиматического потенциала может быть повышен за счёт окультуривания дерново-подзолистой почвы – на 111-172%, оптимизации водного режима почвы при переувлажнении – на 127-170%, в условиях засухи – на 62-144%, применения калийных удобрений – на 42-78%, применения точных систем удобрения – на 78-95%.

### **Список литературы / References**

- Дубенок Н. Н., Иванов А. И., Чесноков Ю. В., Янко Ю. Г. Актуальные вопросы научного и кадрового обеспечения развития мелиорации в Нечерноземье // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 6. С. 14-19.
- Иванов А. Л. и др. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечернозёмной зоны Российской Федерации до 2030 года. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2021. 400 с.
- Иванов А. И., Конашенков А.А., Иванова Ж.А., Воробьёв В.А., Фесенко М.А., Данилова Т.А., Филиппов П.А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала Северо-Запада России // Агрофизика. 2016. № 2. С. 35-44.
- Иванов А. И., Конашенков А. А. Снижение зависимости земледелия Северо-Запада России от погодно-климатических аномалий: проблемы и решения // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 5. С.32-37.
- Иванов А. И., Соколов И. В., Иванова Ж. А. Агроэкологическая эффективность освоения закустаренных залежных земель на Северо-Западе РФ // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 2. С. 21-26.
- Иванов А. И., Янко Ю. Г. Мелиорация как необходимое средство развития земледелия Нечерноземной зоны России // Агрофизика. 2019. № 1. С. 67-78.
- Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помёта. Под общей редакцией А. И. Иванова и В. В. Лапы. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. 317 с.
- Усков И.Б., Усков А.О. Основы адаптации земледелия к изменениям климата (справочное издание). С-Пб., 2014. 383 с.

**CLIMATE CHANGES AND SOME ASPECTS OF ADAPTATION TO THEM IN THE CONDITIONS OF THE NON-CHERNOZEM ZONE OF RUSSIA**

A. I. IVANOV <sup>1,2</sup>, ZH. A. IVANOVA <sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, agrophys.inst@yandex.ru;*

<sup>2</sup> *North-West Centre of interdisciplinary Researches of Problems of food Maintenance St. Petersburg, Russia, szcentr@bk.ru*

**Abstract.** Global climate changes have led to an increase in the heat supply and bioclimatic potential of the agricultural part of the Non-Chernozem zone by 10-12% and the humidity of the climate by 13-18 %. In combination with the positive effect of increasing the concentration of CO<sub>2</sub>, this creates a potential for increasing the productivity of regional agriculture by 17-22%. However, a multiple increase in the risks of weather and climatic anomalies creates threats to the implementation of the Food Security Doctrine. The basis of the adaptive potential of regional agriculture is made up of systems of land reclamation, management of effective soil fertility and the production process using a wide range of agrochemical and agrotechnological means.

**Keywords.** Climate change, weather and climate anomaly, land reclamation, cultivation, adaptation.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОЧНОЙ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СКЛОНОВОГО АГРОЛАНДШАФТА**

Ж. А. ИВАНОВА

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),  
Санкт-Петербург, *agrophys.inst@yandex.ru*;

**Аннотация.** Ландшафтные условия в сочетании с погодно-климатическим фактором оказывали значительное влияние на эффективность системы удобрения. Окупаемость 1 кг NPK в варианте «ЗСУ» колебалась от 1,7 до 4,1 з.ед. Изучаемые варианты точных систем удобрения с учётом ландшафтных условий обеспечили повышение продуктивности зернопарового звена севооборота на 8–10% и окупаемости урожаем 1 кг NPK в среднем на 29 %. Когда органическое удобрение, служит основным источником питания, достаточно ограничиться только его прецизионным внесением с учетом специфики минерализации в отдельных агромикрорландшафтах.

**Ключевые слова.** Пространственная неоднородность, агроландшафт, точная система удобрения, эффективность

### **Введение**

Высокая пространственная неоднородность почвенно-экологических условий – одна из генетических особенностей почвенного покрова Северо-Запада России, связанная с фундаментальными особенностями почвообразования (Гагарина и др., 1995; Архипов и др., 2018). Немалую лепту в её обострение внесло неравномерное внесение мелиорантов и удобрений в годы химизации (Литвинович, 2007; Иванов, Конашенков, 2012). В результате современные параметры неоднородности отдельных агропроизводственных свойств почвы нередко могут находиться в пределах 50-100% и более (Иванов и др., 2014; Иванов, Иванова, Дубовицкая, 2019).

В таких условиях наиболее правильным решением может стать применение точных систем удобрения, эффективность которых во многом определяется целой совокупностью факторов. Здесь наряду с обоснованностью пространственного распределения удобрений существенное значение могут иметь специфика ландшафтно-экологических и погодно-климатических условий, биологические особенности сельскохозяйственных культур, свойства удобрений и др. (Иванов и др., 2016, 2017; Иванов, Конашенков, 2018; Производство, изучение и применение ..., 2018).

### **Объекты и методы исследования**

Методической основой исследования служил ландшафтный полевой опыт, заложенный в Меньковском филиале в системе полевого севооборота «пар чистый – пшеница озимая – овёс + многолетние злаковые травы – многолетние травы 1-3 г.п. – рожь озимая - картофель». Основной объект изучения – агроландшафт, представлен урочищем «Кривое Колено» на пологом склоне озёрно-ледникового происхождения северо-западной и западной экспозиции площадью 53,64 га (в том числе 47,3 га пани и 6,34 га сенокоса). Структура его почвенного покрова сформирована мелкоконтурными комплексами с участием легко- и среднесуглинистых разновидностей дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв. Почвообразующая порода, преимущественно, мало- и среднемощная тяжелосуглинистая и глинистая опесчаненная морена, подстилаемая с глубины 75–120 см озёрно-ледниковой супесью. Коренные породы – красноцветные девонские пески. На пашне преобладают среднекультуренные почвы с пятнами хорошо- и слабокультуренных. По данным прецизионного ландшафтного агрохимического обследования коэффициент вариации агрохимических свойств почв находился в пределах от 27 до 148%, несмотря на единую историю хозяйственного использования угодья.

Для решения поставленных задач на территории агроландшафта было подобрано пять ключевых участков площадью по 300 м<sup>2</sup>, представляющих агромикрорландшафты (АМЛ) с разными геохимическими режимами: №1 – элювиальным (Э) на среднесуглинистой дерново-слабоподзолистой глееватой почве (занимаемая доля 17 % от площади агроландшафта), №2 – элювильно-аккумулятивным (ЭА) на легкосуглинистой дерново-слабоподзолистой глееватой почве (занимаемая доля – 8 %), №3 – транзитно-элювиальным (ТЭ) на легкосуглинистой смытой дерново-слабоподзолистой глееватой почве (занимаемая доля – 49 %), №4 – аккумулятивным (А) на среднесуглинистой дерново-слабоподзолистой глееватой почве, сформировавшейся на карбонатной морене (занимаемая доля – 18%), №5 – аккумулятивным (А) на среднесуглинистой дерново-подзолистой глеевой почве (занимаемая доля – 8%).

В схеме опыта были предусмотрены три методических варианта корректировки доз удобрений: ТСУ-1 – дифференцировались в пространстве только дозы органического удобрения (в элювиальном АМЛ повышались на 30%, а в аккумулятивных – снижались на 38%); ТСУ-2 – только минеральных удобрений (коррективы при этом имели противоположную направленность); ТСУ-3 – обоих видов удобрений (общая доза NPK в элювиальном АМЛ увеличивалась на 12%, в аккумулятивных – уменьшалась на 14%). Распределение удобрений по полям севооборота и вариантам опыта представлено в табл. 1.

В качестве органического удобрения применялся торфо-помётный компост (ТПК), содержащий 43,4% сухого вещества, 46,7% золы, 0,35% N, 1,18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,86% K<sub>2</sub>O и 1,90% CaO. Он вносился в раннем чистом пару под вспашку. Калийные удобрения в форме Kx вносились под предпосевную обработку почвы, азотные – в форме Naa в подкормку в фазе начала весеннего отрастания пшеницы озимой. Под овёс полная доза минерального удобрения в форме АФК, Naa и Kx вносилась под предпосевную культивацию почвы.

## **Результаты и обсуждение**

Дифференциация свойств почвы по изучаемым агромикрорландшафтам была умеренной по гранулометрическому составу и рН<sub>KCl</sub>, значительной – по мощности генетических горизонтов и всего почвенного профиля, степени развития глеевого процесса, структурному состоянию, содержанию органического вещества и высокой – по показателям питательного режима (Иванов, Иванова, Дубовицкая, 2019). Вклад в её формирование внесли неоднородность состава и свойств моренных отложений, а также специфика геохимических режимов и земледельческой деятельности человека.

При этом вариабельность урожайности возделываемых в опыте зерновых культур была ещё большей. Коэффициент вариации урожайности зерна по агромикрорландшафтам достиг 23% у пшеницы озимой, 34% - у овса и 24% - по звену севооборота в целом при его среднем значении для представленных агрофизических и агрохимических свойств 16 и 20% соответственно. Это указывает на важную роль всего комплекса ландшафтных условий, а не только агрохимических и агрофизических свойств почвы. Существенное значение имеет и изменчивость погодных условий.

Метеоусловия 2013-2014 гг. были удовлетворительными для посевов пшеницы озимой. Избыток осадков в год посева пшеницы, а также в мае 2014 года существенного ущерба урожаю не причинил. Средняя урожайность зерна этой культуры в варианте «без удобрений» составила 2,71 т/га и вполне соответствовала уровню окультуренности почвы. Хотя урожайность зерна овса в аналогичном варианте была выше – 3,3 т/га. Можно предположить, что имевший место в 2014 году дефицит осадков (64% от средней многолетней нормы), с учётом возделывания культуры на суглинистой глееватой почве, оказался даже желательным.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Минимальная урожайность зерна пшеницы озимой и овса получена в транзитно-элювиальном АМЛ № 3 и аккумулятивном АМЛ № 5 – 1,83 и 2,48, 2,57 и 1,84 т/га соответственно. В числе возможных причин этого могут быть, в первом случае, последствия плоскостной эрозии, во-втором – сильное развитие глеевого процесса и неудовлетворительные кислотно-основные свойства. Тем не менее, с учетом разной потребности овса и озимой пшеницы в почвенных условиях их отклик на размещение в данных фациях неоднозначен. Более пластичная и менее требовательная культура овса в неблагоприятных почвенно-агрохимических условиях ожидаемо должна была превосходить пшеницу озимую, что подтвердилось 36 % преимуществом лишь в транзитно-элювиальном АМЛ № 3 на смытой дерново-подзолистой почве. На среднекислой дерново-подзолистой глеевой почве АМЛ № 5 вопреки базовым прогнозам урожайнее на 40 % оказалась озимая пшеница.

Озимая пшеница, возделываемая по чистому пару, очень чутко отреагировала на параметры азотного питательного режима, сформировавшегося в допосевной период. Содержание подвижных соединений азота ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ) в эродированной, малогумусированной с нарушенной структурой почве АМЛ №3 перед посевом культуры было в 2,2 раза ниже, чем в среднегумусированной почве АМЛ № 5 (38 против 84 мг/кг). Это отрицательно повлияло на все факторы продуктивности культуры (более всего на продуктивную кустистость), снизившие урожайность зерна на 29%. Для развития овса негативные последствия имел длительный период низкой теплообеспеченности в начале вегетации, а точнее, вызванные им острый недостаток азота из-за снижения микробиологической активности почвы и эпифитотийное развитие красно-бурой пятнистости. Наиболее критично эти факторы сочетались в самом холодном АМЛ № 5, где урожайность культуры снизилась относительно фаций АМЛ № 3, 4 и 1, на 26, 50 и 60% соответственно.

Из пяти изученных ландшафтных фаций заметным превосходством по уровню эффективного плодородия обладал элювиальный АМЛ №1. Условия же для его реализации урожайностью зерна и соломы в 4,55 и 5,98 т/га в эксперименте получил овес. Продуктивность этой культуры здесь оказалась на 14-147% выше, чем в других фациях, в т.ч. и более предпочтительных с позиций потенциального участия в питании геохимических потоков питательных веществ аккумулятивных АМЛ №2 и №4.

Напротив, формирование зерна озимой пшеницы происходило на фоне выраженного недостатка влаги, наиболее остро проявлявшегося в элювиальном АМЛ № 1. Полевая влажность почвы в этот период здесь варьировала в пределах 14,7 – 16,2 %, а в аккумулятивных фациях была на 2,4 – 4,3 % выше. Из-за снижения по этой причине выживаемости растений к уборке и выполненности зерна продуктивность культуры на наиболее плодородной почве АМЛ № 1 оказалась идентичной варианту с наименее плодородной смытой почвой АМЛ № 3.

В целом по продуктивности зернопарового звена севооборота изученные в опыте ландшафтные фации сформировали убывающий ряд: АМЛ № 1 ≥ АМЛ № 4 > АМЛ № 2 > АМЛ № 5 > АМЛ № 3, в значительной мере определяемый комплексом агрохимических и агрофизических свойств почвы.

Результаты опыта не указывают также на наличие устойчивой связи между геохимическим режимом почвы и эффективностью системы удобрения. Наиболее высокие абсолютные (5,32-6,64 т/га з.ед.) и относительные (107-133%) прибавки урожайности зерновых и продуктивности звена севооборота получены в транзитно-элювиальном АМЛ № 3 на смытой почве, что согласуется с представлениями о возрастании эффективности удобрений на эродированных почвах.



Минимальная отдача от удобрений наблюдалась в аккумулятивной фации (АМЛ № 5) и элювиальной (АМЛ № 1). Очевидно, и в данном случае основной причиной стало сочетание литогенного фактора с погодно-климатическим.

Интенсивное развитие глеевого процесса в почве АМЛ № 5 на фоне повышенной кислотности не могло не сопровождаться ухудшением условий жизни растений и уменьшением коэффициента использования питательных веществ удобрений. Внешне это выражалось в интенсивном развитии надземной биомассы, раннем полегании посевов удобренных вариантов и увеличении доли соломы в общей продуктивности зерновых культур на 16-27%. В почве АМЛ № 4 (тоже аккумулятивная фация агроландшафта), основная часть корнеобитаемого слоя которой не была затронута глеевым процессом, а почвообразующая порода обладала карбонатами кальция и магния отдача от удобрений была вдвое выше.

В элювиальной фации (АМЛ № 1) снижение окупаемости удобрений могло быть следствием лучшей окультуренности почвы верхней части склона, где в прошлом регулярно формировались бурты подстилочного навоза и торфонавозного компоста (на практике это часто сопровождается завышением доз удобрения на прилегающей территории со всеми вытекающими из этого, в т.ч. и негативными последствиями [16]). Однако, вероятнее всего, более важную негативную роль в этом направлении сыграли засушливые условия периода налива зерна озимой пшеницы, снизившие прибавку урожая от удобрений в 2,4-3 раза. Подтверждением данного факта служат весьма значительные показатели эффективности удобрений в данной фации на культуре овса.

Таким образом, хотя в звене полевого севооборота на фоне одинаковых доз удобрений (вариант «ЗСУ») и наблюдалась сильная дифференциация показателей агрономической эффективности по отдельным АМЛ (прибавка урожайности от 37 до 107%, оплата 1 кг NPK от 1,7 до 4,1 з.ед., коэффициент вариации урожайности зерна пшеницы и овса 22 и 27%), объяснять её только местоположением посевов в рельефе и спецификой геохимического режима оснований недостаточно. Необходим поиск методических решений, способных вычлнить действие других факторов, в частности антропогенного и погодного. К примеру, дефицит осадков может сопровождаться в одних фациях агроландшафта снижением, а в других – повышением эффективности удобрений.

С другой стороны, данные исследования показали целесообразность дифференциации доз удобрений с учётом ландшафтных условий (точнее, в зависимости от расположения сельскохозяйственной культуры в пределах пологого склона). Причём, в целом по агроландшафту все три изучаемых варианта корректировки доз обеспечили практически одинаковое повышение (на 8–10%) продуктивности звена севооборота относительно варианта «ЗСУ». Определённое преимущество (21–24% по оплате единицы действующего вещества) имелось у вариантов точной системы удобрения («ТСУ-1» и «ТСУ-3»), где дифференцированно вносилось органическое удобрение, обеспечивавшее поступление от 54 до 81% NPK.

Отзывчивость озимой пшеницы и овса на точные системы удобрения имела ряд особенностей, но в масштабе всего обрабатываемого агроландшафта выражалась в прибавке урожайности зерна на 0,31–0,52 и 0,24–0,56 т/га. Существенный эффект от изучаемых принципов корректировки доз удобрений был получен на фоне всех типов геохимических режимов. Отсутствие его в элювиально-аккумулятивном АМЛ № 2 объясняется несущественностью различий с вариантом «ЗСУ». Максимальная агрономическая эффективность от точных систем удобрения вполне ожидаемо достигалась в транзитно-элювиальном АМЛ № 3. Повышение окупаемости единицы действующего вещества удобрений в среднем по трём вариантам корректировки доз составило по элювиальному АМЛ 30%, транзитно-элювиальному – 35%,

аккумулятивным – 36% (в среднем по агроландшафту – 29%). Сохранится ли такая закономерность на остальных культурах севооборота покажут дальнейшие исследования.

### Выводы

Уровень вариабельности продуктивности зерновых культур и звена полевого севооборота в зависимости от местоположения в рельефе превысил аналогичные параметры для плодородия почвы. В варианте «без удобрений» продуктивность звена севооборота в пределах изучаемых фаций агроландшафта изменялась от 4,98 до 8,68 т/га з.ед. и в значительной мере определялась сочетанием агрохимических и агрофизических свойств почвы.

Ландшафтные условия в сочетании с погодно-климатическим фактором оказывали значительное влияние на эффективность системы удобрения. Окупаемость 1 кг NPK в варианте «ЗСУ» колебалась от 1,7 до 4,1 з.ед. Но увязывать этот факт только с влиянием геохимических режимов почвы, как считается отдельными исследователями, нет достаточных оснований. Об этом свидетельствует неодинаковый уровень эффективности удобрений в двух аккумулятивных фациях единого агроландшафта, а также его закономерная зависимость от параметров эффективного плодородия почвы. Сделать объективное заключение о фактическом значении геохимического режима на основе принятой методики полевого опыта не позволяет отсутствие возможности вычленения действия других факторов (неоднородности предшествующего антропогенного воздействия на почву, погодных условий и др.).

Изучаемые варианты дифференциации доз удобрений с учётом ландшафтных условий обеспечили повышение продуктивности зернопарового звена севооборота на 8 – 10 % и окупаемости урожаем 1 кг NPK в среднем на 29 %. В условиях опыта, в котором приходные статьи баланса элементов питания более чем на 50 % формировались за счёт органического удобрения, достаточной была корректировка доз только этого вида удобрений с учетом специфики его минерализации по отдельным фациям агроландшафта. Но для разработки всесторонне обоснованных рекомендаций по дифференциации системы удобрения на основе ландшафтных карт необходимо накопление соответствующего объёма научной информации.

### Список литературы / References

1. Архипов М. В., Данилова Т. А., Синицына С. М., Иванов А. И., Пасынкова Е. Н. Научные основы эффективного использования агроресурсного потенциала Северо-Запада России. СПб.-Пушкин, 2018. 135 с.
2. Гагарина Э. И., Матинян Н. Н., Счастливая Л. С., Касаткина Г. А. Почвы и почвенный покров Северо-Запада России. СПб.: Изд. СПбГУ, 1995. 224 с.
3. Иванов А. И., Иванова Ж. А., Дубовицкая В. И. Влияние ландшафтных условий на свойства почвенного покрова пахотного угодья на пологом склоне озёрно-ледниковой равнины // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 2. С. 39-43.
4. Иванов А. И., Конашенков А. А. Агроэкологические последствия неравномерного внесения навоза в овощном севообороте // Агрехимия. 2012. № 6. С. 66-72.
5. Иванов А. И., Конашенков А. А., Хомяков Ю. В., Фоменко Т. Г., Федькин И. А. Оценка параметров пространственной неоднородности показателей почвенного плодородия // Агрехимия. 2014. № 2. С. 39-49.
6. Иванов А. И., Конашенков А. А., Иванова Ж. А., Воробьёв В. А., Фесенко М. А., Данилова Т. А., Филиппов П. А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала Северо-Запада России // Агрофизика. 2016. № 2. С. 35-44.
7. Иванов А. И., Конашенков А. А. Снижение зависимости земледелия Северо-Запада России от погодно-климатических аномалий: проблемы и решения // Мелиорация и водное

- хозяйство. 2018. № 5. С.32-37.
8. Иванов А. И., Лапа В. В., Конашенков А. А., Иванова Ж. А. Биологические особенности ответа культур овощного севооборота на точные системы удобрения // Сельскохозяйственная биология. 2017. т. 52. № 3. С. 454-463.
  9. Литвинович А. В. Пространственная неоднородность агрохимических показателей пахотных дерново-подзолистых почв // Агрохимия. 2007. № 5. С. 89-94.
  10. Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помёта. Под общей редакцией А.И. Иванова и В.В. Лапы. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. 317 с.

## **THE EFFECTIVENESS OF AN ACCURATE FERTILIZER SYSTEM IN A SLOPING AGRICULTURAL LANDSCAPE**

ZH. A. IVANOVA

*Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, [agrophys.inst@yandex.ru](mailto:agrophys.inst@yandex.ru);*

**Abstract.** Landscape conditions combined with the weather and climatic factor had a significant impact on the efficiency of the fertilizer system. The payback of 1 kg of NPK in the «ZSU» variant ranged from 1.7 to 4.1 z. units. The studied variants of precise fertilizer systems, taking into account landscape conditions, provided an increase in the productivity of the grain-steam link of crop rotation by 8-10 % and the payback by an average of 29% with a yield of 1 kg of NRK. When organic fertilizer serves as the main source of nutrition, it is enough to limit only its precision application, taking into account the specifics of mineralization in individual agromicrolandscapes.

**Keywords.** Spatial heterogeneity, agricultural landscape, precise fertilizer system, efficiency

## **БИОХИМИЯ ЛИГНИНА НА РАЗНЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ УРОВНЯХ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВ**

И.В. КОВАЛЕВ, Н.О. КОВАЛЕВА

*МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет почвоведения, г. Москва, kovalevmsu@mail.ru*

**Аннотация.** Выявлены закономерности поступления, состава и трансформации лигнина и его производных в почвах, изучены пути и механизмы стабилизации лигнина в почве, показана роль лигниновых фенолов на всех иерархических уровнях структурной организации почв.

**Ключевые слова.** Лигниновые фенолы, почвенный профиль, горизонт, почвенные агрегаты, гранулометрические фракции, гуминовые кислоты.

### **Введение**

Комплексная ароматическая структура, гидрофобные свойства лигнина, высокая биохимическая стабильность лигнина и его склонность к конденсации за счет образования устойчивых С-С связей определяют уникальную роль этого биополимера в процессах гумификации и планетарном круговороте углерода. При этом вопросы о географических закономерностях распространения лигнинов в почвах, о содержании и механизмах трансформации и путях стабилизации лигнинов в различных почвенных типах и на всех иерархических уровнях структурной организации почв до сих пор остаются открытыми.

### **Объекты и методы исследования**

В исследования включены южнотаежные березо-осиновые леса и агроэкосистемы, в том числе и осушенные, Коломенского ополья Московской области; дубово-липовые широколиственные леса («Тульские засеки») на серых почвах; березовые колки лесостепи и агроэкосистемы Брянской области на агросерых почвах; типичный чернозем (Курский биосферный заповедник, Кисловодская котловина); тропический лес Амазонии на красноземах (Бразилия); аридные экосистемы вертикальных природных зон Тянь-Шаня; гумидные экосистемы Северного Кавказа.

Основные методы: поскольку результаты, получаемые общепринятыми методами выделения лигнина (классон-лигнин, «остаточный лигнин»), слишком грубы даже для растительных материалов и чрезвычайно завышены для образцов подстилки и почвы, мы пользовались методикой Хеджеса и Ертеля (Ertel, Hedges, 1984) в приведенной ниже модификации. Определение лигнина в почвах включало щелочное окисление образца оксидом меди при 1700 под давлением в азотной среде; осаждение гуминовых кислот; концентрацию фенольных продуктов под давлением на компактных одноразовых колонках С18. Колонки, после того как через них пропустили образец, высушивались, а лигнин растворялся в этилацетате. Процедура эвапорирования этилацетата на ротаторном эвапораторе позволила выделить собственно препараты лигнина. Составляющие лигнин фенолы разделялись на газо-жидкостном хроматографе после предварительной дериватизации и превращения их в триметилсилиловые эфиры. На газовом хроматографе с масс-спектрометром Heweled-Packard Palo Alto CA USA они разделялись на пламенно-ионизационном детекторе, оборудованном капиллярной колонкой. Щелочное окисление образцов оксидом меди дало 11 фенолов, которые сгруппированы по их химической природе в 4 структурных семейства: ванилиновые (V), сиригиловые или сиреневые (S), п-кумаровые (С) и феруловые фенолы (F). Сумма продуктов окисления (VSC) отражает общее содержание лигнина в образце. Апробированная методика мягкого щелочного окисления органического вещества оксидом меди в азотной среде с последующим использованием хроматографии тонкого слоя (Ковалев, Ковалева, 2008, 2016) является наиболее перспективной для анализа содержания и состава лигнина в объектах наземных экосистем: не только в тканях растений, но и в дневных и погребенных почвах, включая минеральные малогумусные

горизонты, в конкреционных новообразованиях, агрегатах, гранулометрических фракциях почв, препаратах гуминовых кислот.

### Результаты и обсуждение

Превращения лигнина в почвах определяются гидротермическими условиями среды и физико-химическими свойствами почв, активностью микробиоты. Установлено, что наибольшее суммарное (VSC) количество продуктов окисления лигнина в рассматриваемых горизонтальных рядах почв приурочено к почвам естественных биогеоценозов с наивысшей биопродуктивностью: серая лесная почва Тульских засек, черноземы Курского заповедника [2].

В условиях мезо- и микрорельефа стабилизация и консервация лигниновых полимеров в виде высококонденсированных многоядерных ароматических структур всегда приурочена к аккумулятивным позициям ландшафта (Ковалев, Ковалева, 2008). Для характеристики интенсивности разложения и трансформации лигнина в почвах используется отношение кислоты/к альдегидам в единицах ванилина или сиригнила как меры степени окисленности молекулы. Это отношение используется в расчете степени измененности боковых цепочек лигнина по отношению к растительным тканям (параметр Т, %):  $T = 74 - (100 - K)(1 + (Ac/Al)v)^{-1}$ , где  $(Ac/Al)v$  – отношение ванилиновых кислот к ванилиновым альдегидам, К – содержание кетонов в исходных растительных тканях в % (Ковалева, Ковалев, 2009).

Значимо показана линейная зависимость увеличения степени измененности боковых цепочек лигниновых структур в ряду от светло-серых почв (5-8%) к черноземам (10-12%) и, достигая максимальных значений в красноземах – до 30-50 %, то есть фактически следует за величиной периода биологической активности. Линейная зависимость степени трансформации лигнина от гидротермических условий также хорошо проявляется и в горных экосистемах. Например, в гумидных условиях Северного Кавказа степень трансформации боковых цепочек лигнина составляет 5% для чернозема и 1,5% для субальпийских почв. В аридных условиях средней Азии – 20% в горных черноземах и 3% в альпийских луговых почвах. Полученные результаты не противоречат нашим данным о гуматном характере гумуса в почвах Тянь-Шаня по сравнению с преимущественно фульватным – в почвах Северного Кавказа (Карачаево-Черкесия) (Ковалева, Ковалев, 2009). Таким образом, интенсивная минерализация лигнина и быстрый распад сложных структур до мономеров и олигомеров наблюдается в почвах с высокой биологической активностью – в черноземах, красноземах, а механизм встраивания неизменных пространственно вытянутых лигниновых структур в молекулу гуминовых кислот должен преобладать в почвах гумидных ландшафтов.

На уровне почвенного профиля наибольшее суммарное количество продуктов окисления (VSC) лигнина в рассматриваемых рядах почв приурочено к верхним гумусово-аккумулятивным горизонтам – до 12-18 мг/г  $C_{орг.}$ , наименьшее (1-4 мг/г  $C_{орг.}$ ) – к нижним частям профилей. В гумусовых горизонтах количественно преобладают альдегиды, а в иллювиальных – кислоты. Последнее, вероятно, обусловлено большей подвижностью кислот в профиле почв (Ковалев, Ковалева, 2008). Вероятно, именно ванилиновая кислота обладает наибольшей миграционной способностью в профилях таежных почв, внося свою долю в пул органических кислот, формирующих подзолистые и глеевые горизонты.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия      14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1. Содержание лигниновых фенолов и продукты их окисления, содержание аминокислот (мг/г N<sub>общ.</sub>) на поверхности- и в ядре агрегата агросерой глееватой почвы (Коломенское ополье). Размер агрегата = 1,5-2 см, n = 5.

	Лигнин (VSC), мг г <sup>-1</sup> C <sub>орг.</sub>	(ac/al) <sub>v</sub>	(ac/al) <sub>s</sub>	S/V	Аминокислота, мг/г N <sub>общ.</sub>
Ядро агрегата	16,2	0,24	0,38	0,70	91
Поверхность агрегата (0,5 мм)	11,1	0,35	0,51	0,59	85
Разница	-25 %	+ 29 %	+20 %	-18 %	не значимо
Уровень значимости	p<0,05	p<0,05	p<0,001	p<0,05	

Примечание. VSC – суммарное количество продуктов окисления лигнина; (ac/al)<sub>v</sub> - отношение ванилиновых кислот к ванилиновым альдегидам; (ac/al)<sub>s</sub> – отношение сириновых кислот к сириновым альдегидам; S/V– сириновые фенолы/ванилиновые фенолы; Аминокислота, мг/г N<sub>общ.</sub> – сумма аминокислот (глюкозамин, галактозамин, маннозамин) и мурмина.

Агрегатный уровень организации почвенной массы демонстрирует (табл. 1), что на поверхности агрегата в окислительных условиях наблюдается меньшее количество продуктов окисления лигнина и более высокая степень его окисленности (более высокие величины отношения (кислоты/альдегиды) в ванилиновых и сириновых единицах, нежели внутри агрегата, где складывается восстановительная обстановка и преобладают факультативные анаэробные микроорганизмы. Факультативные анаэробные микроорганизмы поселяются внутри агрегата, в то время как аэробные популяции сидят на верхней поверхности агрегата, где обеспеченность кислородом лучше. Как следствие степень окисленности здесь меньше. Эти факты хорошо согласуются с представлениями о том, что деструкция лигнина происходит только в аэробной среде и ускоряется благодаря высокому содержанию кислорода. В восстановительных условиях лигнин слабо разрушается и происходит его относительное накопление, сохраняя гидрофобные свойства органического вещества и способствуя его физической стабилизации (Ковалев и др. 2021).

На уровне элементарных почвенных частиц: содержание лигниновых фенолов с уменьшением размера частиц количество лигнина в них значительно снижается (p < 0,001) – в 10 раз по сравнению с фракциями крупных частиц. Однако именно к наиболее мелким илистым и пылеватым фракциям приурочены величины максимальной степени окисленности ((ac/al)<sub>v</sub>, (ac/al)<sub>s</sub>) и степени трансформации боковых цепочек биополимера (T, %). Можно предположить, что молекулы биополимера инкрустируются глинистыми минералами и становятся недоступными для микроорганизмов. Вероятно, этим и обусловлена высокая корреляция лигнина и величиной удельной поверхности почв (r = 0,95). Интересно отметить, что именно к мелким фракциям характерно и наибольшее содержание биотфильных элементов: углерода, азота, серы, подтверждая высокую степень окисленности лигниновых фенолов микроорганизмами.

Таблица 2. Распределение содержания продуктов окисления лигнина (VSC, мг/г C<sub>орг.</sub>) в гранулометрических фракциях (среднее по 3 разрезам и 13 горизонтам) агросерых почв Коломенского ополья

Показатели	Фракции, мкм			
	<2 мкм	2 – 20 мкм	20 – 250 мкм	>250 мкм
Лигнин (VSC)	2,55	2,91	11,68	20,78
(ac/al) <sub>v</sub>	0,51	0,47	0,34	0,25
T, %	19,73	18,73	14,12	9,51

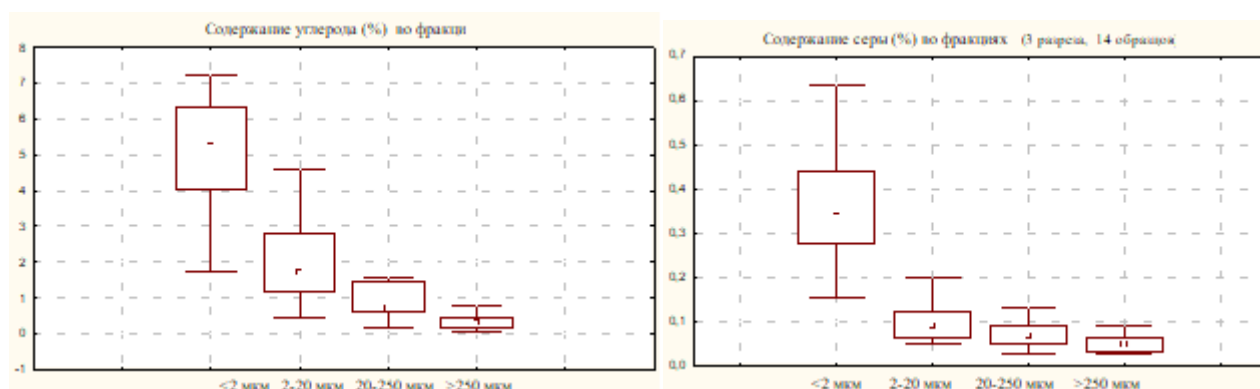


Рис. 1. Статистики распределения общего углерода, серы в гранулометрических фракциях почв

На молекулярном уровне. Показано, что с увеличением степени трансформации лигнина в ряду «ткани растений – подстилка – почва – гуминовые кислоты – погребенные гуминовые кислоты» увеличивается количество ароматических кислот по отношению к альдегидам во всех типах объектов независимо от общего количества лигнина в них и достигает максимума в препаратах гуминовых кислот из погребенных почв (Ковалева, Ковалев, 2009). Тем самым, наши результаты подтверждают положение о нарастающем карбоксилировании лигниновых остатков как о главном процессе их трансформации в гумус. С помощью количественного анализа лигниновых фенолов и <sup>13</sup>C-ЯМР-спектроскопии также доказывается, что лигнин высших растений принимает участие в формировании специфических соединений гумуса почв, входя структурными фрагментами в алифатическую часть молекулы (пики при 56 ppm), так и в ароматическую часть молекул гуминовых кислот (пики при 147 ppm) (Ковалев, Ковалева, 2016). Коэффициент корреляции между содержанием лигнина (VSC) в гумусовых горизонтах почв гумидных ландшафтов и площадью пика лигнинового происхождения в алифатической части <sup>13</sup>C-ЯМР-спектра при 56 ppm – 0,94 (P = 0,95). В гуминовых кислотах почв лесостепи, сформированных на лессе, а также в черноземах вклад ароматических лигниновых фрагментов в 2 раза больше в ядерной, чем в периферийной частях молекулы. Коэффициент корреляции между содержанием лигнина (VSC) в гумусовых горизонтах почв семиаридных ландшафтов и площадью пика лигнинового происхождения в ароматической части <sup>13</sup>C-ЯМР-спектра при 147 ppm – -0,93 (Ковалев, Ковалева, 2016). Особенность гуминовых кислот оглеенных горизонтов в том, что в них площади пиков лигниновых структур, одинаковы в ароматической и алифатической частях молекул ГК. Сравнение <sup>13</sup>C-ЯМР-спектров нативных препаратов лигнина выделенных из разных пород древесных и травянистых растений со спектром молекулы гуминовой кислоты (Ковалев, Ковалева, 2016) позволило впервые обнаружить, что, во-первых, количество пиков, наследуемых гуминовой кислотой от растительной ткани значительно больше, отчетливо диагностируется при 102, 115, 119, 131, 152, 160 ppm. Во-вторых, набор пиков разнороден в

спектрах разных растений и, соответственно в молекулах гуминовых кислот разных почв он тоже должен быть разным. В-третьих, лигнин древесных растений южной тайги становится источником более развитых пространственно вытянутых с развитой алифатической частью молекулы гуминовой кислоты (мощные хорошо вытянутые пики), а феруловые и кумариловые фенолы степных растений формируют пространственно компактные структуры гуминовых кислот черноземов.

#### **Выводы**

Ароматические структуры лигнина вносят свой вклад в процессе гумусообразования на всех иерархических уровнях структурной организации почв. Распределение и степень окисленности лигниновых фенолов в агрегатах, гранулометрических фракциях и гуминовых кислотах раскрывает механизм стабилизации углерода в почвах.

#### **Благодарности**

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-14-01120п, в рамках госзаданий МГУ: № 117031410017-4 и «Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления».

#### **Список литературы / References**

- Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Биохимия лигнина в почвах периодического переувлажнения (на примере агросерых почв ополей Русской равнины) // Почвоведение. 2008. № 10. С. 1205-1216.
- Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Пул лигниновых фенолов в почвах лесных экосистем // Лесоведение. 2016. № 2. С. 148–160.
- Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Биотрансформация лигнина в дневных и погребенных почвах разных экосистем // Почвоведение. 2009. № 11. С. 84–96.
- Ковалев И.В., Семенов В.М., Ковалева Н.О., Лебедева Т.Н., Яковлева В.М., Паутова Н.Б. Оценка биогенности и биоактивности агросерых глееватых неосушенных и осушенных почв // Почвоведение, 2021. № 7. С. 827–837. DOI: 10.31857/S0032180X21070078
- Ertel J.R., Hedges J.I. The lignin component of humic substances: Distribution among the soil and sedimentary humic, fulvic and base-insoluble fractions // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. V. 48.

#### **BIOCHEMISTRY OF LIGNIN AT DIFFERENT HIERARCHICAL LEVELS OF STRUCTURAL ORGANIZATION OF SOILS**

I.V. KOVALEV, N.O. KOVALEVA

*Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow, kovalevmsu@mail.ru*

**Abstract.** The composition and transformation of lignin and its derivatives in soils are revealed, the ways and mechanisms of lignin stabilization in the soil are studied, the role of lignin phenols at different hierarchical levels of the structural organization of soils is shown.

**Keywords.** Lignin phenols, profile, horizon, aggregate, particle size fractions, humic acids.



## **ПЛОДРОДИЕ ВЫРАБОТАННЫХ НИЗИННЫХ ТОРФЯНИКОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**

В. Н. КОВШОВА

*Кировская лугоболотная опытная станция – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса» (Кировская ЛОС – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»), г. Киров, valentina.kovshova@yandex.ru*

**Аннотация.** Изложены микроклиматические особенности выработанных торфяных почв, принципы изменения плодородия этих почв при длительном сенокосном использовании в условиях изменяющегося климата. Установлены методы управления энергопотоками в луговой агроэкосистеме, расположенной на выработанной торфяной почве.

**Ключевые слова:** выработанные низинные торфяники, изменение климата, микроклимат, луговые экосистемы, энергоёмкость агроэкосистемы.

### **Введение**

В настоящее время проблемы, связанные с изменением климата, его неустойчивостью и непредсказуемостью, еще более обостряются в связи с прогрессирующим потеплением климата. Климатические условия на территории России существенно меняются, и тенденции этих изменений, по мнению многих российских ученых, в ближайшее время будут сохраняться [1, 2]. Наблюдаемые изменения климата характеризуются повышением температуры воздуха холодных сезонов года, ростом испаряемости при сохранении и даже при снижении количества атмосферных осадков за теплый период года, возрастанием повторяемости засух, изменением годового стока рек и его сезонным перераспределением. Перечисленные тенденции, как и многие другие особенности меняющегося климата, оказывают существенное воздействие на условия сельскохозяйственного производства и социально-экономическую деятельность.

В этих условиях сельское хозяйство может обеспечить высокую продуктивность и устойчивость агроландшафтов и земельных угодий лишь при условии опережающей адаптации к ожидаемым изменениям климата и природной среды [3].

В связи с этим повышение устойчивости агроэкосистем, уменьшение их зависимости от погодных условий очень важны, так как резкое снижение продуктивности с.-х. культур даже в один экстремальный год, может привести к самым неблагоприятным последствиям [4].

Волго-Вятский экономический регион, включающий Кировскую, Нижегородскую области, республики Марий Эл, Мордовия, Чувашия, располагает 2,3 млн. га сенокосов и пастбищ (21% от всей площади сельскохозяйственных угодий). Кроме того, в этом регионе насчитывается 203 тыс. га заболоченных сенокосов и пастбищ, нуждающихся в гидротехнической мелиорации [5]. Поэтому поддержание высокой урожайности луговых угодий, созданных на осушенных и выработанных площадях, имеет большое значение для обеспечения отрасли животноводства объемистыми кормами высокого качества и экономической эффективности средств, затраченных на мелиорацию.

### **Объекты и методы исследования**

Кировская область расположена в восточной части европейской территории России, в районе лесного Поволжья. Протяженность области с севера на юг около 570 км, с запада на восток 440 км. Кировская область одна из самых заторфованных в европейской части России, имеет множество мелких болот и большие торфяные массивы, развитую торфодобывающую промышленность и длительный опыт использования площадей после добычи торфа. Болото «Гадовское», расположенное в Оричевском районе, находится в центральной части Кировской

области. Климат местности, континентальный; с продолжительной, холодной, многоснежной зимой и коротким, умеренно теплым летом. Континентальность климата характеризуется большими суточными, месячными, сезонными и годовыми амплитудами температуры воздуха. Средняя годовая амплитуда температуры воздуха равна 31°C.

Исследования проводились на выработанном участке торфомассива «Гадовское» Кировской лугоболотной опытной станции, расположенной в Волго-Вятском экономическом районе Нечерноземной зоны РФ.

Сеяный травостой долголетнего сенокоса создан в 1971 году на осушенном низинном выработанном торфянике, путем залужения травосмесью из костреца безостого Моршанский 312 (10 кг/га), тимофеевки луговой – Позднеспелая ВИК (8 кг/га) и овсяницы луговой – Дединовская 8 (12 кг/га). Перед посевом трав внесены рекомендованные дозы удобрений: пиритный огарок 5 ц/га и по 60 кг/га д. в. азота, фосфора и калия.

В 1972 году на созданном травостое был заложен опыт с минеральными удобрениями. Схема опыта предусматривает 15 вариантов различных приемов удобрения, из них 4 контроля: один – абсолютный для всех вариантов (без удобрений) и три – для выявления эффективности азота (Р60К120), фосфора (N120К120) и калия (N120Р60). Использование травостоя – двуукосное, на сено. Фосфорное удобрение вносится весной, в один прием, азотное и калийное – дробно, равными частями под каждый укос.

Почва опытного участка – осушенный выработанный низинный торфяник. Торф древесно-осоковый, слабо разложившийся, степень разложения в исходном состоянии 25-30%, зольность 8-10 %, близкий к слабокислой реакции (рН–5,5). Содержание азота 1,84 %. Почва бедная по содержанию зольных элементов (Р, К, Са). Плотность – 0,200 г/см<sup>3</sup>. Уровень грунтовых вод в течение вегетационного периода изменялся от 55 до 90 см.

Все учеты и наблюдения проводили по методикам, утвержденным для исследований в луговодстве [6], метеорологические наблюдения – в соответствии с Наставлениями гидрометеорологическим станциям и постам [7]. Экспериментальные данные обрабатывали стандартными методами статистического и регрессионного анализов [8], с использованием пакета программ Excel.

## Результаты и обсуждение

Формирование микроклимата осушенного болота зависит от соотношения составляющих теплового и водного балансов. На влажных торфяных почвах радиационное тепло в основном тратится на испарение. Чем почва влажнее, тем больше затраты тепла на турбулентный теплообмен между деятельной поверхностью и прилегающим слоем воздуха. Вследствие этого гидроморфные почвы являются более холодными и морозоопасными, и только сельскохозяйственное освоение может способствовать значительному улучшению их микроклимата.

Пониженная теплоаккумуляция и недостаточный приток тепла из глубоких слоев почвы обуславливают повышение заморозкоопасности. Безморозный период на осушенных болотах короче по сравнению с окружающими суходоломи на 25-30 дней, интенсивность заморозков на 2-4°C выше (рис. 1).

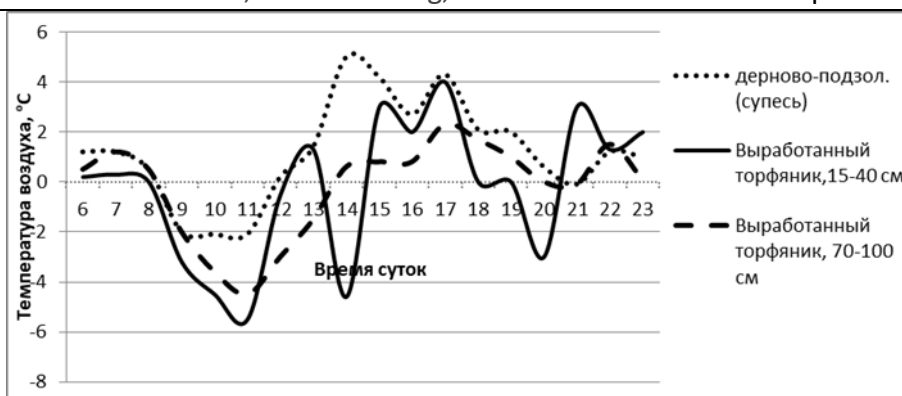


Рис. 1. Минимальная температура воздуха на высоте 2 см от поверхности почвы суходола и выработанного торфяника

Микроклимат пахотного горизонта торфяных почв зависит от многих факторов: степени осушения, освоения, мощности торфяного слоя, водного режима и т.д. Результаты наших исследований показали наличие линейной зависимости средней суточной температуры осушенной торфяной почвы на разных горизонтах от мощности торфяного слоя. С глубиной зависимость температуры почвы от мощности залегания торфа увеличивается. В связи с низкой теплопроводностью прогревание торфяных почв весной до 10°C на глубине 10 см запаздывает по сравнению с минеральными почвами на 15-20 дней. Летом создаются условия высоких амплитуд суточной температуры поверхности почвы. Ночью минимальная температура поверхности почвы бывает ниже на 2-3°C, днем максимальная температура – на 10-15°C выше, чем на окружающих суходолах (рис. 2).

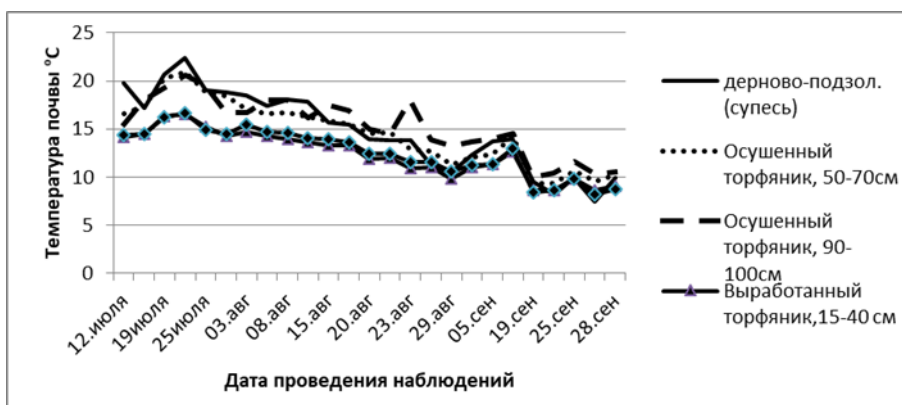


Рис. 2. Температура почвы на глубине пахотного горизонта осушенных и выработанных торфяников в сравнении с суходолом

После выработки осушенных торфяников значительно улучшаются их теплофизические свойства. Выработанные торфяные почвы обладают высокой степенью теплоаккумуляции, более продолжительным безморозным периодом (50-55 дней), большими суточными амплитудами температуры приземного слоя воздуха (15-20°C). Зимой выработанные торфяники промерзают сильнее, весной оттаивают игреваются медленнее. В летний период температурный режим этих почв на 4-5°C выше осушенной торфяной почвы (рис. 3).

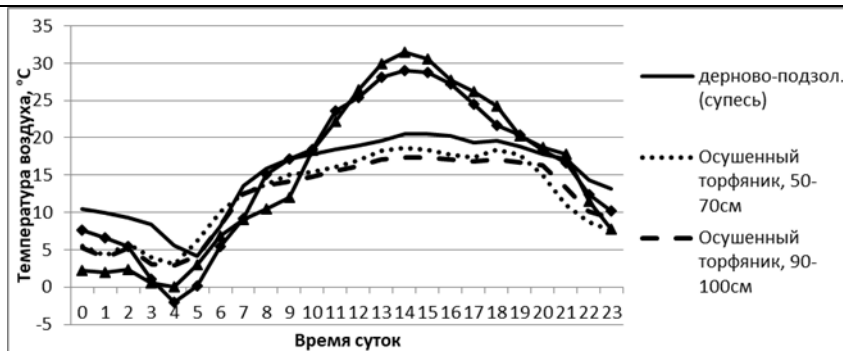


Рис. 3. Изменение температуры воздуха на высоте 200 см в зависимости от почвенных разностей

При длительном сельскохозяйственном использовании выработанных торфяников ускоряются процессы минерализации органического вещества торфа, что способствует улучшению теплофизических свойств этих почв. Это, в свою очередь, сказывается на ускорении прогревания почвы весной, увеличении безморозного периода на 15-20 дней и повышении теплообеспеченности на 200-250°C по сравнению с осушенными торфяными почвами.

Следовательно, сельскохозяйственное использование осушенных торфяных и выработанных почв способствует снижению степени заморозкоопасности, улучшению их теплофизических свойств, температурного, водного, а, следовательно, и пищевого режимов.

Особенности микроклимата торфяных и выработанных почв благоприятно проявляются на росте и развитии кормовых культур. Периоды межфазного развития растений на торфяной почве удлиняются в среднем на 5–7 дней, особенно в ранние фазы их развития (до колошения), что очень важно при пастбищном использовании травостоев и в период заготовки кормов на сенокосных угодьях. В связи с тем, что торфяные почвы богаты азотом, содержание сырого протеина в злаковых кормовых культурах повышается на 7–8% по сравнению с минеральной почвой. Вследствие хорошей влагообеспеченности торфяных почв прирост растительной массы в высоту примерно на 10 см выше, и, следовательно, урожайность зеленой массы кормовых культур на 40–60 ц/га выше, чем на минеральных почвах.

Глобальные изменения климата накладывают свои отпечатки на изменение микроклимата торфомассива «Гадовское». Потепление климата, которое началось в последней четверти XX века, как и других регионах, выражается в увеличении количества теплых зим (рис. 4).

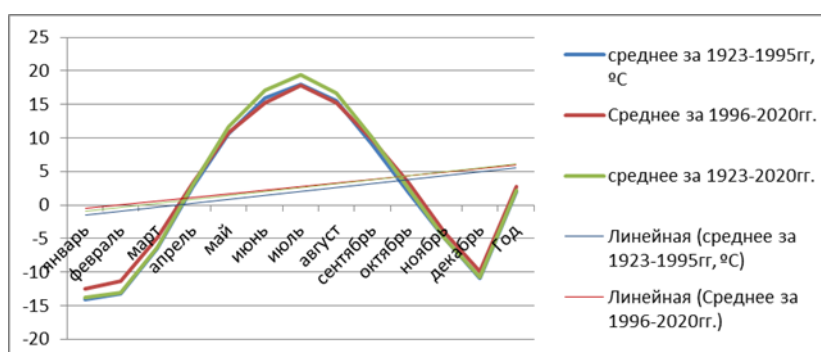


Рис. 4. Изменение температуры воздуха по периодам с1923 по 2020 гг. (°C)

Мониторинг погодных условий, проводимый на Кировской лугоболотной станции с 1923 года, показывает, что средняя температура воздуха холодного периода (ноябрь-март) за последние 25-30 лет повысилась на 1,0-1,1°C, теплого периода (апрель-октябрь) – понизилась на 0,4-0,5°C. В результате средняя годовая температура воздуха на территории торфомассива

повысилась на 0,3-0,4°С. Это согласуется с утверждениями ученых других регионов в том, что потепление климата в настоящее время проявляется не столько в повышении среднегодовых температур, сколько в повышении температуры холодного периода года, тогда как температура теплого периода имеет выраженную тенденцию к снижению (9, 10).

Анализ распределения сумм атмосферных осадков за 97-летний период наблюдений показал значительный рост количества осадков, выпадающих на исследуемой территории за год, теплый и холодный периоды года. Средняя за год сумма осадков, рассчитанная за период с 1923 по 2020 гг. составляла 513 мм, за последние 25-30 лет она повысилась на 55-90 мм. В том числе в теплый период года сумма осадков по средним многолетним данным составляла 205 мм. За последние 25 лет сумма атмосферных осадков в теплый период повысилась на 110-140 мм, в холодный – на 30-50 мм.

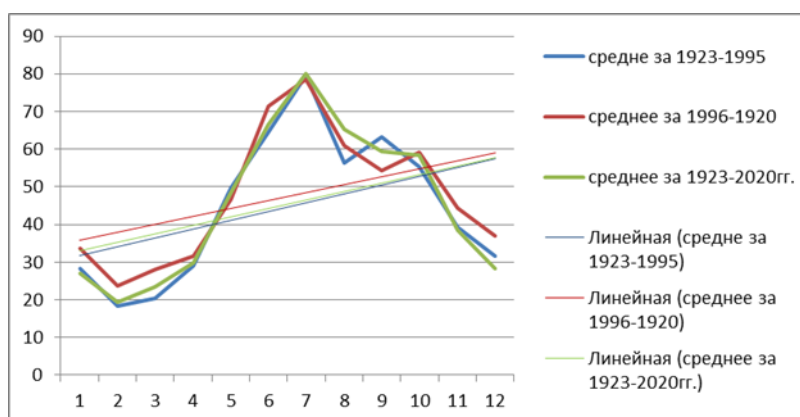


Рис. 5. Динамика распределения осадков по периодам с 1923 по 2020 гг.

Следовательно, изменение климата проявляется в увеличении количества теплых и малоснежных зим. Погодные условия в вегетационный период скорее умеренно теплые и дождливые. Летний период, с температурой воздуха выше 15°С, короткий (45-50 дней), однако в последние 3-4 года его продолжительность не превышала (15-25 дней).

В связи с изменением погодных условий за годы исследований отмечены закономерные изменения реакции ботанического состава и урожайности луговых экосистем. Изменение водного режима выработанного торфяника в связи с избытком атмосферных осадков в теплый период и длительным весенним подтоплением сельхозугодий привело к видовому изменению травостоев: исчезают культурные сеяные злаки и внедряются дикорастущие злаки и болотная растительность. И, как следствие, снижается продуктивность травостоев. Противостоять этим изменениям можно только с помощью разработанных адаптивных приемов удобрения. Анализ результатов исследований указывает на ведущую роль уровня питания фитоценозов для стабилизации урожайности по годам в условиях неустойчивости погодного фактора. Коэффициенты вариации снижались от 61% в контроле (без удобрений) до 27-29 на фоне NPK.

Регулярное применение минеральных удобрений на сенокосах и пастбищах, несмотря на возрастающие цены, экономически оправдано: затраты на внесение азотных удобрений окупаются при получении 15-30 кормовых единиц на 1 кг азота стоимостью прибавки в 3-4 раза, фосфорно-калийных – при прибавке 10-12 кормовых единиц на 1 кг д. в. – в 2-3 раза. Применение минерального удобрения способствовало повышению урожайности не только надземной массы, но и накоплению запаса подземной массы (корней, корневищ, и других органов) в 1,5-2,0 раза и существенному повышению накопления азота, фосфора и валовой энергии в корневой массе. Коэффициент продуктивного действия корней долголетнего злакового сенокоса под влиянием полного минерального удобрения увеличивался в 2,2-2,4 раза.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Для оценки накопления валовой энергии по элементам агроэкосистемы были обработаны данные с учетом среднегодовых показателей накопления валовой энергии, содержащейся в надземной и подземной массе, а также валовой энергии, затраченной на изменение плодородия почвы в среднем за 30 лет.

Анализ структуры энергоемкости плодородия почвы показал, что основными энергоносителями (по удельному весу) в выработанной торфяной почве низинного типа является азот (25-30%) и органическое вещество (70-75%), значение энергоемкости за счет изменения подвижного фосфора (0,03-0,06%) и обменного калия (0,02-0,14%) было не существенным. Благодаря увеличению кислотности почвы происходило снижение запасов энергии в почве низинного выработанного торфяника на 24-52 ГДж/га (таблица 1).

Таблица 1. Накопление валовой энергии в луговой агроэкосистеме на выработанном низинном торфянике

Удобрение (за сезон)	Валовая энергия, ГДж/га				Затраты антропо- генной энергии, ГДж/га	Производство ВЭ за счет природных факторов		Окупаемость антропо- генных затрат за счет производства ВЭ, %
	надзем- ная масса	подзем- ная масса	изменение плодородия почвы	всего		ГДж/га	%	
Без удобрений (контроль)	34,8	9,4	20,1	64,3	3,0	61,3	95	2140
N <sub>120</sub> P <sub>60</sub>	99,8	12,9	27,5	140,2	15,6	124,6	89	900
N <sub>120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	165,0	10,4	22,5	197,9	16,7	181,1	92	1180
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	168,2	12,9	24,6	205,7	17,8	187,7	91	1160
P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	101,9	9,8	14,3	126,0	6,1	119,9	95	2070
N <sub>120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	171,8	18,9	3,6	194,3	17,4	176,9	91	1120
N <sub>180</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	169,0	20,9	8,5	198,4	22,7	175,7	89	870

Ежегодное производство валовой энергии на не удобряемом луге составляло 64,3 ГДж/га. При минимальных антропогенных затратах 3 ГДж/га основная доля энергии приходилась на надземную массу (54%) и изменение плодородия почвы (31%), на долю подземной массы – только 15%. Применение минеральных удобрений повышало антропогенные затраты, но способствовало увеличению накопления валовой энергии агроэкосистемой: на фоне двойных смесей N<sub>120</sub>P<sub>60</sub> и P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> показатель повышался в 2,0-2,2 раза, на фоне полных смесей N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>-90K<sub>60</sub>-120 – в 3,0-3,2 раза. Распределение валовой энергии в агроэкосистеме в зависимости от минерального питания происходило по-разному: основная доля накопленной валовой энергии приходилась на надземную массу (71-88%) и подземную массу (6-11%), на изменение плодородия почвы при применении двойных смесей (N<sub>120</sub>P<sub>60</sub> и P<sub>60</sub>K<sub>120</sub>) и полных смесей в дозах N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>-90K<sub>60</sub>-120 – 11-20%; при внесении повышенных доз азотных удобрений в составе полной смеси (N<sub>120</sub>-180P<sub>60</sub>K<sub>120</sub>) на накопление валовой энергии за счет изменения плодородия почвы приходилось только 2-4%, в связи с большими затратами энергии на создание корневой массы. Важно подчеркнуть, что благодаря интенсификации ухода за лугом резко возрастает роль природных факторов. При экстенсивном использовании луга (без удобрений) производство валовой энергии за счет природных факторов составляло 61,3 ГДж/га, при применении минеральных удобрений повышалось в 2-3 раза.

Следовательно, накопление валовой энергии в агроэкосистеме на низинном выработанном торфянике происходит за счет природных факторов (фотосинтез, деятельность почвенной микрофлоры), а также в результате дернообразовательного процесса. Луговая агроэкосистема, представляющая собой биогеоценоз, основная роль в котором отводится фотосинтезу и действующему антропогенному фактору, за счет фотосинтеза способна накапливать солнечную энергию не только в надземной массе, но и подземной массе, оказывая большое влияние на плодородие почвы.

#### **Выводы**

1. Систематический уход за сеянными травостоями на сенокосах и пастбищах, созданных на осушенных и выработанных низинных торфяниках, путем ежегодной подкормки минеральными удобрениями в дозах N60-120P30-60K60-120 и P60K120, многоукосного использования травостоев в оптимальные сроки обеспечивает стабильный рост продуктивности их в 3,6-4,5 раза и гарантирует долготелее эффективное использование в условиях изменяющегося климата Волго-Вятского экономического района без дополнительных капитальных вложений на их улучшение.

2. Основная масса валовой энергии в агроэкосистеме при применении минерального удобрения на низинном осушенном выработанном торфянике обусловлена за счет накопления ее в надземной массе (71-88%) и за счет изменения плодородия почвы (11-20%) на подземную массу (корни и корневища) приходится 6-11%. Кроме того, применение минерального удобрения значительно увеличивает накопление валовой энергии за счет повышения эффективности использования природных и стохастических (погодных) факторов – в 2-3 раза.

#### **Список литературы / References**

1. Косолапов В.М. Новый этап развития кормопроизводства России //Кормопроизводство. 2007. - №5. С. 3-7.
2. Иванов А.Л. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России //Земледелие, 2009 - №1. С. 3-5.
3. Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П., Лебедева Т.М. Управление агроландшафтами //Кормопроизводство. – 2008. - №9. – С. 4-5.
4. Жученко А.А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция). Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1994. 148с.
5. Уланов А. Н. Особенности кормопроизводства на мелиорируемых землях //Материалы научно-практической конференции: «Состояние отрасли кормопроизводства и пути повышения её эффективности». Киров, 2002. С 36-40.
6. Кутузова А.А., Привалова К.Н., Зотов А.А., Тебердиев Д.М. и др. Программа и методика проведения научных исследований по луговодству (по Межведомственной координационной программе НИР Россельхозакадемии на 2011-2015гг.). М.: ФГУ РЦСК, 2011. – 192 с.
7. Романова Е.Н., Мосолова Г.И., Береснева И.А. Микроклимат и его значение в сельском хозяйстве. Гидрометеиздат. – Ленинград, – 1983. – 385с.
8. Кутузова А.А., Трофимова Л.С., Проворная Е.Е. Методическое руководство по оценке потоков энергии в луговых агроэкосистемах. – М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2007. – 39с.
9. Косолапов В.М., Уланов А.Н. Научные основы и практика комплексного использования нарушенных болотных экосистем //Материалы научно-практической конференции к 90-летию мелиоративной науки в Беларуси и 70-летию БелНИИМил, - Минск, - 2001. – С 49-55.
10. Кутузова А.А. Основные направления исследований в луговодстве на 2011-2015гг. // Кормопроизводство. – 2011. - №10. – С. 9-11.

**FERTILITY OF CUT-AWAY LOWLAND PEATLANDS IN A CHANGING CLIMATE**

V. N. KOVSHOVA

*Kirovskaya Lugobolotnaya Experimental Station, Branch of «Federal Scientific Center for Fodder Production and Agroecology named after V.R. Williams», Kirov, valentina.kovshova@yandex.ru*

**Abstract.** The microclimatic features of the cut-away peat soils, the principles of changes in fertility of these soils during long-term use for haymaking in a changing climate are described. Methods of energy flow management in the meadow agroecosystem located on the cut-away peat soil have been established.

**Keywords.** Cut-away lowland peatlands, climate change, microclimate, meadow ecosystems, energy intensity of agroecosystem.



## **ВОПРОСЫ ОБОСНОВАНИЯ НЕОБХОДИМОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОМЕЛИОРАЦИИ ДЛЯ СТЕПНЫХ РАЙОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

В.Н. МАРКИН, В.В. ШАБАНОВ

*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова, Москва, mvnarkin@mail.ru, 515vvsh@gmail.com*

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы обоснования мелиоративных мероприятий в условиях степной зоны. В этой зоне водный фактор ограничивает высокую и стабильную продуктивность растений. Кроме того, недостаточная влагообеспеченность, в сочетании с «интенсивными» методами земледелия, приводит к потере плодородия, увеличению опасности эрозии почв и к увеличению «углеродного следа». Влажность почвы существенно изменяется в зависимости от мезо- и микрорельефа. Точная мелиорация позволяет изменять условия почвенной среды, делая их более оптимальными не только для растений, но и почвенной биоты, что создает условия для большей экологической безопасности. Это достигается путем учета требований, не только растений, но и почвенной биоты (их индикаторных видов) и учета неоднородности распределения влагозапасов в почве. Точное мелиоративное регулирование базируется на количественном обосновании необходимости проведения мелиоративных мероприятий. Такой подход позволяет зонировать территорию степного региона по степени необходимости водных мелиораций на каждом элементе рельефа и управлять агрофизическими свойствами почв.

**Ключевые слова.** Почвенные влагозапасы, требования растений, требования почвенной биоты, точная мелиорация, обоснование необходимости орошения и осушения.

### **Введение**

Гидромелиорация позволяет оптимизировать условия выращивания сельскохозяйственных культур посредством орошения и осушения. Это гарантирует получение высоких и стабильных урожаев, но оказывает негативное воздействие на водные и наземные экосистемы, например, снижение плодородия почвы. Большие площади орошения и осушения, при неправильном управлении, могут представлять серьезную угрозу экосистемам и как следствие, повысить «углеродный след» с этих земель. Учитывая, что к 2030 году необходимо существенно сократить выбросы парниковых газов, рассматриваемая проблема весьма актуальна.

Данный конфликт может быть разрешен с помощью точного управления водными ресурсами почв (Шабанов, Голованов, 2019; Шабанов, Маркин, Солошенко, 2019). В этом случае важно строго обосновать виды и объемы управляющих воздействий. Традиционно гидромелиоративное воздействие обосновывалось только с учетом потребностей культурных растений. Точное управление базируется на двух основных позициях.

Во-первых, обоснование режима управления водным режимом необходимо делать с учетом, как требований сельскохозяйственных растений, так и почвенной биоты. Условия жизни почвенной биоты, связаны с индивидуальными особенностями почв и с изменениями их агрофизических свойств, происходящими в почве под влиянием биотического сообщества. Поэтому почвенная биота, наиболее полно и стабильно отражает состояние актуального плодородия почвы во времени (Шабанов, Маркин, Солошенко 2020). Учет требований почвенной биоты позволяет оптимизировать почвообразовательные процессы с целью сохранения и повышения плодородия почв. В качестве индикатора почвенного плодородия и экологического состояния почв в целом, широко используются дождевые черви (Winding, Rombke, 2009; Buck-erfield et al, 1997; Paoletti, 1999; Шабанов, Солошенко 2020).

Во-вторых, необходимо учитывать пространственную неоднородность почв, которая рассматривается на микро - (участок поля размером от 1 до 100 м<sup>2</sup>) и мезо - (до 100 га) уровнях. Учет неоднородности распределения влаги в почве, позволяет снизить антропогенное воздействие на водные источники (снижение водопотребления на орошение и уменьшение

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

объемов загрязненного стока с орошаемых земель) и на почвы (повышение плодородия), при этом повышается и продуктивность растений.

Для широкого применения и получения максимальной эффективности от точного управления требуется районирование территорий по степени необходимости регулирования влажности почвы (орошения и осушения) (Shabanov, Markin, 2019).

В статье представлены результаты обоснования орошения и осушения в степной зоне Европейской части России, на примере одной из ведущих культур - яровой пшеницы.

Степной регион играет важную роль для России, в которой площадь сельскохозяйственных угодий составляет 92,3% (в том числе орошаемых более 7%) и с которых получают более 10% зерна. Продуктивность сельскохозяйственных растений ограничена низкой водообеспеченностью и засухами. Например, вероятность месячной засухи превышает 80%. Засухи продолжительностью 2 и более месяцев, происходят с вероятностью 2...40%. (Антонов, 2019).

Степные условия характеризуются нормой осадков 270...500 мм. Сумма активных температур более 10°C составляет 2000...3000°C. Средние температуры летнего и зимнего периодов составляют, соответственно: 30°C и 20°C. Зональными типами почв являются черноземы и каштановые почвы (таблица 1). Черноземы — это наиболее плодородные почвы, которые позволяют получать урожайность пшеницы на уровне 3,5...5,0 тонн с гектара. Точное орошение может увеличить урожайность в 2–3 раза, при сохранении или увеличении плодородия.

Таблица 1. Характеристика основных типов почв степной зоны Европейской части России (Белицина и др, 1988)

Характеристики	Черноземы					Каштановые
	подзолистые	выщелоченные	типичные	обычные	южные	
pH	7,0...7,5	7,0...7,5	7,0...7,5	7,5...8,0	7,5...8,5	7,0...8,0
Гумус, %	4,0...7,0	4,5...8,0	6,0...9,6	5,0...8,0	3,0...4,5	1,8...3,5
ЕКО, мг/100г	25...30	30...35	40...50	40...50	30...35	10...30
Пористость, %	55	50	55	50	53	50
Наименьшая влагоемкость, %	35	26	37	25	22	30
C/N	9...10	12	9,5	-	10	7,5

### Объекты и методы исследования

Районирование территории по необходимости проведения мелиоративных мероприятий проводится по содержанию продуктивных почвенных влагозапасов в слое 0...100 см. При этом учитывается, что распределение вероятности влагозапасов хорошо описывается нормальным законом распределения. Обоснование проводится с помощью Биоклиматического метода (Шабанов, 1973), который основан на сопоставлении требований растений и почвенной биоты к содержанию влаги в почве, с функцией плотности распределения влагозапасов. Это позволяет определить вероятности: оптимальных условий ( $P_{opt}$ ); необходимости орошения ( $P_{op}$ ); необходимости осушения земель ( $P_{oc}$ ).

Требования растений к почвенным влагозапасам представляется зависимостью их продуктивности от значений рассматриваемого фактора (Шабанов, 1982):

$$S_w = \left( \frac{w}{w_{opt}} \right)^{\gamma \cdot w_{opt}} \times \left( \frac{1-w}{1-w_{opt}} \right)^{\gamma \cdot (1-w_{opt})}$$

где  $S_w$  - относительная урожайность (продуктивность) сельскохозяйственных растений (отношение фактической урожайности к максимально возможной в конкретных условиях);  $w$  - относительное значение фактора;  $w_{opt}$  - оптимальное относительное значение фактора;  $\gamma$  - коэффициент, характеризующий степень саморегулирования растений к водному режиму почв. Аналогичной функцией могут быть описаны и требования почвенной биоты к условиям внешней среды

Требования растений используются для определения нижнего ( $w_1$ ) и верхнего ( $w_2$ ) оптимального предела изменения рассматриваемого фактора, соответствующих заданному (планируемому) уровню продуктивности (на рис. 1  $S_{план}=0,8$ ).



Рис. 1. Кривая требований яровой пшеницы к продуктивным почвенным влагозапасам (в диапазоне ПВ...ВЗ). Условия: тяжёлые суглинки, глины; влагозапасы соответствующие влажности завядания ВЗ=175 мм (19% объема почвы), полная влагоемкость ПВ=475 мм (48% объема почвы), Воронежская область, агрогидрологическая зона полного весеннего промачивания (ПВП)

Условия среды характеризуются пространственно-временной функцией нормального распределения влагозапасов ( $\rho_w$ ) (рис. 2):

$$f(w) = e^{-\frac{(w-w_{cp})^2}{2\sigma^2}}$$

где  $w_{cp}$  - средние влагозапасы;  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение влагозапасов.

Нижнее ( $w_1$ ) и верхнее ( $w_2$ ) значения оптимального предела изменения влагозапасов позволяют выделить под кривой распределения области, соответствующие вероятности: необходимости орошения  $P_{ор}$ , оптимальных условий  $P_{опт}$  и необходимости осушения  $P_{ос}$ .

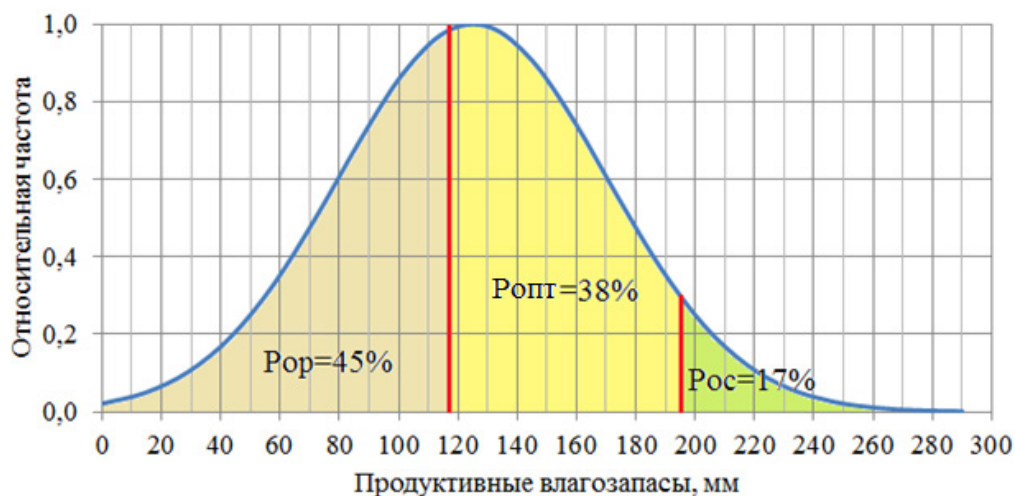


Рис. 2. Плотность распределения продуктивных почвенных влагозапасов в слое 0...100 см при выращивании яровой пшеницы. Воронежская область, агрогидрологическая зона полного весеннего промачивания (ПВП)

Значения вероятностей P, % рассчитываются с помощью функции Лапласа, в зависимости от относительного параметра w' (рис. 3). Относительный параметр, соответствующий нижней и верхней границе оптимальной зоны, определяется по формулам:

$$\text{орошение } w' = 5 - \frac{w_{\text{cp}} - w_1}{\sigma}$$

$$\text{осушения } w'' = 5 + \frac{w_{\text{cp}} - w_2}{\sigma}$$

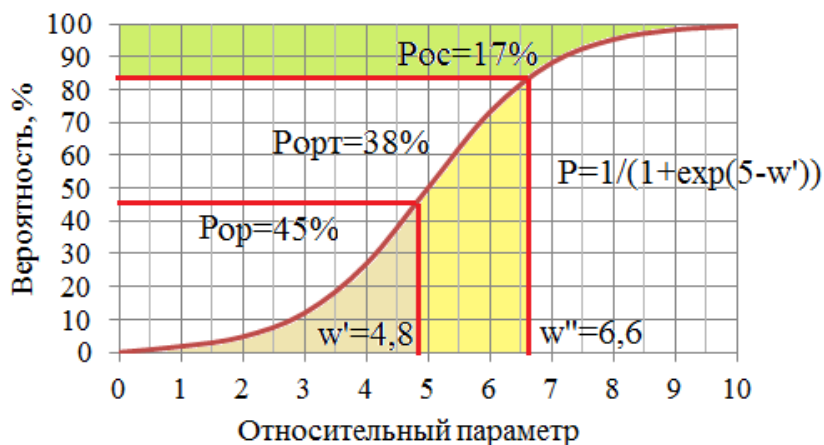


Рис. 3. Функция Лапласа. Значения соответствуют Воронежской области, агрогидрологической зоне полного весеннего промачивания (ПВП)

Используя данный подход, были проведены расчеты необходимости гидромелиоративного воздействия для степных областей европейской части России (таблица 2). При этом районирование учитывает агрогидрологические подзоны (районы).

На территории степной зоны европейской части России выделены несколько агрогидрологических районов (Среднедолголетние ...) (таблица 2).

1. Увлажнение капиллярно подвешенной и капиллярно подперто подвешенной влаги (КППВ) – формируется на черноземах оподзоленных и выщелоченных, подстилаемыми лёссовыми глинами и суглинками. Характеризуется обильным влиянием атмосферных осадков

при высокой порозности почв корнеобитаемого и подстилающих слоев создают условия подпертой влаги.

2. Полного весеннего промачивания (ПВП) – формируется на черноземах, лессовых суглинках. Характеризуется проникновением талых вод на глубину 2...3 м и более.

3. Умеренного весеннего промачивания (УВП) – свойственен тяжело суглинистым черноземам и другие почвы полузасушливой зоны, подстилаемых лессовидными суглинками. Характеризуется непромывным режимом при весеннем промачивании до 0,5...2 м.

4. Слабого весеннего промачивания (СВП) – формируется на черноземах типичных, карбонатных, южных и выщелоченных, среднего и тяжелосуглинистого механического состава на лессовидных суглинках и глинах. Характеризуется непромывным режимом при неглубоком промачивании весной на глубину 0,7...1,2 м.

5. Очень слабого весеннего промачивания (ОСВП) – распространяется на черноземах обыкновенных, карбонатных, южных, светло каштановых, мицеллярно-карбонатных и солонцеватых степных почвах.

Таблица 2. Характеристики агрогидрологических районов (Среднемноголетние ...)

Агро-гидрологический район	Запасы продуктивной влаги в слое 0...100 см, мм		Залегание грунтовых вод, м	
	макс	мин.	макс	мин.
КППВ	205-180	100-90	>5-8	16
ПВП	195-130	80-55	>8	14
УВП	150	60-50	11	15
СВП	145-130	50-25	17	26
ОСВП	120-110	30-10	16	23

## Результаты и обсуждение

Для административных областей и агрогидрологических районов (внутри каждого района), степной зоны европейской части России, вероятность орошения очень велика (и всегда превышает 37%), что соответствует высокой степени необходимости орошения.

Почвенные влагозапасы, в зависимости от «ландшафтного расположения» поля, изменяются в широких пределах. Так, для типов водного питания ПВП, КППВ (редко ВИУ) условия соответствуют оптимальным, что позволяет получать урожайность на уровне (0,8...1) от максимально возможной в конкретных условиях. В агрогидрологических зонах УВП (редко ПВП – Крым и Куйбышевская область, ВИУ - Крым) снижение продуктивности составляет 20...40%. В других районах снижение продуктивности может составить 40...80%.

На некоторых элементах рельефа, отмечается достаточно высокая потребность в осушении. В районах ВИУ, ПВП, УВП, КППВ вероятность осушения изменяется в пределах 10...24%, что соответствует средней степени необходимости мелиорации. Влияние на урожайность соответствует 30...50%. Для других зон вероятность необходимости осушения не превышает 10% (слабая степень необходимости мелиорации) (таблица 3).

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица 3. Вероятности необходимости водных мелиораций по областям (краям) и агрогидрологическим районам степной зоны европейской части России

Область	Агро- гидрологический район	$w_{ср}$ , мм	$\sigma$ , мм	Рор, %	Рос, %	Ропт, %
Воронежская	ПВП	125	45	45	17	38
	УВП	105	33	56	12	32
	СВП	87	34	65	8	26
Ульяновская	ПВП	126	30	45	17	38
	УВП	101	28	58	11	31
Куйбышевская (Самарская)	КППВ	136	31	37	18	45
	ПВП	117	32	49	15	36
	УВП	100	36	59	11	31
	СВП	87	35	66	8	26
	ОСВП	70	31	76	4	20
Оренбургская	КППВ	138	30	36	18	45
	ПВП	118	30	49	15	36
	УВП	99	34	59	10	30
	СВП	85	34	67	8	26
	ОСВП	67	30	78	4	19
Саратовская	КППВ	136	28	38	18	45
	ПВП	121	32	47	16	37
	УВП	103	31	57	11	31
	СВП	84	33	67	8	25
	ОСВП	73	31	75	4	21
Волгоградская	ПВП	125	31	45	17	38
	УВП	97	28	60	10	30
	СВП	84	29	67	8	25
	ОСВП	65	30	79	3	18
Ростовская	ПВП	124	29	46	17	38
	УВП	105	33	56	12	32
	СВП	87	27	65	8	26
	ОСВП	63	27	80	3	17
Астраханская	УВП	97	27	60	10	30
	СВП	80	28	69	7	24
	ОСВП	60	22	81	3	16
Калмыцкая	СВП	80	29	69	7	24
Ставропольский край	ВИУ	127	31	44	18	38
	ПВП	122	27	47	16	37
	УВП	105	26	56	12	32
	СВП	82	27	68	7	25
	ОСВП	70	31	76	4	20
Крымская	ВИУ	140	36	37	22	41
	ПВП	115	31	51	14	35
	СВП	88	29	65	8	26
	ОСВП	75	30	74	4	22

Сопоставляя требования растений (пшеницы) и почвенной биоты (дождевые черви, как индикатор экологического состояния почв и их плодородия), получаем, что орошение позволит сдвинуть кривые распределения в сторону увеличения влагозапасов в разных агрогидрологических районах. Условия становятся более оптимальными для растений и дождевых червей, а следовательно, для почвенной биоты в целом (рис.4, таблица 4). Степень соответствия требований дождевых червей и условий среды, при выращивании яровой пшеницы, не менее 70%. Последнее соответствует экологически допустимому антропогенному воздействию и соблюдению условия экологической безопасности.

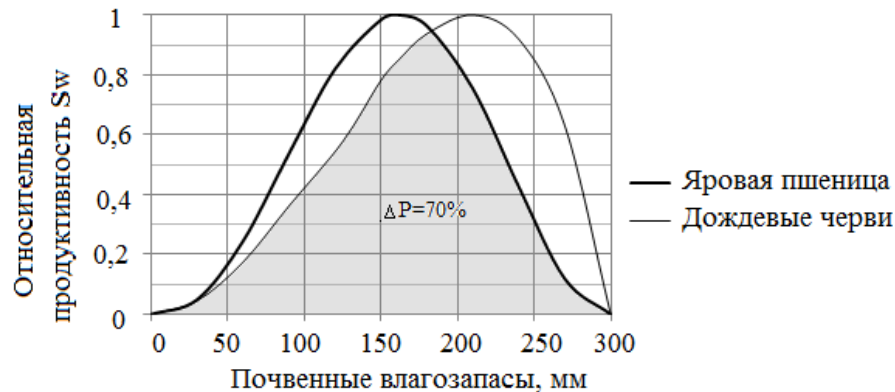


Рис. 5. Сопоставление относительных требований пшеницы и дождевых червей к продуктивным влагозапасам в слое 0...100см.

Методология районирования условий выращивания сельскохозяйственных растений, основанная на биоклиматическом обосновании гидромелиоративного регулирования, пригодна для районирования территории на любом масштабном уровне от макро (административные области) и мезо (агрогидрологические районы) до микро (почвенные разности на поле).

Таблица 4. Параметры функции требований растений и дождевых червей

Параметры	Яровая пшеница	Дождевые черви
$W_{opt}$	0,54	0,7
$\gamma$	5,6	3,0

Для условий агромелиоративных районов степной зоны вероятность необходимости орошения и осушения тесно связана со среднегодовыми влагозапасами в слое почвы 0...100см почвы за период вегетации растений (рис. 6).

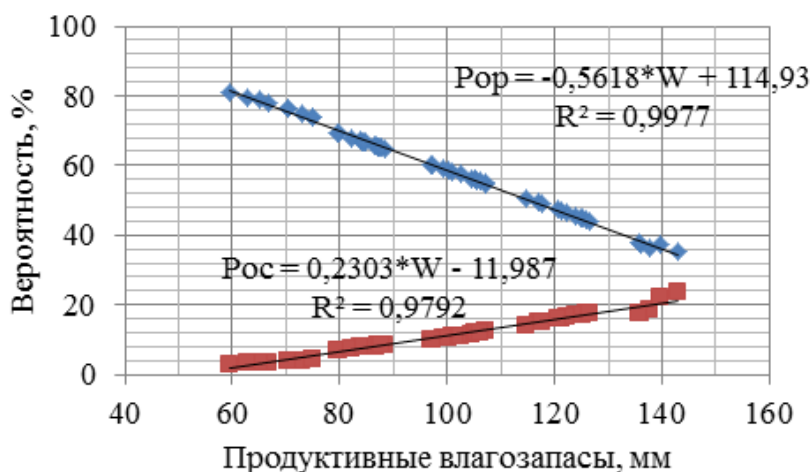


Рис. 6. Изменение вероятности необходимости орошения и осушения (%) от среднемноголетних влагозапасов за вегетационный период, в слое 0...100см почвы для условий Европейской части степной зоны России.

Вероятность необходимости орошения изменяется в пределах 37...77% (табл.5). Вероятности необходимости осушения соответствуют диапазону 4...21%. Соответствие условий среды требованиям растений составляет 19...45%.

Таблица 5 Осредненные для различных агрогидрологических условий степной зоны значения среднемноголетних влагозапасов (W, мм), их среднеквадратического отклонения (σ, мм), вероятности необходимости орошения и осушения слоя почвы 0...100 см и вероятность оптимальности условий произрастания пшеницы

Агро-гидрологический район	Средне-многолетние влагозапасы, мм	σ, мм	P <sub>ор</sub> ,%	P <sub>ос</sub> ,%	P <sub>опт</sub> ,%
ПВП	121	32	47	16	37
УВП	103	31	57	11	32
СВП	85	31	67	8	26
КППВ	136	30	37	18	45
ОСВП	69	29	77	4	19

## Выводы

1. Разработана система обоснования необходимости проведения гидромелиорации для участков, расположенных на различных ландшафтных элементах.
2. Показана возможность использования этой методики для оценки целесообразности введения в оборот неиспользуемых мелиорируемых земель.
3. На основании функциональной зависимости вероятности от средних влагозапасов за вегетационный период, появляется возможность, оценки риска сельскохозяйственной деятельности и целесообразности того или иного вида мелиораций.



**Список литературы / References**

1. Антонов С. А. Изменения засушливости территории Ставропольского края за последние 50 лет (1969-2018) //Агрономия 2 (12). 2019 с. 6-11
2. Белицина, Г. Д. Почва и почвообразование/ Г.Д. Белицина [и др.] // Почвоведение часть 1. М: Высшая школа, 1988 с. 400а
3. Среднемноголетние запасы продуктивной влаги под озимыми и ранними яровыми культурами по областям, краям, республикам и экономическим районам: справочник / Под ред. В.А. Жукова//Европейская часть СССР. Том 1. – Л: Гидрометеиздат, 1986. –с.123
4. Шабанов В.В. Биоклиматическое обоснование мелиораций: монография/В.В. Шабанов. – Л.Гидрометеиздат, 1973. – с. 165
5. Шабанов В.В. Влагодобеспеченность яровой пшеницы и ее расчет: монография/ В.В. Шабанов. -Л.: Гидрометеиздат, 1982. – с.140
6. Шабанов, В.В. Вопросы обоснования необходимости точного мелиоративного регулирования комплекса факторов жизни растений и почвенной биоты/В.В. Шабанов, В.Н. Маркин, А.Д. Солошенко//Материалы международной юбилейной научно-практической конференции. 2019 Издательство: ФГБНУ "ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова". – М: ВНИИГиМ, 2019. С. С.71-76
7. Шабанов, В. В. Некоторые аспекты точной мелиорации / В. В. Шабанов, А. И. Голованов // Природообустройство. – 2019. – № 1. – С. 92-96.
8. Шабанов, В. В. Оценка требований почвенной биоты к гидротермическим условиям внешней среды / В. В. Шабанов, В. Н. Маркин, А. Д. Солошенко // Доклады ТСХА, Москва, 03–05 декабря 2019 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. – С. 173-178.
9. Buckerfield J C, Lee K E, Davoren C W and Hannay JN 1997 Earthworms as indicators of sustainable production in dryland cropping in southern Australia J. Soil Biol Biochem 29 pp 547–554
10. Paoletti M G (1999) The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators J. Agric Ecosyst Environ 74 pp137–155
11. Winding A and Rombke J 2009 Indicators for monitoring soil biodiversity J. Integr Environ Assess Manag 5 pp 717–719
12. Shabanov V V and Markin V N 2019 Scientific research of the SCO countries: Synergy and integration (Materials of the int. conf. Part 2 (March 12, 2019. Beijing, China) Zoning of territories for justification of land reclamation regulation Beijing, China pp 159-170

**QUESTIONS OF NECESSITY AND SAFETY OF SOIL WATER MANAGEMENT FOR STEPPE CONDITIONS  
IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA**

V. N. MARKIN, V. V. SHABANOV

*Russian State Agrarian University-Moscow State Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev,  
institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A. N. Kostyakov,  
Moscow, Russia, mvnarkin@mail.ru, 515vvsh@gmail.com*

**Abstract.** There are questions of justification of land reclamation measures for the conditions of the steppe zone in the article. In the zone, the water factor limits high and stable productivity of agricultural plants. Moreover, insufficient moisture supply, combined with «intensive» farming methods, are caused erosion intensification and decrease fertility of soils. Soil moisture varies significantly depending on the meso- and microrelief. Precise reclamation allows one to change the conditions of the soil environment, making them more optimal for not only plants, but also for the soil biota. In this case conditions for greater environmental safety are created. This is achieved by taking into account the requirements of not only plants, but also soil biota (their indicator species) and taking into account the heterogeneity of the moisture reserve distribution in the soil. The precise reclamation is based on the quantitative justification of its need. This approach allows one to zone the territory of the steppe region according to the neediness of reclamation for every element of the relief and manage the agrophysical soil properties.

**Keywords.** Soil moisture reserves, plant requirements, soil biota requirements, accurate land reclamation, justification of the need for irrigation and drainage.

## ГЕОПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКОВАННОСТИ ПОЛЕВОДСТВА К ЭФФЕКТАМ ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ В НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

М. В. НИКОЛАЕВ

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),  
Санкт-Петербург, [clenrusa@mail.ru](mailto:clenrusa@mail.ru)

**Аннотация.** Для оценки условий возникновения сильного и очень сильного переувлажнения посевов в качестве агроклиматических индикаторов используются значения гидротермического коэффициента Г.Т.Селянинова (ГТК), превышающие 2.5 и 3.5. В контексте изменения климата сравниваются агрометеорологические показатели в избыточно влажные годы на периодах 1945–1981 и 1982–2018. Для картирования уязвимых территорий применен кригинг - метод интерполяции, используемый в ГИС системах, а для сглаживания изолиний использован сплайн – метод. На основе этих методов для двух указанных периодов построены карты пространственных распределений повторяемости лет с аномалиями количества осадков и сумм температур воздуха, приводящими к сильному полеганию посевов, а также карты пространственного распределения повторяемости лет со значениями ГТК выше 3.5. Выявлена тенденция к расширению уязвимых территорий по направлению к северу на периоде 1982 – 2018 по сравнению с периодом 1945–1981.

**Ключевые слова.** Нечерноземье ЕТР, переувлажнение, уязвимые территории.

### Введение

Как известно, Нечерноземье ЕТР отличается от других сельскохозяйственных регионов России умеренно- теплым и влажным климатом. Лимитирующими факторами для полеводства в этой зоне с одной стороны являются ограниченные ресурсы тепла, с другой - погодные условия, приводящие к избытку атмосферной влаги. Прослеживающееся повышение температурного фона способствует продвижению к северу посевов высокоурожайных культур и сортов, однако наблюдаемое по годам учащение продолжительных или сильных дождей приводит к существенным снижениям величины и качества получаемых урожаев [2,6]. Поэтому геопространственная оценка рискованности полеводства в Нечерноземье ЕТР к эффектам переувлажнения при изменяющемся климате приобретает важное практическое значение в вопросах его внутри- региональной адаптации.

### Объекты и методы исследования

Исследование фокусируется на западной и северной частях Нечерноземья ЕТР, где наряду с продовольственными культурами, широко культивируются зернофуражных, силосных и сенных культуры, которые являются кормовой базой для ведения молочного животноводства. Методы исследования включают использование агроклиматических индикаторов, характеризующих появление резкого переувлажнения посевов, выбор градаций отклонений сумм температур воздуха и количества обильных осадков от средних многолетних показателей и методы картирования уязвимых территорий.

### Результаты и обсуждение

Агроклиматические индикаторы представляют значения гидротермического коэффициента Г.Т.Селянинова – ГТК > 2.5 и ГТК > 3.5. Они характеризуют внешние условия, приводящие к возникновению сильного и очень сильного полегания стеблевых злаков [3]. Такие значения ГТК отнесены для июля, на который приходится стадия формирования конечного урожая озимых колосовых и интенсивного накопления зеленой массы силосных и сенажных культур. К тому же для этого месяца отмечается и наиболее выраженный рост температуры

воздуха, чем в другие теплые месяцы. Так, на периоде 1982–2018 прирост средней месячной температуры воздуха в июле в пределах региона составил от 0.6°C до 1.3°C относительно периода 1945–1981 [4].

В таблице представлена последовательность лет в указанные периоды (отличающиеся по степени антропогенного влияния на климат), когда значения ГТК в июле превышали 2.5 и достигали максимальных значений выше 4.0. В качестве примера приведены изменения показателей тепло- и влагообеспеченности в избыточно влажные годы в Смоленске (южно-таежно-лесная зона) и Котласе (среднетаежная зона), соответственно расположенных в юго-западной и северо-восточной частях Нечерноземья ЕТР.

Из таблицы следует, что в Смоленске появление высоких сумм осадков в июле соответствует незначительным понижениям сумм июльских температур. Это объясняется частым прохождением атмосферных фронтов, вызывающих пасмурную погоду. В то же время в Котласе процент лет с такими осадками ниже, однако имеет место появление сверх-обильных осадков в 2000 г., превышающих норму почти в 3.5 раза. Такой факт объясним дополнительным вкладом конвективных (вызванных грозовой деятельностью) осадков в общее количество осадков. Видно, что отклонение суммы температур в сторону ее роста в этом году максимально и составляет почти +15%. Кроме того, обращает внимание и то, что на периоде 1982–2018 показатели тепло- и влагообеспеченности также достигают экстремально высоких значений за весь рассматриваемый период с 1945 г. по 2018 г.

Геопространственная оценка рискованности полеводства к эффектам резкого переувлажнения основывается на картировании повторяемости лет, когда отклонения сумм осадков от нормы в сторону их увеличения на фоне отклонений сумм температур воздуха приводили к возникновению таких эффектов. Чтобы обеспечить наибольшую информативность в виде поля изолиний, осуществлена градация отклонений сумм температур и сумм осадков от средних многолетних показателей с целью подбора оптимальных диапазонов их вариации. Такие диапазоны указаны в подписях к ниже приводимым рисункам 1-3. Для проведения изолиний применялся кригинг – метод интерполяции, используемый в ГИС системах, а для сглаживания изолиний использован квадратичный сплайн [1, 5].

Рисунки 1 и 2 иллюстрируют изменяющийся во времени и пространстве вклад термического и влажностного факторов в появление резкого переувлажнения посевов.

Хотя полегание посевов обычно происходит при пониженной температуре воздуха, тем не менее, повторяемость лет с такими условиями на периоде 1982 -2018 сократилась в западной части Нечерноземья ЕТР на 15-17% лет, а северных и восточных районах до 25% лет по сравнению с периодом 1945–1981. В то же время, повторяемость лет с эффектами резкого переувлажнения при суммах июльских температур выше 110% среднего многолетнего значения в северной части Нечерноземья ЕТР возросла. Сравнение карт, показанных на рисунке 1, дает представление о расширении области с более чем 2%-й повторяемостью таких лет с одновременным ее смещением к северо- востоку на периоде 1982–2018.

Материалы III международной научной конференции  
 «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1. Агрометеорологическая характеристика июльских условий в избыточно влажные годы в разных частях Нечерноземья ЕТР на двух периодах, отличающихся по степени антропогенного влияния на климат

Год	$\sum T_{VII}$ , °C	$\sum P_{VII}$ , мм	$ГТК_{VII}$	% $\sum T_{VII\text{ ср}}$	% $\sum P_{VII\text{ ср}}$
Смоленск: 54.5° N 32.3° E (южно - таежно –лесная зона; среднесуглинистая оглеенная почва) $T_{VII\text{ ср}} = 17.4^\circ\text{C}$ ; $\sum P_{VII\text{ ср}} = 91\text{ мм}$					
период 1945-1981					
1949	474	181	3,82	88%	200%
1953	531	164	3,09	99%	180%
1957	507	156	3,08	94%	171%
1958	492	145	2,95	91%	160%
1962	435	190	<b>4,37</b>	<b>81%</b>	<b>209%</b>
1977	501	131	2,61	93%	144%
1979	441	134	3,04	82%	145%
1980	498	191	3,84	92%	210%
период 1982-2018					
1986	519	165	3,18	98%	180%
1990	468	132	2,82	90%	144%
1993	465	127	2,72	86%	140%
1998	501	233	<b>4,64</b>	<b>93%</b>	<b>256%</b>
2000	510	208	<b>4,07</b>	<b>95%</b>	<b>229%</b>
2018	555	210	3,83	103%	230%
Котлас: 61.2° N 46.7° E (среднетаежная зона; среднесуглинистая глеевая почва) $T_{VII\text{ ср}} = 17.2^\circ\text{C}$ ; $\sum P_{VII\text{ ср}} = 72\text{ мм}$					
период 1945-1981					
1948	396	105	2,65	74%	144%
1950	402	114	2,84	75%	156%
1951	450	188	<b>4,18</b>	<b>84%</b>	<b>262%</b>
1952	528	152	2,88	99%	208%
1956	414	108	2,61	78%	146%
период 1982-2018					
1987	441	145	3,29	83%	201%
2000	603	250	<b>4,14</b>	<b>113%</b>	<b>347%</b>
2012	525	133	2,53	98%	171%

Из сравнения карт на рисунка 2 видно, что пространственное распределение учащающейся повторяемости лет с обильными июльскими осадками на периоде 1982-2018 также имеет смещение в северном направлении, охватывая обширные территории внутри южно- таежно- лесной и среднетаежной зоны и при этом достигая процента лет, отмечаемого в южных районах на периоде 1945 – 1981.

На картах рисунка 3 изображено пространственное распределение повторяемости лет со значениями ГТК > 3.5, которые в интегральном виде отражают изменяющийся во времени вклад влажностного и термического факторов в появление случаев очень резкого переувлажнения посевов. Сравнение полей изолиний на картах показывает наличие выраженной тенденции к расширению территорий, уязвимых к очень резкому атмосферному переувлажнению вследствие роста суммарного количества осадков, который обусловлен как адвекцией влажных воздушных масс, так конвекционными процессами.

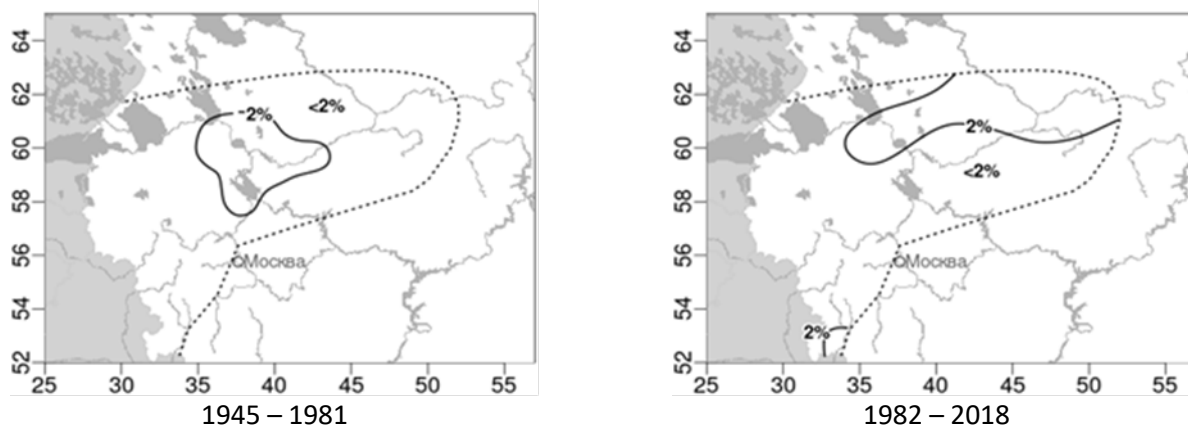


Рис. 1 Повторяемость лет с суммами июльских температур выше 110% их среднего многолетнего значения, когда эффекты резкого переувлажнения посевов наблюдались, (% лет)  
 (здесь и далее: вертикальная ось – градусы широты; горизонтальная ось – градусы долготы)

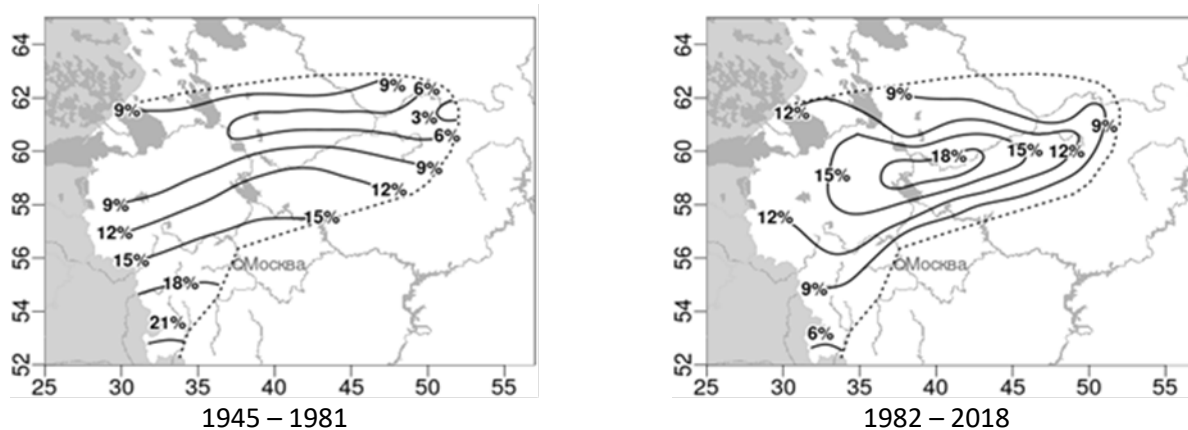


Рис. 2. Повторяемость лет с суммами июльских осадков от 151 до 250 % нормы, когда эффекты резкого переувлажнения посевов наблюдались, (% лет)

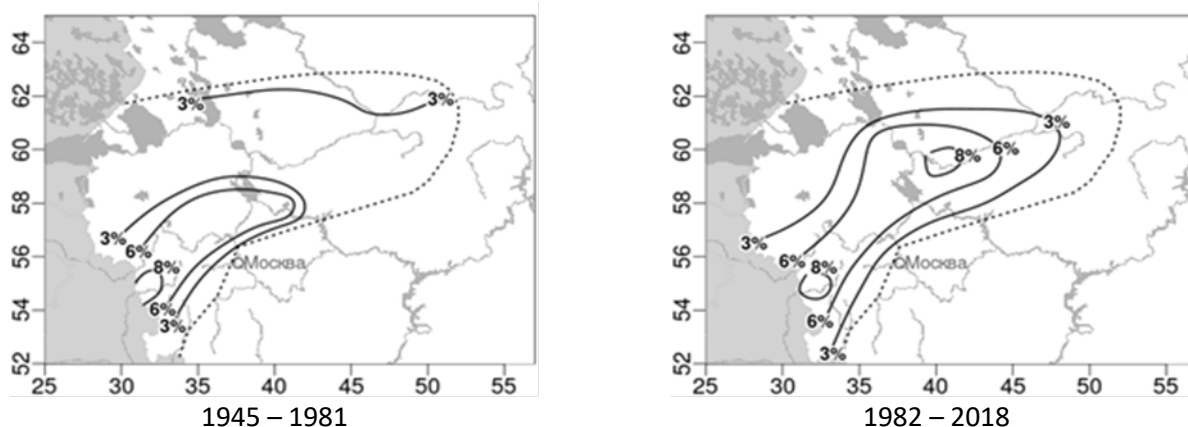


Рис. 3. Повторяемость лет со значениями ГТК VII > 3.5, отмечаемыми при суммах июльских осадков более 250% нормы и характеризующими условия возникновения очень сильного полегания (% лет)

## Выводы

Из приведенных геопространственных оценок можно заключить, что в изменяющемся климате подверженность полеводства эффектам резкого атмосферного переувлажнения в Нечерноземье ЕТР усугубляется. Это проявляется в расширении общей территории, уязвимой к таким эффектам, главным образом за счет включения территорий, расположенных к северу от 58° с.ш. К ним относятся: Вологодская область, север Костромской и Ярославской области, восток Ленинградской и Новгородской областей, а также крайний юг Архангельской области и республик Коми и Карелия. Дополнительным усугубляющим фактором является преобладание в этой части Нечерноземья ЕТР (характеризующейся заметным процентом заболоченности) подзолистых суглинистых почв со свойственной им слабой водопроницаемостью, что часто приводит к разжиженному состоянию поверхности почвы после выпадения обильных осадков. Следует также отметить, что перечисленные районы относятся к зоне традиционно развитого молочного животноводства и луговодства. Поэтому стратегия адаптации должна состоять не только в применении эффективных мер для отвода избыточного поверхностного и внутрипочвенного стока с сельскохозяйственных полей, но и в осушении низинных болот, почвы которых богаты органическими веществами, для последующего отведения таких земель под культурные сенокосы и пастбища.

## Список литературы / References

1. Константинов А.Р., Химин Н.М. Применение сплайнов и метода остаточных отклонений в гидрометеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1983, 184 с.
2. Николаев М.В. Климатический мониторинг для оценок уязвимости сельскохозяйственных территорий к эффектам переувлажнения в Нечерноземной зоне Европейской России // Изв. РГО, 2017, Т. 149, вып.5, С. 4-16.
3. Николаев М.В. Оценка изменяющегося вклада обильных осадков в рискованность земледелия в Нечерноземье Европейской России // Изв. РГО, 2018, Т.150, вып. 6, С. 1-14. DOI: 10.1134/S0869607118060010
4. Николаев М.В. Влияние климатических изменений на продуктивность мелиорируемых земель / Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Вклад агрофизики в решение фундаментальных задач сельскохозяйственной науки», Санкт-Петербург, 1-2 октября 2020 г. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020, С. 478-483.
5. Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8. Воронеж: Изд.- полиграф. центр Воронежского гос. университета 2008. 45 с.
6. Nikolaev M.V. (2020) Integrated Assessment of Change in Contribution of Excessive Moisture to Farming Risks in the Humid Zone of Western Russia Journal of Meteorology, Hydrology and Water Management. Vol. 8, issue 1, P. 46-53. DOI: 10.26491/mhwm/111543

## GEOSPATIAL ASSESSMENT OF CROP FARMING RISKINESS UNDER CHANGE IN CLIMATE IN THE NON – CHERNOZEM ZONE OF EUROPEAN RUSSIA

M. V. NIKOLAEV

*Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, clenrusa@mail.ru*

**Abstract.** The G.T. Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) values greater than 2.5 and 3.5 are used as the agroclimatic indicators to assessing severe- and very severe crop overwetting occurring. The agrometeorological variables in the wet years are compared within two periods: 1945–1981 and 1982–2018 in the context of climate change. Such GIS interpolation method as kriging and also spline method are applied to vulnerable areas mapping. For indicated periods, the detailed maps of the spatial distributions of recurrence of years with anomalies of precipitation totals and accumulated temperatures leading to severe lodging as well as those related to the spatial distributions of recurrence of years with HTC values greater than 3.5 are constructed. As a result, the tendency to extension of vulnerable areas northward is revealed for the period of 1982–2018, in comparison with the period of 1945–1981.

**Keywords.** Non-Chernozem Zone of ER, crop over- wetting, vulnerable areas.

**СТАБИЛЬНОСТЬ СУММ ТЕМПЕРАТУР ЗА ВЕГЕТАЦИЮ ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ЕТР В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ**

Л.Ю. НОВИКОВА

ФГБНУ «ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова», Санкт-Петербург; l.novikova@vir.nw.ru

**Аннотация.** Исследование коэффициентов вариации и трендов сумм активных, эффективных температур за вегетацию сортов зерновых, льна, зернобобовых, картофеля, капусты, винограда в 7 пунктах ЕТР за 1980-2014 гг. не выявило различий в стабильности сумм активных и эффективных температур, но подтвердило их большую стабильность по сравнению с продолжительностью вегетации для всех культур, за исключением картофеля. Увеличение продолжительности весны, рост высоких температур лета, рост осадков приводили в основном к росту сумм температур за вегетацию.

**Ключевые слова.** Сельскохозяйственные культуры, фенология, суммы температур, изменения климата.

**Введение**

Существенным фактором растениеводства европейской территории России (ЕТР) в последние десятилетия стал рост температур. Температура является главным климатическим фактором в условиях России, как и в других странах умеренного климата, и наиболее широко при прогнозировании фенодат растений используются суммы температур (Steinmaus et al., 2000; Гордеев и др., 2006; Мищенко, 2009; Mariani et al., 2012; Белолубцев, Сенников, 2012). В настоящее время используются как суммы активных (суточных, превышающих определенный минимум), так и эффективных (активных за вычетом температурного минимума, в зарубежной литературе Growing Degree-Days, GDD) температур (Bonhomme, 2000; Мищенко, 2009; Leewen et al., 2013). Например, для винограда существуют классификации по продолжительности продукционного периода в сутках, по сумме температур, сравнением со стандартными сортами (Лазаревский, 1963; Code, 1983; 2nd edition..., 2001; Мищенко, 2006).

Существует несколько способов расчета температурных минимумов фенофаз и сумм эффективных температур (Бабушкин, 1938; ШигOLEV, 1951). В частности, метод А.А. ШигOLEVA (1951) основан на анализе регрессионной зависимости  $\Sigma T$  от  $L$  за ряд лет (формула (1)), по которой определяют температурный минимум  $T_{min}$  как угловой коэффициент регрессии, и сумму эффективных температур сорта ( $const$ ) как свободный член уравнения:

$$\Sigma T = const + LT_{min} \quad (1)$$

Метод сумм температур неоднократно подвергался критике: в тропиках и субтропиках суммы температур в качестве феноклиматических показателей теряют свое значение (Шульц, 1981); скорость развития увеличивается при повышении температуры от биологического минимума до оптимума - среднесуточной температуры 18-20°C (Шульц, 1981); дефицит тепла для одного периода не может быть компенсирован избытком в другой (Лосев, Журина, 2004).

Усовершенствованные методики учитывают высокие балластные температуры (Лосев, Журина, 2004; Mariani et al., 2012; Leewen et al., 2013). Суммироваться могут как температуры, так и их линейные и нелинейные преобразования, отражающие нелинейность воздействия различных температурных зон (Yue et al., 2015). Однако наиболее популярны в сельскохозяйственной практике простые показатели.

Представляется актуальной задача сравнения стабильности различных оценок температурной потребности вегетации основных сельскохозяйственных культур в условиях климатических изменений. Ранее нами (Наумова, Новикова, 2012; 2013; Новикова и др., 2013) были рассчитаны и опубликованы суммы температур и температурные минимумы основных сельскохозяйственных культур европейской территории России (ЕТР).

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Цель работы: сравнение стабильности сумм активных, эффективных температур сельскохозяйственных культур ЕТР в условиях изменений климата.

#### Объекты и методы исследования

Материалом для исследования послужили многолетние наблюдения за сортами пшеницы, овса, ячменя, льна, бобов, сои, картофеля, капусты, винограда - на ЕТР в 1980-2014 гг. (таблица).

Использованы данные семи географических пунктов ЕТР – шести филиалов ВИР и виноградника ФГБНУ Всероссийского НИИ виноградарства и виноделия им. Я.И. Потапенко (ВНИИВиВ, Ростовская обл., 47°25'N, 40°03'E). Исследованные филиалы ВИР: Полярная опытная станция (ПОСВИР, Мурманская обл., 67°33'N, 33°19'E); НПБ Пушкин-Павловск (Пушкин, 59°42'N, 30°25'E); бывшее Московское отделение (МОВИР, Московская обл., 55°8'N, 37°57'E); Екатерининская опытная станция (ЕОС, Тамбовская обл., 52°59'N, 40°50'E); Майкопская опытная станция (МОС, респ. Адыгея, 44°27'N, 40°10'E); Кубанская опытная станция (КОС, Краснодарский край, 45°13'N, 40°47'E).

Рассчитаны суммы активных ( $\Sigma T$ ), эффективных температур ( $\Sigma T_{эф}$ ) с использованием температурных минимумов культур из литературных источников. Кроме того, определены индивидуальные для сортов температурные минимумы методом А.А. Шиголева по формуле (1). Рассчитаны коэффициенты вариации полученных показателей, их тренды с 1980 г. Достоверность различий коэффициентов вариации разных показателей сравнили тестом Вилкоксона в программе Statistica 13.3.

#### Результаты и обсуждение

Суммы температур за вегетацию, рассчитанные разными методами, и показатели их вариабельности за 1980-2014 гг. представлены в таблице. У капусты проанализирован период высадка – начало хозяйственной годности, т.к. период от начала до полной хозяйственной годности имел слабую зависимость от температуры. Для зерновых, бобов, льна температурный минимум 5°C, капусты 0°C, сои, винограда 10°C (Мищенко, 2009; Белолобцев, Сенников, 2012).  $T_{min}$  картофеля различается в разных источниках от 0 (Мищенко, 2009) до 10°C (Лосев, Журина, 2004; Белолобцев, Сенников, 2012), был взят  $T_{min}=5^\circ\text{C}$ . Приведены также суммы эффективных температур выше  $T_{min}$ , рассчитанного по методу А.А. Шиголева ( $\Sigma T_{эфШ}$ ).  $T_{min}$  вегетационного периода для сортов зерновых получились 5–11°C, льна сорта Светоч 6°C, бобов 8–9°C, капусты 7–11°C, 11°C (Новикова и др., 2012; 2013; Наумова, Новикова, 2013). Воспользоваться методом А.А. Шиголева для определения температурного минимума вегетации не удалось для сои и картофеля, коэффициенты уравнения (1) получились незначимыми.

Продолжительность вегетации всех культур, кроме картофеля, была менее стабильна, чем суммы активных температур. По совокупности всех культур, кроме картофеля, коэффициент вариации продолжительности вегетации  $v_L=10,3\%$  был выше, чем коэффициент вариации сумм активных температур  $v_{\Sigma T}=7,0\%$ ; по критерию Вилкоксона уровень значимости различий  $p<0,001$ . Коэффициенты вариации суммы активных и эффективных температур были одинаково стабильны,  $v_{\Sigma T}=7,0\%$ ;  $v_{\Sigma T_{эф}}=7,4\%$ ,  $p=0,271$ ; активных и эффективных температур по А.А Шиголеву  $v_{\Sigma T_{эфШ}}=9,5\%$  достоверно различались,  $p=0,002$ .



Таблица. Стабильность сумм температур за вегетацию основных с.-х. культур ЕТР. Обозначения:  $T_{\min}$  - температурный минимум, °С;  $\bar{x}$  - среднее, °С;  $v$  - коэффициент вариации, %;  $b$  - тренд с 1980 г., °С/10 лет. Подчеркнуты значимые параметры.

Сорт	Место опыта	Продолжительность вегетации, $v$	Сумма активных температур			Сумма эффективных температур				Сумма эффективных температур по методу А.А. Шиголева			
			$\bar{x}$	$v$	$b$	$T_{\min}$	$\bar{x}$	$v$	$b$	$T_{\min}$	$\bar{x}$	$v$	$b$
<b>Овес</b>													
Боррус	Пушкин	12,9	1398	7,2	-31	5	989	6,7	-8,2	7,2	805	8,3	1,3
Горизонт	ЕОС	8,3	1537	7,9	<u>99,3</u>	5	1111	9,7	<u>88,7</u>	5,4	1072	11,3	<u>87,8</u>
Краснодарский 73	КОС	7,6	1550	5,1	25,8	5	1094	5,4	-37	7,3	885	7	10,0
Оттер	КОС	6,9	1397	6,4	73,8	5	967	7,4	55,5	9,5	574	10,9	57,5
<b>Пшеница</b>													
Ленинградка	Пушкин	10,3	1475	5,5	15,3	5	1039	4,3	9,3	8,7	726	5,2	-15,0
<b>Ячмень</b>													
Белогорский	Пушкин	10,4	1262	6,7	4,9	5	891	7,3	14,0	6,3	779	8,8	16,1
Московский 121	Пушкин	10,0	1311	6,8	18,9	5	925	7,8	21,4	6	835	8,8	21,7
Потра	Пушкин	12,3	1189	8,3	-51	5	838	8,5	-21,2	8,3	594	11	5,0
Рубин	Пушкин	13,3	1367	10,1	-83	5	955	10,1	-56,7	11	459	15,7	-27,0
Криничный	Пушкин	11,3	1327	7,4	-27	5	940	7,8	3,6	7,4	739	9,5	14,9
<b>Лен</b>													
Светоч	Пушкин	11,4	1293	6,3	-1,1	5	899	5,2	2,3	6	823	5,8	-3,2
<b>Бобы</b>													
Кузьминские (1963-1979)	Пушкин	8,9	1622	4,7	-	5	1116	4,1	-	7,5	863	3,7	-
Ленкоранские (1963-1973)	Пушкин	10,8	1540	5,3	-	5	1073	5,1	-	8,5	731	4,6	-
<b>Соя</b>													
Комсомолка (1973-1990)	КОС	6,7	2815	5,3	-88,5	10	1389	9,1	-55,0	-	-	-	-
<b>Картофель</b>													
Хибинский ранний	ПОСВИР	5,7	1074	11,8	5,8	5	643	17,1	9,4	-	-	-	-
Невский	Пушкин	5,1	1616	8,2	93,8	5	1124	10,7	81	-	-	-	-
Невский	МОС	16,4	1840	20,7	<u>-253,4</u>	5	1295	22,8	-117	-	-	-	-
<b>Капуста, высадка – начало хозяйственной годности</b>													
Амагер 611	Пушкин	11,5	1744	8,3	5,2	0	1744	8,3	5,1	6,9	993	11,7	<u>51,9</u>
Слава грибовская 231	Пушкин	11,7	1450	9,6	3,2	0	1449	9,6	3,5	10,9	516	16,7	<u>35,1</u>
Номер первый грибовский 147	Пушкин	12,6	1150	9,8	-36	0	1150	9,8	-34,8	10,4	464	15,3	16,1
<b>Виноград</b>													
Среднее, 24 сорта	ВНИИВиВ	8,5	2701	5,6	-17,1	10	1407	8,2	43,6	11,0	1506	7,2	21,7

У картофеля продолжительность вегетации была самым стабильным показателем, в среднем  $v_L=9,1\%$ ,  $v_{\Sigma T}=13,6\%$ , однако вследствие малого количества измерений эффект недостоверен,  $r=0,109$ . Суммы эффективных температур были еще менее стабильны, чем активные,  $v_{\Sigma T_{\text{эф}}}=16,9\%$ , однако также незначимо  $r=0,109$ .

Была исследована зависимость сумм эффективных температур, полученных методом А.А. Шиголева, от других факторов (Новикова и др., 2012). Для овса сорта Боррус в Пушкине обнаружена связь сумм эффективных температур с датой посева ( $r=0,65$ ), сумма эффективных температур составляет  $805^{\circ}\text{C}$  при средней дате посева 10 мая и увеличиваются на  $5,1^{\circ}\text{C}$  с каждыми сутками более позднего посева, что связано с потребностью овса в воздействии низких температур для яровизации. В засушливых условиях ЕОС у сорта овса Горизонт сумма

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

эффективных температур за вегетацию зависела от осадков за сутки вегетации ( $r=0,50$ ), составила в среднем  $1072^{\circ}\text{C}$  выше  $5^{\circ}\text{C}$  при осадках за время вегетации  $1,9$  мм/сут. и увеличивалась на  $76^{\circ}\text{C}$  при увеличении осадков за день вегетации на  $1$  мм/сут.

У винограда (Наумова, Новикова, 2015) вариабельность сумм эффективных температур за период начало распускания почек – начало цветения была у всех сортов ниже, чем активных; в среднем по сортам  $v_{\Sigma T_{\text{эф}}}=8,6\%$ ,  $v_{\Sigma T}=11,9\%$ , различия значимы ( $p<0,001$ ). Это единственный период из исследованных сортов и культур, у которого самой стабильной характеристикой межгодовой вариабельности оказалась сумма эффективных температур (Наумова, Новикова, 2015).

В условиях климатических изменений 1980-2014 гг. наблюдалась тенденция к росту сумм активных и эффективных температур (таблица). Слабое увеличение продолжительности периода всходы – цветение (выметывание, колошение) у зерновых и льна в Пушкине сопровождалось у трех сортов (овес Боррус, ячмень Белогорский, Московский 121) достоверным увеличением  $\Sigma T$  за этот период (на  $20-22^{\circ}\text{C}/10$  лет), связанное удлинением периода с температурами  $10-15^{\circ}\text{C}$ . На ЕОС рост продолжительности вегетации сорта Горизонт сопровождался достоверным ростом  $\Sigma T$  за вегетацию (на  $99^{\circ}\text{C}/10$  лет) и  $\Sigma T_{\text{эф}}$  (на  $87,8^{\circ}\text{C}/10$  лет). У картофеля на МОС  $\Sigma T$  достоверно уменьшалась вместе с продолжительностью вегетации из-за более ранней посадки и ухода от высоких летних температур,  $\Sigma T_{\text{эф}}$  достоверных трендов не имели. У всех трех сортов капусты росли  $\Sigma T$  за период начало-полная хозяйственная годность (на  $18-50^{\circ}\text{C}/10$  лет), и  $\Sigma T_{\text{эф}}$  у двух сортов (на  $35-52^{\circ}\text{C}/10$  лет) возможно из-за замедления развития высокими балластными температурами выше оптимальных  $15-18^{\circ}\text{C}$  (Старцев, 2014).

#### Выводы

Не выявлено различий в стабильности сумм активных и эффективных температур основных сельскохозяйственных культур ЕТР, но подтверждена большая стабильность сумм температур по сравнению с продолжительностью вегетации для всех культур, за исключением картофеля. Увеличение продолжительности весны, рост высоких температур лета, рост осадков приводили к росту сумм активных и эффективных температур за вегетацию.

#### Список литературы / References

- Steinmaus S.J., Prather T.S., Holt S. Estimation of base temperatures for nine weed species // *Journal of Experimental Botany*. 2000. 51. P. 275-286.
- Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д. Биоклиматический потенциал России: теория и практика/ред. А.В. Гордеев. М., 2006. 512 с.
- Мищенко З.А. Агроклиматология. Киев: КНТ, 2009. 512 с.
- Mariani L., Parisi S.G., Cola G., Failla O. Climate change in Europe and effects on thermal resources for crops // *International Journal of Biometeorology*. 56(6).2012. P.1123-1134.
- Белолюбцев А.И., Сенников В.А. Биоклиматический потенциал экосистем: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. 160 с.
- Bonhomme R. Bases and limits to using 'degree.day' units // *European Journal of Agronomy*. 2000. Vol.13. P. 1–10.
- Van Leewen C., Schultz H., de Cortazar-Atauri I.G. et al. Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050 // *PNAS*. 2013. 110(33). P.3051-3052. DOI: 10.1073/pnas.1307927110
- Лазаревский М.А. Изучение сортов винограда, Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1963, 152 с.
- Code des caractères descriptifs des variétés et espèces de Vitis. Paris: Office International de la Vigne et du Vin. O.I.V. 1983. 56 p.
- 2nd Edition of the OIV descriptor list for grape varieties and Vitis species. Paris, 2001. <https://www.oiv.int>
- Бабушкин Л.Н. О некоторых способах определения температурных показателей скорости развития сельскохозяйственных культур (Ташкентская опытная станция АГМИ – Боз-су) // *Труды по с/х метеорологии*. 1938. №25. С. 97-110.
- ШигOLEV А.А. Руководство для составления фенологических прогнозов (озимая рожь, озимая пшеница, яровая пшеница, плодовые культуры, древесные растения лесных насаждений). М.-Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1951. 43 с.

Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference  
“Agrophysics Trends: from actual challenges in arable farming and crop production towards  
advanced technologies”

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

September 14-15, 2021

Шульц Г.Э. Общая фенология. Л., 1981. 188 с.

Лосев А.П., Журина Л.Л. Агрометеорология. М.: КолосС, 2004. 301 с.

Yue X., Unger N., Keenan T.F., Zhang X., Voge C.S. Probing the past 30-year phenology trend of US deciduous forests // Biogeosciences. 2015. 12, P. 4693–4709.

Новикова, Л.Ю., Дюбин В.Н., Лоскутов И.Г., Зуев Е.В., Сеферова И.В. Прогнозирование продолжительности вегетационного периода сортов яровых зерновых культур в условиях изменения климата // Сельскохозяйственная биология. 2012. N5. С. 78–87.

Новикова Л.Ю., Дюбин В.Н., Лоскутов И.Г., Зуев Е.В. и др. Анализ динамики хозяйственно ценных признаков сортов сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Т. 173. СПб.: ВИР, 2013. С. 102-119.

Наумова Л.Г., Новикова Л.Ю. Тенденции продолжительности вегетации сортов винограда коллекции ВНИИВВ им. Я.И. Потапенко // Виноградарство и виноделие, 2013. № 6. С. 48-53.

Наумова Л.Г., Новикова Л.Ю. Разнообразие сортов винограда коллекции ВНИИВВ им. Я.И. Потапенко по температурным потребностям // Плодоводство и виноградарство Юга России: науч. журнал СКЗНИИСИВ. 2015. №36(06). 14 с. <http://journal.kubansad.ru/pdf/15/06/09.pdf>.

Старцев В.И. Овощеводство. Агротехника капусты. М.: ИНФРА. 2014. 138 с.

**STABILITY OF THE SUM OF TEMPERATURES FOR THE VEGETATION OF THE MAIN AGRICULTURAL CROPS OF THE EUROPEAN RUSSIA IN THE CONDITIONS OF CLIMATIC CHANGES**

L.YU. NOVIKOVA

*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia;*

*l.novikova@vir.nw.ru*

**Abstract.** The study of the coefficients of variation and trends of the sums of active and effective temperatures for the growing season of varieties of cereals, flax, legumes, potatoes, cabbage, grapes in 7 points of the ETR for 1980-2014 did not reveal differences in the stability of the sums of active and effective temperatures, but confirmed their greater stability compared to the duration of the growing season for all crops, except potatoes. An increase in the duration of spring, an increase in high summer temperatures, an increase in precipitation led mainly to an increase in the sum of temperatures during the growing season.

**Keywords.** Crops, phenology, sums of temperatures, climate changes.

## **ВЛИЯНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ И ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ НА КАДАСТРОВУЮ СТОИМОСТЬ ЗЕМЕЛЬ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА.**

П.М. САПОЖНИКОВ<sup>1</sup>, А.К. ОГЛЕЗНЕВ<sup>2</sup>, Н.И. ДАНИЛОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова*

<sup>2</sup> *Почвенный институт им. В. В. Докучаева*

**Аннотация.** Показана чувствительность расчета кадастровой стоимости земель к различным почвенно-географическим условиям – агроклиматическому потенциалу и характеристикам почв Северо-Западного региона. Минимальные показатели кадастровой стоимости отмечены для арктических территорий Архангельской и Мурманской области, республики Коми. Оценка сельскохозяйственных угодий арктической зоны проводится по оценке кормовых угодий и не превышает 1,5 руб./м<sup>2</sup>. Максимальные показатели кадастровой стоимости земель отмечены в Калининградской области для дерново-карбонатных и пойменных почв (>10 руб./м<sup>2</sup>). Показано значительное снижение кадастровой стоимости с усилением степени гидроморфизма, эродированности и каменистости почв.

**Ключевые слова.** Северо-Западный регион, агроклиматические условия, негативные свойства почв, удельные показатели кадастровой стоимости.

### **Введение**

Земельные ресурсы Северо-Западного Федерального округа, в значительной части относящиеся к северным территориям, слабо используются в хозяйственной деятельности. Сельскохозяйственные угодья занимают 6843,6 тыс. га, или 4,1% земель округа. На пашню приходится 3431,4 тыс. га (2,0% всех земель округа); на сенокосы – 1794,3 тыс. га (1,1%); на пастбища – 1256,6 тыс. га (0,7%); на залежь – 239,7 (0,1%); на многолетние насаждения – 121,6 тыс. га (0,1%).

Отмечается снижение качества земель под воздействием таких негативных процессов, как переувлажнение и заболачивание, зарастание кормовых угодий и загрязнение почв. Доля эродированных земель сельскохозяйственного назначения составляет 4%. Переувлажненные и заболоченные почвы занимают 31,4% площади сельскохозяйственных угодий. Сильно заболочены сельскохозяйственные угодья в Псковской области (34,2%), в меньшей степени – Новгородской (15,5%), Вологодской (10,6%), Архангельской (13,3%) областей и Республики Коми (12,5%) (Природа России. Северо-Западный ФО).

Государственная кадастровая оценка земель является неотъемлемой процедурой для успешного функционирования системы земельных отношений нашей страны. В первую очередь, определение кадастровой стоимости необходимо для налогообложения и вычисления арендной платы. Источником информации для вычисления кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения являются характеристики качества почв (Государственная кадастровая оценка, 2012). Эти данные базируются на материалах крупномасштабных почвенных исследований, проведенных во всех субъектах Российской Федерации в середине 90 годов прошлого века (Сапожников, 2019). От характеристик качества почв (содержания гумуса, мощности гумусового горизонта, содержания физической глины, негативных факторов, влияющих на плодородие почв) зависит величина кадастровой стоимости и, как следствие, налог на сельскохозяйственные земли, который является местным налогом. Почвы, находящиеся в различных агроклиматических условиях, в различных элементах ландшафта будут дифференцированы по кадастровой стоимости, и изучение характера такой дифференциации является весьма актуальной задачей, имеющей практическую (экономическую) значимость.

**Результаты и обсуждение**

В связи с обширностью территорий климат в разных частях Северо-Западного Федерального округа неоднороден, может быть субарктическим, умеренно-континентальным, переходным от морского к континентальному. Величины агроклиматического потенциала, который во многом определяет величину нормативной урожайности и кадастровой стоимости, колеблются от 3,2 (Мурманская область) до 9,1 (Калининградская область). Естественно, что чем выше будет величина агроклиматического потенциала, тем выше будут значения кадастровой стоимости земель.

Для северных арктических территорий Севера-Запада (Архангельская и Мурманская область, республика Коми) оценка кадастровой стоимости проводилась по кормовым угодьям (сенокосы и пастбища).

В зависимости от свойств конкретной почвы, рассчитанные удельные показатели кадастровой стоимости земель (УПКС) отличаются. Для почв Архангельской области наибольшие значения УПКС (3,3 руб./м<sup>2</sup>) оказались у дерново-карбонатных почв, а наименьшие (0,04 руб./м<sup>2</sup>) у подзолистой почвы (табл.1). Для Республики Коми расчет кадастровой стоимости проводился только по сенокосам. Наибольшие значения УПКС (1,1 руб./м<sup>2</sup>) оказались у дерново-карбонатных выщелоченных и аллювиально-влажно-луговых кислых почв, а наименьшие (0,1 руб./м<sup>2</sup>) – у аллювиальных дерновых кислых песчаных почв, а также у дерново-подзолистых супесчаных почв. Стоимость пойменных почв находится в диапазоне от 0,1 руб./м<sup>2</sup> до 1,2 руб./м<sup>2</sup>, болотных почв – от 0,4 до 0,7 руб./м<sup>2</sup>, дерново-подзолистых – от 0,1 до 0,5 руб./м<sup>2</sup>. Для Мурманской области значения УПКС варьируют от 0,1 руб./м<sup>2</sup> для дерново-подзолистых почв на песках до 2,8 руб./м<sup>2</sup> для дерново-подзолистых суглинистых почв. Похожий диапазон кадастровой стоимости различных почв получен для почв Иркутской области (Сапожников, Гранина, 2021).

Таблица 1. Удельные показатели кадастровой стоимости почв Северо-Западного региона

<b>Почвы Архангельской области</b>	УПКС, руб./м <sup>2</sup>
Подзолистая песчаная на песчаных отложениях (естественное пастбище)	0,04
Дерново-подзолистая песчаная на песчаных отложениях	0,1
Болотная низинная торфяно-глеевая	0,1
Дерново-карбонатная оподзоленная легкосуглинистая	2,4
Дерново-карбонатная выщелоченная легкосуглинистая	2,9
Дерново-карбонатная типичная тяжелосуглинистая	3,3
<b>Почвы республики Коми</b>	
Аллювиальная дерновая кислая песчаная	0,1
Дерново-подзолистая супесчаная на древне-аллювиальных песках	0,1
Дерново-карбонатная выщелоченная легкосуглинистая	1,1
Аллювиально-влажно-луговая кислая среднесуглинистая	1,1
Аллювиально-влажно-луговая кислая среднесуглинистая	1,1
<b>Почвы Мурманской области</b>	
Дерново-подзолистая	2,8
Дерново-подзолистая	2,8
Дерново-подзолистая	0,1
Дерново-подзолистая	0,1

Материалы III международной научной конференции  
 «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Дерново-подзолистая	2,1
Торфяная болотная переходная	0,6
Аллювиальная дерновая кислая слоистая	0,1
<b>Почвы республики Карелия</b>	
Торфяные болотные верховые	0,8
Подзолистые (с содержанием гумуса 4%)	4,8
Дерново-подзолистые на легких породах	3,5
Дерново-подзолистые глубоко-глееватые на тяжелых породах	4,8
Аллювиальные дерновые кислые	4,9
<b>Почвы Псковской области</b>	
Подзолистая песчаная	0,5
Подзолистая суглинистая несмытая	6,1
Подзолистая суглинистая среднесмытая	0,5
Дерново-карбонатная глубоко-глееватая	9,6
Дерново-карбонатная глубоко-глеевая	5,2
Аллювиальная дерновая насыщенная	10,8
<b>Почвы Ленинградской области</b>	
Дерново-подзолистая слабокаменистая	1,3
Аллювиальная дерновая насыщенная на легких породах	2,8
Аллювиальная дерновая насыщенная осушенная на тяжелых породах	5,9
Дерново-карбонатная типичная	6,1
Дерново-карбонатная среднекаменистая	3,8
<b>Почвы Калининградской области</b>	
Дерново-подзолистая	2,8
Дерново-карбонатная поверхностно- и профильно-слабоглееватая	8,5
Аллювиальная дерновая насыщенная	10,1
Дерново-карбонатная осушенная	10,5

Максимальные показатели УПКС Республики Карелии (до 5,0 руб./м<sup>2</sup>) отмечены для пахотных подзолистых, дерново-подзолистых почв и пойменных почв с высоким содержанием гумуса.

Для почв Псковской области отмечена ярко выраженная тенденция к снижению показателей кадастровой стоимости с усилением признаков эродированности и гидроморфизма. Связано это с невозможностью выращивания высокодоходных пропашных культур и снижением содержания гумуса и мощности гумусового горизонта.

Максимальные показатели кадастровой стоимости в Северо-Западном федеральном округе отмечены для Калининградской области (Сапожников, Данилова, 2020). Наибольшие значения (10,5 руб./м<sup>2</sup> и 10,1 руб./м<sup>2</sup>) были получены для дерново-карбонатной и аллювиальной дерновой насыщенной почвы соответственно, а наименьшие значения - дерново-подзолистой почвы (2,8 руб./ м<sup>2</sup>).

#### **Выводы**

1. Оценка сельскохозяйственных угодий арктической зоны Северо-Западного региона (Мурманская и Архангельская область, республика Коми) проводится по оценке кормовых угодий и не превышает 1,5 руб./м<sup>2</sup>.

2. Показана зависимость кадастровой стоимости от величины агроклиматического потенциала территории и негативных факторов, влияющих на плодородие почв. Максимальные величины кадастровой стоимости в Северо-Западном регионе отмечены для Калининградской области, где максимальные показатели агроклиматического потенциала. Наибольшие значения ( $>10,0$  руб./ $m^2$ ) были получены для дерново-карбонатной и аллювиальной дерновой насыщенной почвы, а наименьшие значения - дерново-подзолистой почвы (2,8 руб./  $m^2$ ).

3. Отмечена ярко выраженная закономерность к снижению показателей кадастровой стоимости с усилением признаков эродированности. Связано это со значительным снижением содержания гумуса и мощности гумусового горизонта и невозможностью выращивания высокодоходных пропашных культур.

4. С усилением признаков гидроморфизма и каменистости снижение кадастровой стоимости достигает 46 и 38%.

#### **Благодарности**

Работа выполнена по теме государственного задания: «Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления».

#### **Список литературы / References**

Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации. /Под ред. П.М. Сапожникова, С.И. Носова. М.: Изд-во ООО «НИПКЦ-Восход А». 2012. – 160 с.

Природа России. Северо-Западный Федеральный округ. НИА-Природа. [www.priroda.ru](http://www.priroda.ru)

Сапожников П.М. Основные проблемы при проведении государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения. - Имущественные отношения в Российской Федерации, №12, 2019, с. 111-115.

Сапожников П.М., Гранина Н.И. Особенности кадастровой стоимости почв земель сельскохозяйственного назначения агроландшафтов Иркутской области. – Вестник МГУ. Серия 17: Почвоведение, 2021 г., с. 23-30.

Сапожников П.М., Данилова Н.И. Дифференциация земель сельскохозяйственного назначения агроландшафтов Калининградской области по кадастровой стоимости// Использование и охрана природных ресурсов в России, НИА-Природа (М.), № 3, с. 37-42

#### **INFLUENCE OF AGROCLIMATIC AND SOIL CONDITIONS ON THE CADASTRAL VALUE OF LAND IN THE NORTH-WEST REGION.**

P.M. SAPOZHNIKOV <sup>1</sup>, A.K. OGLEZNEV <sup>2</sup>, N.I. DANILOVA <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1*

<sup>2</sup> *Dockuchaev Soil Institute, Russia, 119017, Moscow, Pyzhevsky per. 7/2.*

**Abstract.** The sensitivity of calculating the cadastral value of lands to various soil and geographical conditions - agroclimatic potential and characteristics of soils of the North-West region is shown. The minimum indicators of the cadastral value are noted for the Arctic territories of the Arkhangelsk and Murmansk regions, the Komi Republic. The assessment of agricultural land in the Arctic zone is carried out according to the assessment of fodder land and does not exceed 1.5 r/ $m^2$ . The maximum indicators of the cadastral value of land were noted in the Kaliningrad region for sod-calcareous and floodplain soils ( $> 10$  r/ $m^2$ ). A significant decrease in the cadastral value with an increase in the degree of hydromorphism, erosion and stony soil is shown.

**Keywords.** North-West region, agro-climatic conditions, negative soil properties, specific indicators of the cadastral value.

## **ЭФФЕКТИВНОЕ ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ ПОД МОНОКУЛЬТУРОЙ САДА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ**

Н. Н. СЕРГЕЕВА, О. В. ЯРОШЕНКО

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства,  
виноделия» (ФГБНУ СКФНЦСВВ), Краснодар, [iadared63@yandex.ru](mailto:iadared63@yandex.ru)

**Аннотация.** Проблема сохранения биоразнообразия и повышения эффективного плодородия черноземных почв в условиях монокультуры стимулирует научный поиск специальных агроприемов и способов, основанных на использовании потенциала биомодифицированных удобрений пролонгированного действия. При этом возрастает и роль мониторинга, являющегося частью комплекса мероприятий постагрогенной реабилитации почв и, одновременно, служащего оценкой экологической безопасности приемов, связанных с применением удобрений. Изучение динамики эффективного плодородия почвы и последствия биоминерального удобрения, обогащенного культурой ризосферных бактерий, проведено в интенсивном плодоносящем насаждении слаборослой яблони. В результате проведенного анализа было установлено, что внесенное в 2014 г. локально в борозды биоминеральное удобрение уже через год обеспечивало существенный в сравнении с контрольным вариантом (без удобрений) рост содержания в слое почвы 0-60 см подвижного фосфора и обменного калия. Через 6 лет после внесения удобрений тенденция сохранялась. На фоне применения удобрений не было выявлено значительных изменений актуальной и общей кислотности в сравнении с периодом до закладки опыта. В 2015 и 2020 гг. выявлено усиление нитрификационной активности, характеризующей обеспеченность почвы усвояемым растениями яблони азотом в сравнении с контрольным вариантом. Анализ динамики основной части минерального азота также выявил более высокую активность биологического процесса минерализации азота на удобренном фоне. В контрольном варианте за шесть лет интенсивной эксплуатации плодовых насаждений наблюдалось снижение содержания гумуса в  $A_{\text{пах}}$  на 18 % в сравнении с данными 2014 г. Тенденции к деструкции гумусовых соединений в варианте с применением биоминерального удобрения не выявлено.

**Ключевые слова.** Монокультура сада, биоминеральное удобрений, эффективное плодородие почвы

### **Введение**

Актуальность проблемы агродеградации черноземных ресурсов в связи с интенсивной монокультурой требует поиска специальных приемов, способствующих повышению эффективного плодородия почв, поддержанию разнообразия почвенных сообществ, обладающих множеством экосистемных функций и обеспечивающих устойчивость на фоне периодических деструктивных нагрузок. Действенным фактором решения проблемы является биологизированная система удобрения, в том числе при возделывании монокультуры сада. Этому способствует расширение ассортимента производимых биомодифицированных органоминеральных удобрений (ОМУ) пролонгированного действия, которые обеспечивают постепенное, в течение ряда лет, высвобождение питательных веществ в зоне основной массы активных корней плодовых деревьев, сокращая химическую нагрузку на почву и кратность механического давления. О насыщении современных агротехнологий элементами биологизации свидетельствуют многочисленные отечественные и зарубежные специальные литературные источники, сообщающие о приемах и методах поддержания баланса микробоцеза почв и сохранения их продукционного потенциала при применении биоминеральных удобрений, способах и агроэкологической эффективности их применения, взаимодействии с почвой, растениями и др. [1-8]. Вместе с тем, недостаточно исследовано последствие биомодифицированных ОМУ в условиях многолетних плодовых насаждений, что явилось основной мотивацией системного почвенно-агрохимического мониторинга, задачей которого было выявить в динамике изменение основных показателей эффективного плодородия черноземной почвы.



## Объекты и методы исследования

Объект исследований – чернозем выщелоченный (по классификации 1977 г., агрозем структурно-метаморфический по классификации 2004 г. [9]) под монокультурой яблоневого сада 2009 г. посадки. Предшественник сада – плантация плодоносящей земляники, оборудованной комплексной системой импульсного дождевания. Участок мониторинга расположен в опытно-производственном хозяйстве «Центральное», г. Краснодар. Биомодифицированное удобрение получено путем механического нанесения на поверхность гранул микробиологического препарата на основе штамма ризосферных бактерий *Bacillus subtilis* Ч-13 «БисолбиФит». Благодаря биомодификатору, удобрительная функция ОМУ сочетается с выработкой микроорганизмами аминокислот, витаминов, гормонов, органических кислот, блокированием развития фитопатогенных микроорганизмов, повышением усвояемости растениями питательных веществ из минеральных удобрений и мобилизации их почвенных запасов [10]. Массовая доля азота в ОМУ 7%, общих фосфатов – 7%, калия в пересчёте на  $K_2O$  – 8,2%, магния в пересчёте на  $Mg_2O$  – 8,2%, воды – 7,9%, гуминовых соединений ( $C_{гум.}$ ) – 2,5%, микроэлементов –  $Mo$  0,003;  $Mn$  0,07,  $Cu$  0,01,  $Zn$  0,01,  $B$  0,02.

Внесение удобрений осуществляли локально в борозды глубиной 15-18 см на расстоянии 1,0 м от штамба дерева в норме 5,5 т/га. Повторность в опыте шестикратная. Отбор почвенных проб, подготовка образцов к анализу и определение агрохимических показателей регламентировались соответствующими ГОСТами и рекомендуемыми для данного подтипа почв методиками. Почвенные образцы в плодоносящем саду в 2015 и 2020 гг. осуществляли в одни и те же календарные сроки. Точечный отбор проб был проведен буром малого диаметра конструкции С.Ф. Неговелова. Пространственное расположение мест отбора в 2020 г. соответствовало заложенным ранее в 2015 г. Для статистической обработки результатов опыта использовали методику Б.А. Доспехова [11]. Динамику изменения основных показателей плодородия почвы анализировали в горизонте А (0-60 см послойно, через каждые 20 см).

## Результаты и обсуждение

Изменение актуальной кислотности почвы ( $pH_{вод}$ ) анализировали до закладки опыта, через год (2015) и через 6 лет (2020) после внесения удобрений. В 2015 г. были выявлены наиболее существенные различия между значениями показателя в слое почвы 0-40 см до закладки опыта и в контрольном варианте. Значительных различий  $pH$  водной суспензии между вариантами «контроль, без удобрений» и «внесение ОМУ» через год после закладки опыта не наблюдалось. Через шесть лет в варианте с внесением ОМУ и в контрольном варианте значения показателя  $pH_{вод}$  были на уровне значений до закладки опыта (7,1-7,2).

Проведенный анализ гидролитической кислотности почвы ( $H_r$ ), тесно коррелирующей с  $pH_{вод}$ . ( $r = 0,75-0,90$ ), также выявил отсутствие существенности различий между вариантами (по средним значениям) через год после закладки опыта и через шесть лет.

Анализировали влияние биомодифицированного ОМУ на показатели, характеризующие поглотительную способность почвы сада. Через шесть лет после внесения ОМУ в слое почвы 0-20 см суммарное количество поглощенных оснований на удобренном фоне было существенно выше, чем в контрольном варианте, а в зоне внесения удобрений наблюдалось некоторое снижение суммы поглощенных оснований и емкости поглощения. При этом часть общей емкости, приходящаяся на поглощенные основания, возростала.

В 2020 году на фоне внесения ОМУ в  $A_{пах}$  содержание обменного кальция – одного из важнейших элементов-биофилов – достигало значений 26,8-30,1 ммоль/100 г (в контрольном

Материалы III международной научной конференции  
 «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

варианте 27,1 ммоль/100 г), что создало благоприятные условия для развития аэробных микроорганизмов и поглощения элемента корнями яблони.

Сформировавшиеся в результате внесения ОМУ пролонгированного действия, обогащенной культурой ризосферных бактерий, условия способствовали усилению нитрификационной активности почвы (рис. 1). Анализ динамики основной части минерального азота в почве сада выявил также более высокую активность биологического процесса минерализации азота.

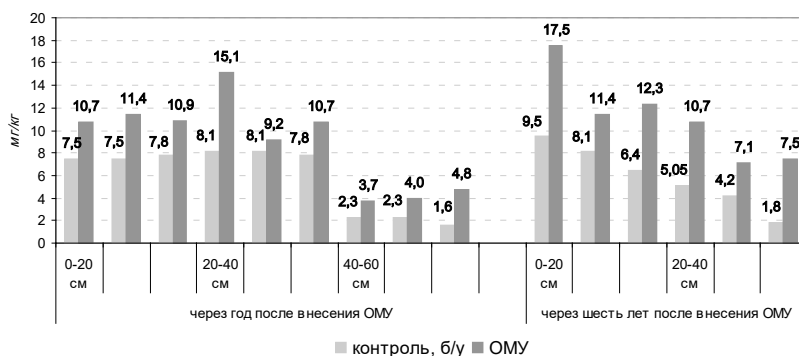


Рис. 1. Нитрификационная способность почвы сада в связи с применением биомодифицированного ОМУ (данные указаны по повторениям вариантов)

Был определен существенный рост содержания биодоступного фосфора в почве сада на глубине 0-60 см через год после внесения ОМУ в сравнении с контрольным вариантом. Через 6 лет тенденция сохранялась. Пролонгированное действие ОМУ оказало положительное влияние на обеспеченность почвы сада обменным калием. Содержание  $K_2O$  в среднем в слое почвы 0-40 см на фоне внесения удобрений через год и через шесть лет было выше на 64 и 91 % соответственно, чем в контрольном варианте.

В условиях монокультуры сада в контрольном варианте, без внесения удобрений, наблюдалась минерализация гумусовых веществ: снижение содержания гумуса в слое почвы 0-20 см в сравнении с данными до закладки опыта составило 18 % и в слое почвы 20-40 см – 7 %. При применении ОМУ значения показателя были стабильны (рис. 2).

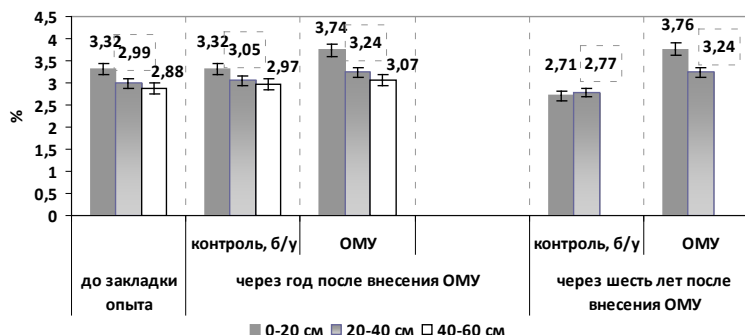


Рис. 2. Динамика содержания гумуса в почве сада в связи с применением ОМУ

## Выводы

В результате почвенно-агрохимического мониторинга эффективного плодородия почвы сада на фоне внесения биомодифицированного удобрения пролонгированного действия определена активация микробиологического процесса минерализации азота, увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия. Через 6 лет после внесения ОМУ значительных

изменений актуальной и общей кислотности почвы на глубине 0-40 см не выявлено. Наблюдалось существенное увеличение суммарного количества поглощенных оснований в А<sub>п</sub> на удобренном фоне в сравнении с контрольным вариантом. При интенсивной эксплуатации плодовых насаждений за период с 2013 до 2020 гг. в контрольном варианте (без удобрений) выявлено снижение содержания в почве гумуса. Потери почвой гумуса в варианте с внесением биоминерального ОМУ не наблюдалось.

### Список литературы / References

1. Чеботарь В. К., Завалин А. А., Ариткин А. А. Применение биомодифицированных минеральных удобрений [моногр.]. М.: ВНИИА, 2014. 142 с.
2. Алексеева Т. П., Перфильева В. Д., Крицын Г. Г. Комплексное органоминеральное удобрение пролонгированного действия на основе торфа // Химия растительного сырья. 1998. № 4. С. 53-58.
3. Efimova S. Yu., Kulikova I. V., Sukhova N. V. Agroecological efficiency of biomodified mineral fertilizers // E3S Web of Conferences “International Conference on Efficient Production and Processing”. 2020. Vol. 161(3). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016101115>
4. Babana A. H., Antoun H., Velázquez E., Rodríguez-Barrueco C. Effect of *Tiensi* phosphate rock-solubilizing microorganisms on phosphorus uptake and yield of field-grown wheat (*Triticum aestivum*) in Mali / First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization // Plant and Soil. 2006. Vol. 287. P. 51-58. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9060-0>
5. Adnan M., Shah Z., Fahad S., Arif M., Alam M., Khan I. A. et al. Phosphate-solubilizing bacteria nullify the antagonistic effect of soil calcification on bioavailability of phosphorus in alkaline soils // Scientific Reports. 2017. Vol. 7(1):16131. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16537-5>
6. Adesemoye A. O., Torbert H. A., Kloepper J. W. Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers // Microbial Ecology. 2009. Vol. 58(4). P. 921-929. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9531-y/>
7. Ribeiro V. J., Andrade F. V., Passos R. R., Mendonça E., Silva L. L., Sartori A. Slow-release stabilized nitrogen fertilizers on initial development and nutrition of coffee plants (*Coffea arabica* L.) // Australian Journal of Crop Science. 2016. Vol. 10 (4). p. 497-502. <https://ru.booksc.org/book/72681789/615165>
8. Kuiper I., Lagendijk E. L., Bloemberg G. V., Lugtenberg B. J. Rhizoremediation: a beneficial plant-microbe interaction // Molecular Plant-Microbe Interactions Journal. 2004. № 17. P. 6-15. DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI.2004.17.1.6>.
9. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена. 2004. 341 p.
10. Чеботарь В. К., Макарова Н. М., Шапошников А. И., Кравченко Л. В. Антифунгальные и фитостимулирующие свойства ризосферного штамма *Bacillus subtilis* 4-13 – продуцента биопрепаратов // Прикладная биохимия и микробиология. 2009. Т.45. № 4. С. 465-469. <http://naukarus.com/j/prikladnaya-biohimiya-i-mikrobiologiya/28>.
11. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.

### **EFFECTIVE SOIL FERTILITY UNDER THE MONOCULTURE OF THE GARDEN WITH THE USE OF BIOMINERAL FERTILIZER OF PROLONGED ACTION**

SERGEEVA N.N., YAROSHENKO O.V.

*Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making», Krasnodar, Russia, iadared63@yandex.ru;*

**Abstract.** The problem of preserving biodiversity and increasing the effective fertility of chernozem soils under monoculture conditions stimulates the scientific search for special agricultural methods and methods based on the use of the potential of biomodified fertilizers of prolonged action. At the same time, the role of monitoring, which is part of the complex of measures for post-agrogenic soil rehabilitation and, at the same time, serves as an assessment of the environmental safety of methods associated with the use of fertilizers, is also increasing. The

study of the dynamics of effective soil fertility and the aftereffect of a biomineral fertilizer enriched with a culture of rhizosphere bacteria was carried out in an intensive fruit-bearing plantation of a weakly growing apple tree. As a result of the analysis, it was found that the biomineral fertilizer introduced locally into the furrows in 2014 provided a significant increase in the content of mobile phosphorus and exchangeable potassium in the soil layer in comparison with the control version (without fertilizers) in a year. After 6 years, the trend continued. Against the background of the application of fertilizers, no significant changes in the actual acidity and total acidity were revealed in comparison with the period before the experiment was laid. In 2015 and 2020, an increase in nitrification activity was revealed, which characterizes the availability of nitrogen available to apple plants in the soil in comparison with the control variant. The analysis of the dynamics of the main part of mineral nitrogen also revealed a higher activity of the biological process of nitrogen mineralization on a fertilized background. In the control version, for six years of intensive operation of fruit plantations, there was a decrease in the humus content in the arable soil horizon by 18 % in comparison with the data of 2014. The tendency to destruction of humus compounds in the variant with the use of biomineral fertilizer was not revealed.

**Keywords.** Garden monoculture, biomineral fertilizer, effective soil fertility.

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ПАХОТНОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

П. А. ФИЛИППОВ

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),

Санкт-Петербург, *agrophys.inst@yandex.ru*

**Аннотация.** Для поиска методов и средств, обеспечивающих высокоэффективное применение удобрений с позиций экономного управления продукционным процессом культур и воспроизводства эффективного плодородия почвы, в Меньковском филиале АФИ развернут длительный полевой опыт «агрофизический стационар». Двухфакторный опыт заложен в 2006 г. на средне-, хорошо- и высококультурной дерново-подзолистых почвах супесчаного гранулометрического состава, сформированных предварительным внесением повышенных доз навоза (на хорошо- и высококультурных почвах) и поддерживающим известкованием. Первым фактором в опыте выступал уровень окультуренности, формируемый трёхвариантной схемой применения органических удобрений, исходя из заданных параметров продуктивности фотосинтеза с выходом на КПД ФАР от 2 до 3–4%. Вторым фактором выступала трёхвариантная схема минеральной системы удобрения, которая рассчитывалась под каждую культуру. В этих условиях, в результате длительного 12-летнего эксперимента установлен характер и основные закономерности изменения морфологических свойств легкой дерново-подзолистой почвы под действием таких факторов и средств воспроизводства почвенного плодородия, как степень интенсивности полевого севооборота, интенсивное и гиперинтенсивное применение органических удобрений, средних и повышенных доз – минеральных удобрений. Даже на фоне поддерживающего известкования и интенсивного применения органических и минеральных удобрений почвообразовательный процесс, резко усилившись, сохранил свои зональные особенности. Элювиально-иллювиальный процесс преобразования охватил практически всю толщу маломощного моренного отложения.

**Ключевые слова.** Система удобрений, севооборот, морфологические свойства, дерново-подзолистая почва.

**Введение**

В условиях вынужденного отказа от известкования и удобрения полей дерново-подзолистые почвы весьма быстро деградируют. Ухудшаются не только динамические агрохимические, но и весьма консервативные агрофизические свойства почвы. Сегодня доля почв, нуждающихся в известковании, достигает 44%, интенсивном применении органических удобрений – 63%, калийных – 32%. Продуктивность пашни достигла 1,8 т/га з.ед., а уровень реализации биоклиматического потенциала – лишь 5 %. При этом ресурсы для воспроизводства почвенного плодородия достаточны. Только в Ленинградской области производится почти 5 млн. т навоза и помёта, а применяется на удобрение лишь чуть больше трети от этого объёма. Хуже всего используются ресурсы помёта. В его неиспользуемой части содержится в 10 раз больше питательных веществ, чем применяется областью в составе минеральных удобрений и извести. Совокупный недобор урожая оценивается в 368-656 тыс. т. зерновых единиц.

**Объекты и методы исследования**

Методические принципы севооборотности и типичности реализовались в системе из двух севооборотов: интенсивного овощекормового и нормального полевого с набором полевых и овощных культур, занимающих 98 % современной структуры посевных площадей региона. Из овощных – это капуста белокочанная, морковь и свёкла столовые, из полевых – картофель, озимые рожь и пшеница, ячмень, однолетние и многолетние травы. К настоящему времени в обоих севооборотах завершены две ротации.

Двухфакторная система воспроизводства плодородия почвы и применения удобрений рассчитывалась, исходя из выхода на заданные параметры коэффициента полезного действия фотосинтетически активной радиации от 2 до 4%. Так реализовались два методических принципа: энергетической обусловленности и технологической гетерогенности. Фактор А

реализовался на стадии закладки формированием трёх видов почвы по степени окультуренности за счёт внесения очень и гипервысоких доз органических удобрения, поддерживающего известкования и периодического внесения (один раз в ротацию) птичьего помёта. Фактор Б, т.е. минеральная система удобрения, просчитывался также из расчёта выхода на заданные параметры КПД ФАР отдельно для каждой культуры и варианта опыта.

Супесчаная крупнопылевато-мелкопесчаная дерново-слабоподзолистая почва опыта сформировалась на легкосуглинистой морене, подстилаемой с глубины 125 см озёрно-ледниковым песком. В результате окультуривания были сформированы три вида почв, соответствующих по комплексу свойств среднему, хорошему и высокому уровню окультуренности.

### Результаты и обсуждение

Морфологические исследования показали, что к концу первой ротации под действием подвижных продуктов разложения органического вещества навоза произошло увеличение мощности и опускание нижней границы аккумулятивно-элювиального горизонта A1A2 и переходного элювиально-иллювиального A2B в хорошо- и высокоокультуренной почвах обоих севооборотов на 3-5 и 2-4 см соответственно (рис. 1). Выраженные изменения, вполне ожидаемо, затронули строение верхней части почвенного профиля. За счёт увеличения содержания перегнойных (гумусовых) веществ цвет пахотного слоя существенно потемнел у хорошо- и, тем более, высокоокультуренного вида. Непрочная комковато-порошистая структура преобразовалась в агрономически более ценную комковато-ореховатую и комковато-зернистую форму. Это произошло за счёт склеивания механических частиц тончайшими плёнками уравновешенных кальцием органических и органо-минеральных коллоидов (Качинский, 1933; Кононова, 1951, 1963; Коротков, 1970, 1972; Кауричев, Орлов, 1982). Кроме того, произошло формирование грубогумусовых затёков органического вещества в горизонте A2B в варианте с гиперинтенсивным применением органических удобрений. Также наблюдалось некоторое снижение плотности сложения аккумулятивно-элювиальной толщи и увеличение глубины проникновения корневых систем растений в почву. Границы иллювиального горизонта В опустились в среднем на 8 см: с 79 до 87 см в полевом и с 87 до 95 см – в овощекормовом севообороте.

По завершении второй ротации полевого и овощекормового севооборотов характер трансформации строения профиля дерново-подзолистой почвы практически не изменился (рис 2.). Однако теперь по мере увеличения продолжительности исследования, наряду с выраженным влиянием, вызванным интенсивным применением органических удобрений, проявились достоверные эффекты от уровня интенсивности севооборота, применения минеральной системы удобрения, а также отказа от применения всех видов удобрений в контрольном варианте. Так на фоне резкого сокращения прихода исходных гумусообразователей в варианте абсолютного контроля, не удобрявшегося на протяжении более 15 лет произошло:

- сокращение мощности элювиально-иллювиального горизонта A2B с 17-19 до 9-12 см;
- исчезновение признаков аккумулятивно-элювиального горизонта A1A2 и повышение нижней границы иллювиального горизонта В в полевом севообороте на 5 см.

Глубина, см	Полевой севооборот			Овощекормовой севооборот		
	Разрезы 1-3п	Разрезы 4-6п	Разрез 7-9п	Разрез 1-3ок	Разрезы 4-6ок	Разрезы 7-9ок
10	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>
20	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>
30	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>
40	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B
50	B	B	B	B	B	B
60	B	B	B	B	B	B
70	B	B	B	B	B	B
80	B	B	B	B	B	B
90	BC	BC	BC	BC	BC	BC
100	BC	BC	BC	BC	BC	BC
110	BC	D	BC	BC	BC	BC
120	D	D	D	D	D	D
130	D	D	D	D	D	D
140	D	D	D	D	D	D
150	D	D	D	D	D	D

Рис. 1. Стрoение профиля почв полевого и овощекормового севооборотов в 2011 г.

Глубина, см	Среднеокультуренная			Хорошо окультуренная			Высоко окультуренная		
	Разрез 1 П	Разрез 2 П	Разрез 3 П	Разрез 4 П	Разрез 5 П	Разрез 6 П	Разрез 7 П	Разрез 8 П	Разрез 9 П
10	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>
20	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>
30	A <sub>2</sub> B	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>
40	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B
50	B	B	B	Bg	B	B	B	B	B
60	B	B	B	Bg	B	B	B	B	B
70	B	B	B	Bg	B	B	B	B	B
80	B	B	B	Bg	B	B	B	B	B
90	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC
100	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC
110	BC	BC	BC	BC	D	D	BC	BC	BC
120	D	D	D	D	D	D	D	D	D
130	D	D	D	D	D	D	D	D	D
140	D	D	D	D	D	D	D	D	D
150	D	D	D	D	D	D	D	D	D
160	D	D	D	D	D	D	D	D	D

Рис. 2. Стрoение профиля почв полевого севооборота в 2018 г.

Минеральная система удобрения, с одной стороны, увеличивала приход исходных гумусообразователей, а с другой, миграцию органических и минеральных веществ, что вызывало дальнейшее снижение на 10 см границы элювиального горизонта. Органическая система

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия      14–15 сентября 2021 г.

удобрения позволила сформироваться за 12 лет под пахотным слоем полноценному гумусоаккумулятивному горизонту. С соответствующими агрофизическими и агрохимическими характеристиками.

Главное отличие воздействия на профиль почвы овощекормового севооборота состояло в усилении лёссивирования профиля под действием более интенсивной обработки почвы (рис. 3.) В результате даже на фоне высоких и гипервысоких доз органики полноценного гумусового горизонта под пахотным слоем не сформировалось. А мощность аккумулятивно-элювиального и элювиально-иллювиального горизонтов существенно возросла.

Глубина, см	Среднеокультуренная			Хорошо окультуренная			Высоко окультуренная		
	Разрез 1 П	Разрез 2 П	Разрез 3 П	Разрез 4 П	Разрез 5 П	Разрез 6 П	Разрез 7 П	Разрез 8 П	Разрез 9 П
10	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>
20	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>	A <sub>пах</sub>
30	A <sub>2</sub> B	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>
40	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B	A <sub>2</sub> B
50	B	B	B	Bg	B	B	B	B	B
60	B	B	B	Bg	B	B	B	B	B
70	B	B	B	Bg	B	B	B	B	B
80	B	B	B	Bg	B	B	B	B	B
90	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC
100	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC
110	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC
120	D	D	D	D	D	D	D	D	D
130	D	D	D	D	D	D	D	D	D
140	D	D	D	D	D	D	D	D	D
150	D	D	D	D	D	D	D	D	D
160	D	D	D	D	D	D	D	D	D

Рис. 3. Строение профиля почв овощекормового севооборота в 2018 г.

### Выводы

Таким образом, в условиях длительного 12-летнего эксперимента установлен характер и основные закономерности изменения морфологических свойств легкой дерново-подзолистой почвы под действием таких факторов и средств воспроизводства почвенного плодородия, как степень интенсивности полевого севооборота, интенсивное и гиперинтенсивное применение органических удобрений, средних и повышенных доз – минеральных удобрений. Даже на фоне поддерживающего известкования и интенсивного применения органических и минеральных удобрений почвообразовательный процесс, резко усилившись, сохранил свои зональные особенности. Элювиально-иллювиальный процесс преобразования охватил практически всю толщу маломощного моренного отложения.

Снижение интенсивности севооборота за счёт посева однолетних и многолетних трав способствовало усилению аккумулятивного характера почвообразования вплоть до формирования у хорошо- и высокоокультуренного вида под пахотным слоем самостоятельного гумусового горизонта A<sub>1</sub>. В интенсивном овощном севообороте аналогичные окультуривающие мероприятия усилили нисходящую миграцию вещества, особенно, в вариантах с полным минеральным удобрением, увеличив в среднем мощность горизонтов A<sub>1</sub>A<sub>2</sub> и A<sub>2</sub>B в 1,9 и 2,1 раза.



Минеральная система удобрения, с одной стороны, способствовала увеличению прихода исходных гумусообразователей, что позволило сохранить исходное строение почвенного профиля среднеоккультуренной почвы. С другой стороны, усилило выветривание минералов и вертикальную миграцию вещества, что привело к увеличению в среднем по двум севооборотам мощности горизонта А1А2 в вариантах NPK1 и NPK2 с 9 до 11 и 12 см, а горизонта А2В – с 12 до 14 и 18 см соответственно. Интенсивность формирования горизонта А2В под действием гиперинтенсивного применения органических и полного минерального удобрения, оцениваемая увеличением его мощности оказалась в овощекормовом севообороте 3,3 раза выше, чем в полевом.

Благодарности

Работа выполнена в ФГБНУ Агрофизическом институте (лаборатории опытного дела) под руководством доктора сельскохозяйственных наук, член-корреспондента РАН, профессора А. И. Иванова. Использованные в докладе данные стационарного полевого опыта получены как лично автором, так и другими сотрудниками лаборатории опытного отдела Агрофизического НИИ, которым автор выражает искреннюю благодарность.

#### **Список литературы / References**

1. Архипов, М. В. Оценка биопотенциала производства продовольствия в Северо-Западном регионе России / М. В. Архипов, А. И. Иванов, Т. А. Данилова и др. СПб. – Пушкин, 2016. 136 с.
2. Кауричев И.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв / И.С. Кауричев, Д.В. Орлов. М.: Колос. 1982. С. 149-160.
3. Качинский, Н. А. Материалы к выяснению вопроса о структуре почвы / Н. А. Качинский М.: АН СССР. – 1933. 254 с.
4. Коротков А.А. О характере почвообразования в пахотных дерново-подзолистых почвах / А. А. Коротков // Почвоведение. 1972. № 4. С. 16-23.
5. Научные основы эффективного использования агресурсного потенциала Северо-Запада России [Под ред. М.В. Архипова]. СПб. – Пушкин, 2018. 135 с.
6. Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помета. [Под общ. ред. А.И. Иванова и В.В. Лапы.] СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. 317 с.

#### **TRANSFORMATION OF ARABLE SOD-PODZOLIC SOIL IN MODERN CONDITIONS**

P. A. FILIPPOV

*Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, agrophys.inst@yandex.ru*

**Abstract.** With the purpose of the search for methods and tools that ensure the highly effective use of fertilizers from the standpoint of economical management of the production process of crops and reproduction of effective soil fertility, the Menkovo branch of Agrophysical Institution has deployed a long-term field experience. The two-factor experience was established in 2006 at medium, well and highly cultivated sod-podzolic soils of sandy loam granulometric composition formed by preliminary application of increased doses of manure (on well and highly cultivated soils) and supporting liming. The first factor in the experiment was the level of cultivation formed by a three-variant scheme of using organic fertilizers, based on the specified parameters of photosynthesis productivity with an output of 2 to 3-4% to the efficiency of the FAR. The second factor was the three-variant scheme of the mineral fertilizer system, which was calculated for each crop. Under these conditions, as a result of a long 12-year experiment, the nature and main patterns of changes in morphological properties of light sod-podzolic soil under the influence of such factors and means of reproduction of soil fertility as the degree of intensity of field crop rotation, intensive and hyperintensive use of organic fertilizers, and also medium and high doses of mineral fertilizers were established. Even with supportive liming and intensive use of organic and mineral fertilizers the soil-forming process being sharply enhanced, has retained its zonal features. The eluvial-illuvial transformation process covered almost the entire thickness of the low-power moraine sediment.

**Keywords.** Fertilizer system, crop rotation, morphological properties, sod-podzolic soil.

## **ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМОВ В СОВРЕМЕННЫХ ЛЕСОКУЛЬТУРНЫХ ЛАНДШАФТАХ ЦЧЗ**

Ю. И. ЧЕВЕРДИН, В. А. БЕСПАЛОВ

ФГБНУ «Воронежский Федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева»

(ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ») Каменная Степь, [cheverdin62@mail.ru](mailto:cheverdin62@mail.ru)

**Аннотация.** Дана оценка изменения содержания продуктивной влаги в современных лесокультурных ландшафтах. Отмечается различия влагообеспеченности почв, обусловленные влиянием лесных полос.

**Ключевые слова.** Лесные полосы, продуктивная влага.

### **Введение**

Влагообеспеченность растений относится к основным факторам способствующих получению высоких и стабильных урожаев [2]. В течение прошлого столетия проведены широкомасштабные работы по развитию агролесомелиорации в южных степных и лесостепных регионах России [1, 3, 4]. Основной целью было изменение влагообеспеченности растений и повышение продуктивности.

Цель исследований – изучить изменение влагообеспеченности почв в современных условиях под влиянием лесных полос.

### **Объекты и методы исследования**

Исследования проведены в Каменной Степи (Воронежский ФАНЦ). В программу исследований входило изучение изменения влажности черноземов под влиянием лесных полос различного назначения: полезащитная лп №40 и прибалочная лесная полоса №72. Бурение ручным буром до глубины 200 см. Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом.

### **Результаты и обсуждение**

В агрономическом отношении наибольший интерес представляют оценка влагозапасов в верхнем корнеобитаемом слое почвы. Старовозрастная полезащитная лесная полоса, расположенная на водораздельном участке, способствовала накоплению и сохранению продуктивной влаги на достаточно высоком уровне. Почвенный профиль вдоль лесной полосы имел некоторые различия по характеру увлажненности. В непосредственной близости от опушечной части (на удалении до 25 м) в слое почвы 0-20 см содержание продуктивной влаги варьировало в интервале 14,2-19,4 мм (рис. 1). По мере удаления от опушечной части отмечается снижение запасов доступной влаги. И наиболее заметное на расстоянии более 50-60 м. Необходимо отметить существенную неравномерность пространственного изменения увлажненности. Более высокие показатели отмечены в центральной части анализируемого участка. На удалении 75 м от лесной полосы запас продуктивной влаги отмечен на уровне 11,2 мм снижаясь до 4,0-7,1 мм на граничных участках. В то же время на удалении 125 м в северо-западной части можно выделить ареал черноземов с запасом влаги до 14,7 мм. На смежных участках содержание влаги не превышало 8 мм. Таким образом, можно отметить существенную пестроту полей по характеру изменения влагозапасов.

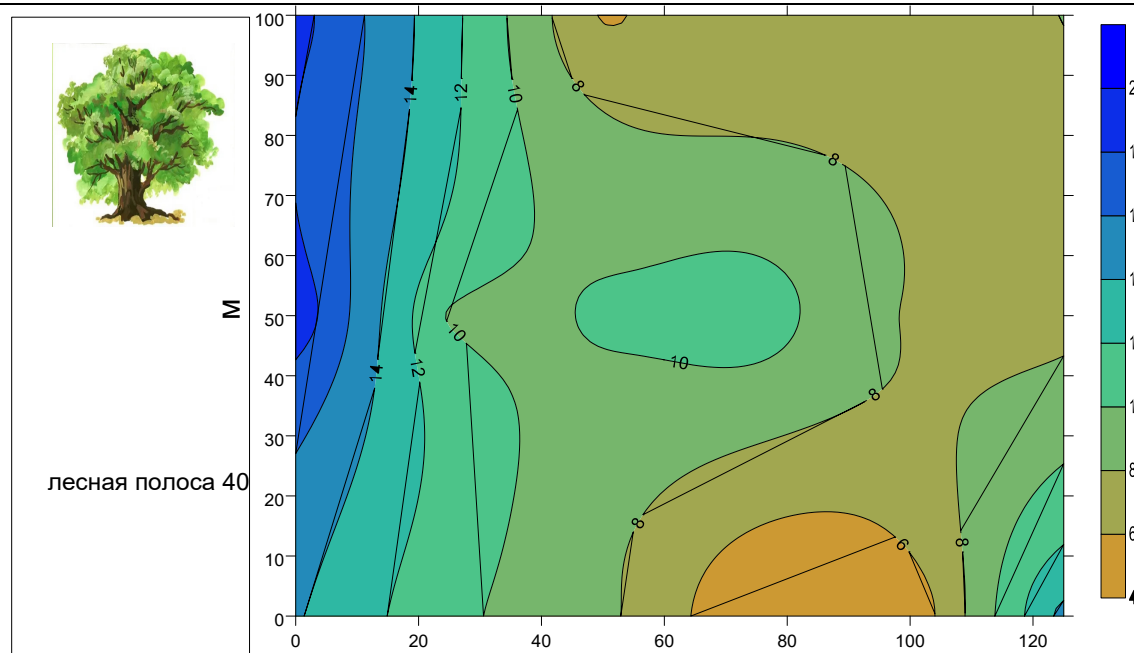


Рис. 1. Пространственное изменение запаса продуктивной влаги в слое почвы 0-20 см по мере удаления от лесной полосы (по оси X – удаленность от лесной полосы, по оси Y – расстояние вдоль лесной полосы). Полезащитная лесная полоса №40

В почвенном профиле на глубине 0-50 см в принципе сохранился такой же характер пространственного изменения запасов продуктивной влаги. Наибольшие значения отмечены в приопушечной части полезащитной лесной полосы с небольшим варьированием в пределах 46,4-53,5 мм. По мере удаления от лесной полосы, в отличие от пахотного горизонта, происходит существенное снижение влагозапасов. На расстоянии 25 м содержание влаги заметно ниже и составляет уже 27,4-29,1 мм. И такой характер изменения влажности сохраняется на расстоянии до 100 м от опушки.

Максимальное содержание продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см, как и для вышележащих почвенных горизонтов, отмечено также в приопушечной части. Но увеличилась неравномерность распределения вдоль лесной полосы. Запас влаги варьировал в пределах от 70,8 до 97,1 мм (рис. 2). На удалении 25 м влагозапасы существенно снижались - до 50,7-64,6 мм. По степени удаления от полезащитной полосы отмечается постепенное снижение количества доступной влаги. На максимальном удалении 125 м ее величина равнялась 30,6-37,2 мм. При этом в северо-западной части участка выделялся ареал с содержанием влаги на более высоком уровне – 62,4 мм.

Совсем другой характер увлажнения отмечен в зоне влияния прибалочной лесной полосы. В пахотном слое почвы 0-20 см в период проведения наблюдений содержание продуктивной влаги было весьма незначительно (рис. 3). По всему участку варьировало в основном пределах от 1 до 3 мм. В приопушечной части содержание влаги несущественно отличалось от открытого пространства. Необходимо в этом случае констатировать довольно заметную разницу во влагообеспеченности по отношению к предыдущему водораздельному участку. Преимущество последнего составляет более 10-15 мм.

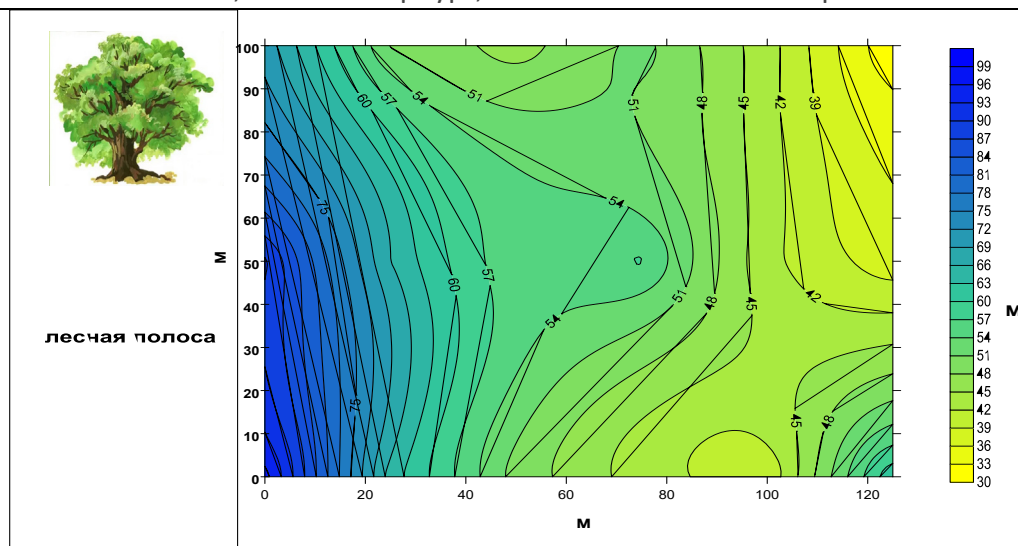


Рис. 2. Пространственное изменение запаса продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см по мере удаления от лесной полосы (по оси X – удаленность от лесной полосы, по оси Y – расстояние вдоль лесной полосы). Полезащитная лесная полоса №40

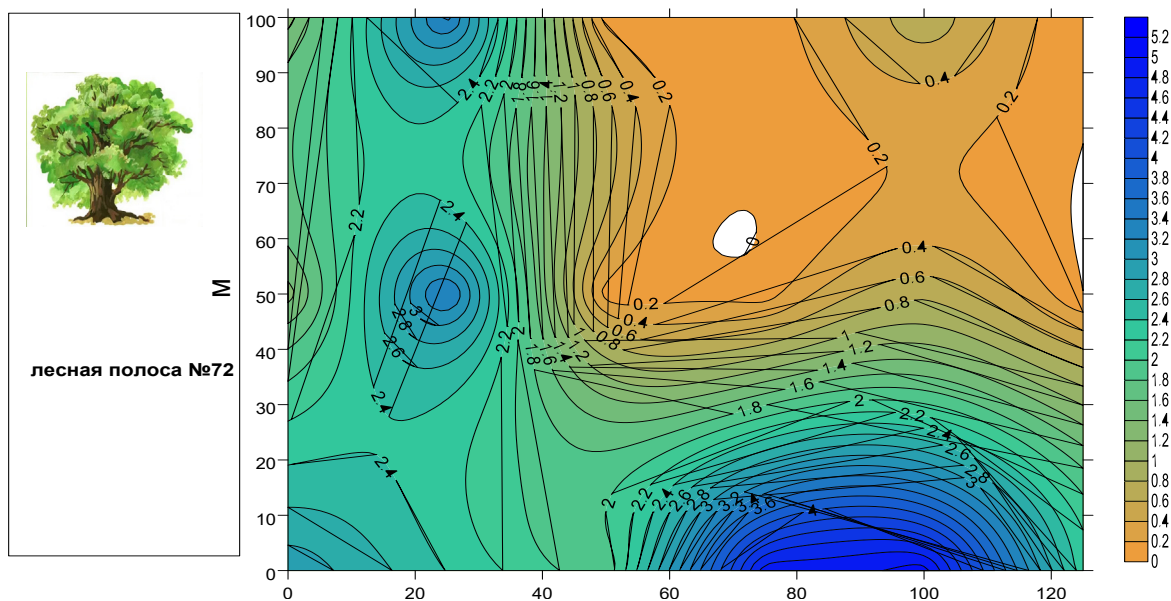


Рис. 3. Пространственное изменение запаса продуктивной влаги в слое почвы 0-20 см по мере удаления от лесной полосы (по оси X – удаленность от лесной полосы, по оси Y – расстояние вдоль лесной полосы). Прибалочная лесная полоса №72

Несколько изменяется характер увлажнения в нижележащих почвенных горизонтах. Отмечается увеличение запасов почвенной влаги на протяжении до 50 м от прибалочной лесной полосы. Содержание влаги варьировало в пределах от 7,1 до 10,8 мм. На удалении более 50 м отмечено существенное снижение количества доступной влаги в слое 0-50 см – до 1-3 мм. Исключением в этом случае является северная часть мониторингового участка. В нем содержание влаги было несколько выше – от 7 до 13 мм.

В середине вегетации во время проведения исследований в метровом слое почвы склонового участка в зоне влияния прибалочной лесной полосы запасы влаги существенным образом уступали водораздельному (плакорному) участку. Содержание продуктивной влаги в приопушечной части на удалении до 50 м на склоне варьировали в пределах 20-28 мм. На

водоразделе под влиянием полезашитной лесной полосы влагообеспеченность была заметно выше – 50-90 мм.

Необходимо отметить довольно заметную пространственную неоднородность по содержанию продуктивной влаги на склоновом участке. На удалении 75м и далее ее величина снижалась до очень низких значений. Количество доступной влаги в слое 0-100см составляло всего 0,7-4,0 мм. Можно констатировать практически полное иссушение почвенной толщи до критических величин.

#### Выводы

В современных условиях приемы агролесомелиорации способствуют сохранению и накоплению почвенной влаги.

В зоне влияния прибалочной лесной полосы отмечается более заметная пространственная неоднородность увлажнения почвенного профиля.

#### Список литературы / References

1. Вавин В.С., Рымарь В.Т., Ахтямов А.Г., Свиридов Л.Т. Создание долговечных защитных насаждений в условиях юго-востока ЦЧЗ. Воронеж, 2007. 240 с. ISBN 978-7994-0287-7.
2. Королев В.А., Громовик А.И., Йонко О.А. Изменение физических свойств почв Каменной Степи под влиянием полезашитных лесных полос // Почвоведение. 2012. № 3. С. 299-308.
3. Кулик К.Н. Защитные лесные насаждения – основа экологического каркаса агротерриторий // Вестник Российской с-х науки. 2018. № 1. С. 18–21.
4. Смирнова М.А., Геннадиев А.Н., Чендев Ю.Г., Ковач Р.Г. Влияние полезашитных лесных насаждений на локальное разнообразие почв (Белгородская область // Почвоведение. 2020. № 9. С. 1031–1042. DOI: 10.31857/S0032180X20090166

#### FEATURES OF THE HYDROLOGICAL STATE OF CHERNOZEMS IN MODERN FOREST AND CULTURAL LANDSCAPES OF THE CENTRAL CHERNOZEM ZONE

YU.I. CHEVERDIN, V.A. BESPALOV

*Voronezh Federal Agricultural Scientific Centre named after V.V. Docuchaev, Russian Federation;*  
*cheverdin62@mail.ru*

**Abstract.** The assessment of changes in the content of productive moisture in modern forest-cultural landscapes is given. There are differences in soil moisture availability due to the influence of forest strips.

**Keywords.** Forest strips, productive moisture.

## **АГРОФИТОЦЕНОЗ СОИ: ДИНАМИКА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ЗАСУХАХ**

О. А. ХАРЧУК

*Институт генетики, физиологии и защиты растений,  
Кишинев, oleg.harciuc@igfpp.md*

**Аннотация.** Приводятся данные по динамике влажности почвы в некоторых ценозах сои в 2018-2020 гг. Дан анализ данных при последовательных засухах 2019 и 2020 года как фактора экстремальной засухи 2020 года.

**Ключевые слова.** соя, агрофитоценоз, влажность почвы.

### **Введение**

Недостаток влаги в почве является основным абиотическим фактором, который может приводить к значительным потерям урожая при выращивании сои. В полевых условиях в связи со способностью корней растений сои достигать глубины 150 см (Mayaki et al., 1976), существенную роль в водном балансе ценоза сои могут играть глубокие почвенные горизонты (Харчук, 2019). Цель настоящей работы - изучить влагообеспеченность агрофитоценозов сои на фоне уменьшающегося в течении нескольких лет количества годовых осадков и приближения сильной засухи.

### **Объекты и методы исследования**

Эксперименты проводили в Кишиневе, Республика Молдова, на территории Научно-экспериментальной базы Института генетики, физиологии и защиты растений (ИГФЗР). Объектами исследования служили растения сои *Glycine max* L. (Merr.) сорта Амелина (2019 - сорт Аура), районированные в Республике Молдова. Полевые эксперименты проводили на демонстрационных полях ИГФЗР при традиционной технологии, плотность 40 растений м<sup>-2</sup>.

Пробы почвы для определения влажности отбирали в слое 0-150 см ручным буром АМ-26, с интервалом 10 см. Гравиметрическую влажность почвы определяли сушкой при 105 ° С до постоянного веса (Black, 1965). Отборы образцов для определения влажности почвы проводили при посеве и при уборке урожая.

### **Результаты и обсуждение**

Типичное для многолетнего периода (2001-2018 гг.) количество осадков в Молдове за период сентябрь-апрель составляет 307 ± 10 мм. Количество осадков (сентябрь-апрель, «период накопления влаги в почве») в 2017/2018 было 306,2 мм, что соответствует средней величине за многолетний период. В динамике последних лет (2019 и 2020) количество осадков (сентябрь-апрель) снижалось: 2018/2019 - 179,4 мм; 2019/2020 - 117,6 мм.

В таблице 1 приведены данные разных лет по гравиметрической влажности почвы в слое 0-150 см при севе сои. Влажность почвы в слое 0-150 см при севе сои в 2018 году практически эквивалентна величинам влажности почвы, определенным на 29 лет раньше (1989 г.). В 2019 и 2020 гг. при севе снижалась и влажность почвы в слое 0-150 см (Таблица 1). Перед посевом-2020 влажность почвы на всех глубинах значительно ниже, чем в предыдущие годы. В первом полуметре влажность почвы на 5-6% ниже значений прошлых лет.

Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference  
**“Agrophysics Trends: from actual challenges in arable farming and crop production towards advanced technologies”**

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

September 14-15, 2021

Таблица 1. Влажность почвы в поле при посеве сои в разные годы (1989, 2018-2020 гг.).

Слой почвы, см	Влажность почвы (% от сухого веса) при севе сои в разные годы			
	1989 (май, 5)	2018 (май, 7)	2019 (май, 25)	2020 (май, 20)
0-10	16,4	12,4 ±3,1	17,1 ±0,9	11,0 ±2,3
10-20	17,3	17,1 ±0,1	18,8 ±0,5	15,2 ±0,2
20-30	16,7	17,9 ±0,2	17,8 ±0,4	14,2 ±0,4
30-40	18,6	18,1 ±0,1	17,1 ±0,1	13,0 ±0,4
40-60	19,4	20,2 ±0,3	18,3 ±0,1	13,2 ±0,1
60-80	19,8	20,6 ±0,0	17,9 ±0,1	13,1 ±0,4
80-100	19,6	20,0 ±0,1	17,0 ±0,3	11,1 ±0,2
100-120	-	19,3 ±0,4	16,8 ±0,1	12,1 ±0,2
120-140	-	17,8 ±0,1	16,4 ±0,3	-
140-150	-	17,9 ±0,1	16,8 ±0,4	11,8 ±0,1

В таблице 2 приведены данные разных лет по гравиметрической влажности почвы в слое 0-150 см при уборке урожая сои.

Сильная засуха 2020 года, очевидная по влажности почвы при уборке урожая, имела предвестником влажность почвы уже при севе. Данные Таблиц 1 и 2 свидетельствуют, что отличие засушливого 2020 года от предыдущих лет (2018 и 2019) заключается как во влажности поверхностного слоя 0-40 см (13,4±0,9% при севе против 16,4±1,3% и, соответственно, 17,7±0,4%; 6,1 ±1,6% при уборке против 10,3±1,6% и, соответственно, 10,4±1,0%), так и во влажности глубоких, ниже 60-100 см, почвенных горизонтов. Отличие засушливого 2020 года от предыдущих лет (2018 и 2019) наиболее выражено в пониженной влажности глубоких, слой 60-100 см (12,1±1,0% при севе против 20,3±0,3% и, соответственно, 17,4 ±0,4%; 10,4±1,3% при уборке против 15,0 ±0,4% и, соответственно, 11,6±0,8%), т.е. при севе ниже на 8,2 и 5,3%, а при уборке ниже на 4,6 и 1,2%. По влажности самых глубоких, слой 100-150 см, влажность почвы в 2020 году при севе 12,0 ±0,2%, а при уборке 9,1±0,4% против 2018 и 2019 лет (при севе 18,3±0,5% и 16,7±0,1%; при уборке 13,0±0,2% и 10,4±0,3%), т.е. при севе ниже на 6,3 и 4,7%, а при уборке ниже на 3,7 и 1,3%.

Засуха 2019 года осталась незамеченной по той причине, что выражена она была не в поверхностном слое почвы 0-40 см (что соответствует пахотному горизонту и зоне наибольшей активности корневой системы сои), а в глубоких (вплоть до 150 см) почвенных горизонтах. Данные Таблиц 1 и 2 свидетельствуют, что отличие 2018 года («влагообеспеченного» при севе) от 2019 года («засушливого» при севе) заключается не во влажности поверхностного слоя в слое 0-40 см (при севе 16,4±1,3% и, соответственно, 17,7±0,4%; при уборке 10,3±1,6% и, соответственно, 10,4±1,0%), а во влажности глубоких, 60-100 см, почвенных горизонтов.

Отличие 2018 года («влагообеспеченного» при севе) от 2019 года («засушливого» при севе) преимущественно заключается во влажности глубоких, слой 60-100 см (при севе 20,3±0,3% и, соответственно, 17,4±0,4%; при уборке 15,0±0,4% и, соответственно, 11,6±0,8%), т.е. выше на 2,7 и 3,4%. По влажности самых глубоких, слой 100-150 см, влажность почвы в 2018 году («влагообеспеченному» при севе) по сравнению с 2019 годом («засушливому» при севе) тоже больше, на 1,6-2,6% (при севе 18,3±0,5% против 16,7±0,1%; при уборке 13,0±0,2% против 10,4±0,3%).

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица 2. Влажность почвы в поле при уборке урожая сои в разные годы (2018-2020 гг.).

Слой почвы, см	Влажность почвы (% от сухого веса) при уборке урожая сои в разные годы		
	2018 (сентябрь, 11)	2019 (сентябрь, 6)	2020 (сентябрь, 15)
0-10	6,6±0,0	7,5±0,4	2,9 ±0,3
10-20	8,9±0,4	10,5±0,4	3,90,6
20-30	12,0±0,1	11,0±0,3	8,2±0,8
30-40	13,6±0,1	11,0±0,3	9,3±0,3
40-60	15,8±0,0	12,5±0,0	11,5±0,4
60-80	15,4±0,1	10,8±0,1	11,7±0,3
80-100	14,5±0,1	10,6±0,4	9,1±0,4
100-120	13,5±0,1	10,6±0,1	8,5
120-140	12,8±0,1	9,8±0,3	9,0
140-150	12,7±0,0	10,8±0,2	9,7

Различия по годам исследований (2018, 2019 и 2020) во влагообеспеченности ценозов сои отразились на агрономической эффективности использования воды (ЭИВ), величина которой в динамике лет исследований 2018 → 2019 → 2020 уменьшалась от 0,8 до 0,3 г зерна сои на 1 кг затраченной (по эвапотранспирации) воды. Средняя величина агрономической ЭИВ для сои составляет 0,6-1,0 г зерна сои на 1 кг затраченной (по эвапотранспирации) воды (Sadras, 2012). При сильной засухе ЭИВ сои снижается (Liu et al., 2005; Dietzel et al., 2016). Хотя при высокой влагообеспеченности (выше оптимума при ЭТ 318 мм) ЭИВ сои также снижается (Dietzel et al., 2016), полученные нами в 2019 и 2020 годах пониженные величины ЭИВ относительно типичной величины 0,6-1,0 следует отнести к условиям засухи, особенно сильной в 2020 году.

Информативность влажности глубоких (глубже 60 см) горизонтов для прогноза сильной засухи может вызываться тем, что корни растений сои в поле достигают глубины порядка 150 см.

### Выводы

Учет влажности глубоких (глубже 60 см) горизонтов может быть средством прогноза сильной засухи. Наиболее информативным является учет влажности в слое 60-100 см. Полезным может быть и учет влажности почвы в более глубоких (100-150 см) горизонтах.

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.7007.16 «Синергизм между природными факторами и экологически безвредными микробиологическими средствами регулирования плотности популяции вредителей для защиты сельскохозяйственных культур в традиционном и органическом сельском хозяйстве», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.



---

**Список литературы / References**

- Харчук О.А. Вклад воды глубоких почвенных горизонтов в сезонное водопотребление ценоза сои. Евразийский Союз Ученых. 2019, 6 (63), ч. 5, стр. 25-28. <https://www.doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.5.63.180>
- Black C.A. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin (USA), 1965.
- Dietzel R., Liebman M., Ewing R., Helmers M., Horton R., Jarchow M., Archontoulis S. How efficiently do corn- and soybean-based cropping systems use water? A systems modeling analysis. // *Global Change Biology*. Vol. 22 (2). P. 666-681. <https://doi.org/10.1111/gcb.13101>
- Mayaki W.C., Teare I.D., Stone L.R. Top and Root Growth of Irrigated and Nonirrigated Soybeans. // *Crop Science*, 1976. Vol. 16 (1). P. 92–94.
- Liu F., Andersen M.N., Jacobsen S.-E., Jensen C.R., 2005. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during progressive soil drying. // *Environmental and Experimental Botany*. 2005. Vol. 54 (1), P. 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.05.002>
- Sadras V.O. Status of water use efficiency of main crops. SOLAW Background Thematic Report - TR07. FAO (Australia, USA, Italy). 2012. 41 p. [https://www.researchgate.net/publication/230626092\\_Status\\_of\\_Water\\_Use\\_Efficiency\\_of\\_Main\\_Crops](https://www.researchgate.net/publication/230626092_Status_of_Water_Use_Efficiency_of_Main_Crops)

**SOYBEAN FIELD: SOIL MOISTURE DYNAMICS UNDER FOLLOWING DROUGHTS**

O. A. KHARCHUK

*The Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection,  
Kishinev, oleg.harciuc@igfpp.md*

**Abstract.** The data 2018-2020 on the dynamics of soil moisture in some soybean cenoses are presented. The analysis of data for successive droughts of 2019 and 2020 as a factor of extreme drought in 2020 is given.

**Keywords.** Field soybean, soil moisture.

## МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ АГРОФИЗИЧЕСКИХ, АГРОХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ВЫРАБОТАННОГО ТОРФЯНИКА

Т.Ю. АНИСИМОВА

*Всероссийский НИИ органических удобрений и торфа – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», ул. Прянишникова, 2, п. Вяткино, Судогодский р-н, Владимирская область, 601390, Российская Федерация*

**Аннотация.** Представлены результаты мониторинга изменения некоторых почвенных свойств торфяника за 20-летний период. Представлены результаты геоботанического обследования торфяного массива, которое проведено впервые. Определено влияние действия биотических и абиотических факторов на изменение агрохимических характеристик антропогенно-преобразованной торфяной почвы. В зависимости от степени выработанности его возможно использовать под кормовые угодья (выращивание многолетних трав), на участках (картах) с достаточным для этих целей запасам низинного торфа после расчистки каналов и отведения излишков воды, кроме возделывания многолетних трав, возможна добыча торфа для производства органических удобрений (компостов).

**Ключевые слова.** Мониторинг, мелкоконтурный выработанный торфяник, болотные почвы, растительность.

### Введение

На территории Российской Федерации находится 9260 мелкоконтурных (до 10 га) торфяных месторождений, которые занимают площадь 108,6 тыс. га в нулевой границе залежи [1]. Наибольшее количество мелкозалежных и мелкоконтурных торфяников расположено в Северо-Западном, Центральном и Приволжском федеральных округах. Так, в Центральном федеральном округе из 7287 разведанных месторождений 2390 – мелкоконтурные, 1298 – мелкозалежные и охраняемые, т.е. почти половина. На территории Владимирской области из 723 торфяных месторождений 421 – месторождения площадью от 1 до 10 га, на которых разведанные запасы торфа по сумме категорий А+В+С1 и С2 (144 месторождений) и прогнозные ресурсы по категории Р1 (277 месторождений) составляют 4277 тыс. т. [2]. Так как мелкоконтурные торфяники в основном расположены ближе к краям полей с минеральными почвами и примыкают к лесу, их использование в сельскохозяйственном производстве имеет свои особенности, и связано с особенностями торфяных почв. В настоящее время такие месторождения в основном заброшены и зарастают лесом. Появление нарушенных ландшафтов приводит к негативным изменениям растительного и почвенного покрова, водного и температурного баланса территории, состава почвы, сточных вод, а также к развитию водной и ветровой эрозии. При этом происходит трансформация лесолугового агроландшафта с доминированием видов луговых растений в постболотные лесо-кустарниково-разнотравно-осоковые ландшафты со значительным участием вторичных лесных фитоценозов [3].

### Объекты и методы исследования

Исследования проведены на Байгушском торфяном месторождении, которое относится к торфо-болотному району Мещерская низменность [4] и расположено в 1,5 км на северо-восток от д. Байгуши Судогодского района Владимирской области. В 1963–65 гг. массив использовали для добычи торфа на удобрение. До разработок мощность торфяного слоя в среднем составляла 109 см (максимальная – 140 см), а уже в 1975 г. – не более 40–50 см. В 1970-е годы торфяник стали использовать под сенокос. Согласно данным геологоразведки 1977 г., тип торфяной залежи был определен как переходный (А – 15,4%, R – 45%). Общая площадь торфяного массива составляла 13,8 га, запасы торфа 30 тыс. м<sup>3</sup> (или 6 тыс. т при 40%-й влажности) [5]. Для мониторинга изменения и мониторинга состояния агрохимических, биологических и агрофизических свойств почв мелкоконтурного торфяника проведено экспедиционное почвенно-агрохимическое обследование торфяного массива с использованием специальных методик [6]. В 1990-е гг. в сельскохозяйственном использовании находилось 20–25% площади торфяника - I и II торфяные

карты, на которых в основном возделывали зерновые и кормовые культуры, в настоящее время на них торф почти полностью сработан. Торфяник на территории карт III, IV и V частично сработан и в настоящее время полностью заброшен. По данным космической съёмки 2017 г. площади карт составляют: I – 1,62 га, II – 1,61 га, III – 1,4 га, IV – 2,24 га, V – 2,58 га. Агрохимические параметры почвы объекта определяли в соответствии с ГОСТами, нитрифицирующую способность по методу Кравкова, целлюлозолитическую активность – аппликационным методом, плотность и плотность твердой фазы почвы – весовым методом [6, 7, 8]. Геоботаническое обследование проводили в биогеоценозах 15 локаций в границах пяти торфяных карт, которое состояло в определении видов растений и их обилия по шкале Друде [9]. В настоящий момент геолокация точек обследования закреплена в системе координат.

Цель исследований – проведение мониторинга влияния действия биотических и абиотических факторов на изменение агрохимических и других характеристик антропогенно-преобразованной торфяной почвы в зависимости от состояния использования сработанных торфяниках для получения данных для разработки эффективных рациональных приемов и технологий использования выработанных и заброшенных торфяников.

### **Результаты и обсуждение**

В результате наблюдений установлено изменение содержания основных биогенных элементов более за 20-летний период (с 1998 г.). В наибольшей степени изменилось содержание подвижного фосфора и обменного калия. Так, на I карте в слое почвы 0–80 см содержание подвижного фосфора и обменного калия изменилось незначительно, что можно объяснить тем, что территория карты была длительное время в сельхозиспользовании, применялись минеральные удобрения. Площади остальных карт были заброшены с середины 90-х гг., весной они в основном находятся под водой, в сухие годы в сельхозпроизводстве частично использовалась территория II карты для выращивания зерновых культур. В почве карты V в слое от 0 до 80 см отмечена тенденция к увеличению содержания подвижного фосфора, что можно объяснить в отсутствие удобрений, его биогенным характером накопления, так как фосфор, что доказано исследованиями Т.Н. Кулаковской (1980), А.Н. Уланова (2005) и др., обладает крайне слабой миграционной способностью, при этом вымывается не более 3–5% его общих запасов. Во многих работах показано, что на мелкозалежных слабо- и среднеразложившихся торфяниках при промывном водном режиме и высоком стоянии грунтовых вод фосфор может проникать в подпахотные и нижележащие слои [3,6], что также подтверждают и наши наблюдения. В отличие от подвижного фосфора, накопления обменного калия в почве карт IV–V в слоях от 0 до 80 см не наблюдалось ввиду его большой подвижности и интенсивного потребления растениями, особенно в слое почвы 30–40 см, где расположены корни кустарников и деревьев. Показатель кислотности почв торфяного массива в слое от 0 до 80 см изменился незначительно.

Различие данных по определению биологических и агрофизических свойств почвы торфяника можно объяснить различием в степени окультуренности изучаемых почв и величиной остаточного слоя торфа на картах. Показатели нитрифицирующей способности верхнего слоя почвы снижались с увеличением мощности торфа, целлюлозолитическая активность и порозности (пористости), наоборот, повышалась. С возрастанием мощности торфа показатели плотности почвы снижались с 1,18-1,8 до 0,68-0,81 г/см<sup>3</sup>, в этой зависимости находятся показатели плотности твердой фазы.

Растительный покров является важной характеристикой торфяного месторождения. В ходе экспедиционного геоботанического обследования было определено 80 видов растений и их обилие по шкале Друде в биогеоценозах 15 условных реперных точек (локаций) в границах пяти

торфяных карт. По результатам обследования объекта были установлены преобладающие типы и виды растительности (рис.).

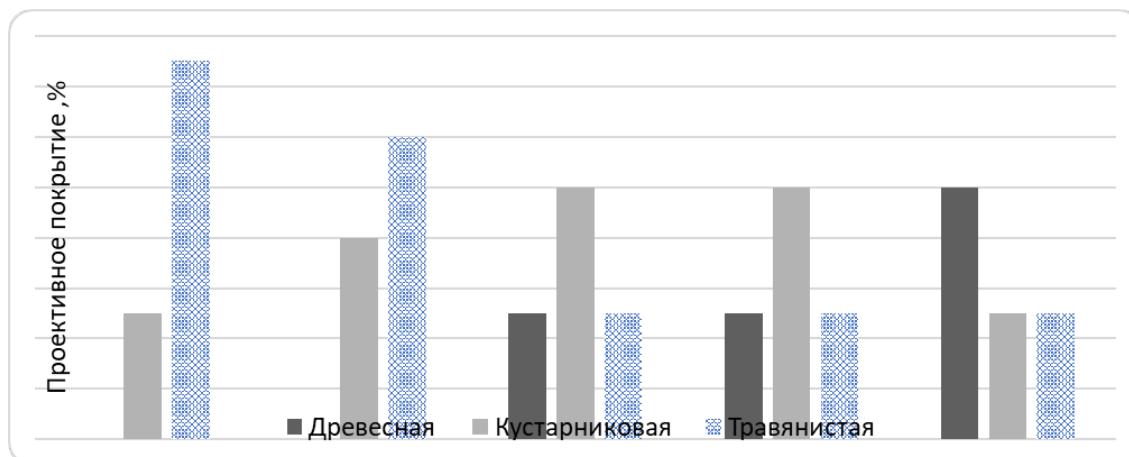


Рис. Типы растительности на картах

Было установлено, что зарастание поверхности выработанного торфяника древесно-травянистой растительностью в значительной степени зависело от мощности остаточного торфа. На участках полностью и сильносработанных (мощность торфа не более 50 см) и выбывших из сельскохозяйственного использования в середине 90-х годов прошлого века сформировался лес, с присущей ему многоярусностью: основную массу древесной растительности составляет береза повислая (15-22 м), рябина обыкновенная (2-4 м), сосна обыкновенная (до 3 м); кустарники представлены в основном ивами. На картах, находящихся длительное время под водой, травянистая растительность представлена влаголюбивыми растениями, т.н. болотными фитоиндикаторами: осоки, пушицы, вейники и др.

## Выводы

1. В ходе проведения почвенно-агрохимического обследования пяти карт торфяника установлены определенные изменения его свойств. Содержания подвижного фосфора за 20-летний период заметно возросло в слое почвы 0-80 см на пятой карте, что обусловлено в большей степени как крайне слабой его миграционной устойчивостью, так и способностью проникать в нижележащие слои при промывном водном режиме. Содержание обменного калия значительно снизилось в почве четвертой и пятой карт ввиду его большой подвижности и интенсивного потребления растениями, особенно в слое почвы 30–40 см, где расположены корни кустарников и деревьев.
2. В ходе мониторинга состояния выработанного мелкоконтурного торфяника установлена прямая связь между мощностью остаточного слоя торфа и целлюлозолитической активностью и пористостью почвы, обратная связь – между мощностью слоя торфа и нитрифицирующей способностью и плотностью почвы.
3. На сработанных участках растительность представлена в основном разнотравьем и кустарником, что можно объяснить довольно длительным использованием карт в сельскохозяйственном производстве. На среднесработанных участках преобладает кустарниково-древесная растительность, при мощности слоя торфа более 30 см на затопляемых участках доминируют осоки и пушица.
4. В результате исследований были получены новые данные по изменению свойств почв заброшенного выработанного торфяника за двадцатилетний период для разработки теоретических и технологических основ высокоэффективного, ресурсосберегающего

сельскохозяйственного торфопользования в зависимости от длительности и направления сельскохозяйственного использования: площади первой и второй карт возможно использовать под кормовые угодья (выращивание многолетних трав), на территории карт III–V после расчистки каналов и отведения излишков воды, кроме возделывания многолетних трав, возможна добыча торфа для производства органических удобрений (компостов) благодаря достаточным для этих целей запасам низинного торфа.

#### Список литературы / References

1. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2008 года. Вып. 96. Торф. М.: Российский федеральный геологический фонд, 2008. 204 с.
2. О состоянии окружающей среды и здоровья населения Владимирской области в 2017 году: ежегодный доклад. Вып. 25 / Администрация Владим. обл., Департамент природопользования и охраны окружающей среды. – Владимир: Транзит-ИКС, 2018. – 118 с.
3. Уланов А.Н. Агроэкологическая и биоресурсная оценка постболотных агроландшафтов / В сб. БОЛОТА И БИОСФЕРА: Материалы Всероссийской с международным участием X школы молодых ученых. 2018. С. 107–106.
4. Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 488 с.
5. Торфяные месторождения Владимирской области по состоянию изученности на 1 января 1977 г. М.: Министерство геологии РСФСР. Трест геолторфразведка, 1978. 368 с.
6. Семененко Н.Н. Агрехимические методы исследования состава соединений азота, фосфора и калия в торфяных почвах. – Минск: Беларус. Навука, 2013. 78 с.
7. Кулаковская Т.Н., Богдевич Н.М., Ярошевич М.И. [и др.] Методы определения оптимальных параметров агрохимических свойств, отражающих разную степень окультуренности и продуктивности почвы / Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв. – Науч. тр. Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. М., 1980. С. 5–15.8.
8. Федорец, Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.
9. Сукачев В.Н., Лавренко Е.М. Краткое руководство для геоботанических исследований в связи с полезационным лесоразведением и созданием устойчивой кормовой базы на юге Европейской части СССР. Е.М. М.: Изд. АН СССР, 1952. 190 с.

#### MONITORING OF THE STATE OF AGROPHYSICAL, AGROCHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS OF PRODUCED PEAT

T.YU. ANISIMOVA

*All-Russian Research Institute of Organic Fertilizers and Peat (VNIIOU) - a branch unit of «Upper Volga Federal Agrarian Research Centre», 601390 Vyatkino, Sudogda raion, Vladimir oblast, Russia*

**Abstract.** The article presents the results of monitoring the changes of some agrochemical soil indices of peat deposit for the 20-year period. The results of a geobotanical survey of a peat array, which held for the first time are presented. The influence of the action of biotic and abiotic factors on the change of agrochemical characteristics of anthropogenically transformed peat soils. According from degree of clarity it is possible to use it under fodder grounds (cultivation of long-term herbs), on sites (cards) with sufficient for these purposes to reserves of low-lying peat after clearing of channels and assignment of surplus of water, except cultivation of long-term herbs, extraction of peat for production of organic fertilizers (composts) is possible.

**Keywords.** Small-contour developed peat bog, peatlands, monitoring, vegetation.

---

**СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,  
УПРАВЛЯЕМОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ»**

---

**ОЦЕНКА ЭРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ МАТВЕЕВО-КУРГАНСКОГО РАЙОНА  
РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)**

О.С. БЕЗУГЛОВА, В.Э. БОЛДЫРЕВА, Р.О. ЖОЛУДЕВ, Ю.А. ЛИТВИНОВ, А.А. МЕЖЕНКОВ  
*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, aotpo.nfhfolpc@yandex.ru*

**Аннотация.** Эрозия почв представляет серьезную опасность, поскольку является одной из главных причин снижения уровня почвенного плодородия сельскохозяйственных угодий, в том числе в Ростовской области. Выявление эрозионно-опасных участков позволяет провести инвентаризацию земель, подвергающихся водной и ветровой эрозии почв, и своевременно проводить мероприятия по предотвращению деградации почв.

**Ключевые слова.** Водная эрозия, ГИС-технологии, цифровая почвенная картография, уклон местности, морфометрический анализ, пространственный анализ, анализ почвенных данных, эрозионно-опасные земли, векторизация карт.

**Введение**

В последние несколько лет актуальным является вопрос рационального использования почвенных ресурсов Российской Федерации и одновременно повышения интенсивности сельскохозяйственного производства. Для реализации эффективных и сбалансированных управленческих действий для решения этих задач требуется применение современных компьютерных технологий, в том числе, с использованием геоинформационных систем (Кирюшин, 2006, 2016; Сычев, 2008).

ГИС-технологии в области картографирования и оценки процессов почвенной эрозии применяют в ряде регионов страны для решения задач охраны и рационального использования земельных ресурсов.

Анализ рельефа территории исключительно важен для жизнедеятельности человека, что связано с многоаспектностью влияния рельефа на многие особенности состояния природной и антропогенной среды. Характеристики рельефа являются определяющим условием для хозяйственного использования территории. Они могут благоприятствовать или, наоборот, ухудшать уровень почвенного плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

**Объекты и методы исследования**

Матвеево-Курганский район Ростовской области представлен слабоволнистым и равнинным рельефом, но в тоже время значительная площадь представлена территорией, занимаемой отрогами Донецкого кряжа, что предопределяет их уязвимость перед водной эрозией. Предпосылкой развития эрозионных процессов являются и лессовидные суглинки, залегающие на коренных породах. Они характеризуются высокой пористостью, и это способствует формированию суффuzionно-просадочных и эрозионных форм рельефа. Отсюда развитая овражно-балочная сеть, наличие эродированных почв, широкое распространение неполноразвитых почв и выходов плотных пород. В связи с этим, Матвеево-Курганский район Ростовской области является наиболее показательным для выявления эрозионной опасности земельных участков.

Для дальнейшей работы с информацией, представленной в виде растровых изображений, были использована методика векторизации архивных материалов почвенного обследования.

Векторизация почвенных карт производится после формирования реестра почвенных ресурсов и после разработки структуры атрибутивных данных электронных разномасштабных почвенных карт (картосхем) для исследуемой территории. (Крыщенко, 2010; Голозубов, 2013).

Методика векторизации архивных почвенных карт состоит из следующих этапов: инвентаризация материалов почвенного обследования, обработка сканированных изображений в графическом редакторе, геореференсация и векторизация почвенных карт, внесение атрибутивной информации, проверка качества оцифрованной почвенной карты.

### **Результаты и обсуждение**

В рамках работы по инвентаризации были изучены легенды и очерки среднемасштабного почвенного обследования (1:100 000) и составлен перечень, отражающий их комплектацию и наполнение. Районная почвенная карта Матвеево-Курганского района Ростовской области означенного масштаба содержит легенду, в которой представлено 44 почвенных наименования. Легенда почвенной карты исследуемого района несет информацию о наименованиях почвенных выделов, гранулометрическом составе, почвообразующих породах и условиях залегания почв по элементам рельефа. Для материалов среднемасштабного почвенного обследования проведен анализ наименований почвенных выделов. Авторские, местные и устаревшие наименования были сопоставлены с классификацией почв СССР 1977 года (Голозубов, 2013). На основе полученных данных составлен классификатор почв Матвеево-Курганского района Ростовской области. Архивные материалы почвенного обследования были оцифрованы по методике, разработанной на базе Московского государственного и Южного федерального университетов (Голозубов, 2020).

Наиболее распространенные почвы для территории Матвеево-Курганского района Ростовской области – черноземы (84,9 %). Значительную площадь занимают почвы балок, лугово-черноземные почвы, дерново-намытые, черноземы неполноразвитые, которые занимают 14,3 % территории района.

На основе цифровой почвенной карты была построена картосхема форм рельефа Матвеево-Курганского района Ростовской области. На склоны и водоразделы приходится 78,5 % территории. Надпойменные террасы и днища балок занимают 14,4 % территории. Доля других форм рельефа для территории района незначительна.

Для картографирования и оценки эрозионно-опасных земель был проведен морфометрический анализ рельефа на основе цифровой модели высот SRTM 90 м (O’Loughlin, 2016). Для исследуемой территории Матвеево-Курганского района были составлены картосхемы экспозиции и крутизны склонов.

Большая часть склонов исследуемой территории имеет южную и северную экспозицию (по 19 %). Наименьшую площадь занимают склоны восточной экспозиции (7 %).

На территории Матвеево-Курганского района 32 % общей площади территории имеют 1–2° уклона местности. В Матвеево-Курганском районе практически нет склонов с уклоном более 6°, так как на долю склонов от 0° до 6° приходится 91,6 % от общей площади исследуемого объекта. Крутые склоны (>15°) занимают менее 1 % территории.

Для оценки почвенных данных на основе исходных материалов, необходимо создание карты эрозионно-опасных земель. Благодаря разделению наименований на таксономические единицы имеется возможность выполнить пространственный анализ на основе цифровой почвенной карты.

В качестве атрибутивных данных для выделения эрозионно-опасных земель были использованы: степень проявления плоскостной водной эрозии, тип и подтип почвы, мощность гумусовых горизонтов, материнская порода. На основе данных таблицы атрибутов были сформулированы запросы и проведено выделение эрозионно-опасных участков.

Большую часть Матвеево-Курганского района занимают слабосмытые почвы – 73479,3 га (59,9 %). На долю среднесмытых почв приходится 21356,9 га (17,4%). Процессы эрозии на данных

территориях могут прогрессировать, что предопределяет их отнесение к эрозионно-опасным землям, поэтому обработка почвы с помощью агротехники должна производиться строго по регламентированным документам.

Также для выделения эрозионно-опасных участков были использованы данные по рельефу, приведенные в легенде почвенной карты Матвеево-Курганского района Ростовской области. В качестве критериев выборки использовались средние и нижние части пологих и слабологих склонов. Площади с обнажениями плотных пород и почвами балок составляет 8021,0 га (4,2 %), их также следует относить к потенциально опасным эрозионным землям.

На основе общедоступного набора геоинформационных данных, с помощью цифровой модели высот SRTM 90 м выполнялся анализ для создания картосхемы уклона местности пахотных земель исследуемого объекта. В большинстве случаев уклоны пахотных почв Матвеево-Курганского района Ростовской области составляет 1–3°. Площадь подобных территорий составляет 122716,4 га (72,6 %). Практически во всех случаях среднесмытые почвы занимают склоны овражно-балочной сети и имеют относительный уклон местности 3–5°. На долю данных территорий приходится 32249,9 га (19,1 %) от общей площади исследуемого объекта.

#### **Выводы**

Выполнен сбор и анализ первичных картографических материалов о почвенном покрове территории Матвеево-Курганского района Ростовской области из открытых источников. На основе собранной информации составлен список материалов, характеризующих их наполнение и степень детализации. Проведена оцифровка материалов среднемасштабного почвенного обследования территории исследования. Это позволило составить унифицированный список-классификатор почв Матвеево-Курганского района и цифровую почвенную карту. А также составлены список-классификатор и цифровая карта форм рельефа. На основе этих материалов для исследуемой территории была составлена картосхема земель, подверженных плоскостной водной эрозии.

#### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность директору ФГБУ ГЦАС «Ростовский» Ольге Георгиевне Назаренко за предоставление архивных материалов почвенного обследования территории Матвеево-Курганского района Ростовской области.

#### **Список литературы / References**

1. Голозубов О.М. Принципы создания почвенно-географического электронного атласа Ростовской области как многофункциональной справочно-аналитической системы: Автореферат дисс. ... канд. биол. наук по спец. 03.02.13. Ростов-на-Дону, 2013. 24 с.
2. Голозубов О.М., Литвинов Ю.А., Колесникова В.М. Методическое пособие «Векторизация крупномасштабных почвенных карт». Электронная версия. М., 2020. 72 с.
3. Кирюшин В.И. В.В. Докучаев и современная парадигма природопользования // Почвоведение, 2006. № 11. С.1285-1293.
4. Крыщенко В.С., Голозубов О.М. Проблемы почвенного мониторинга агроландшафтов: структура и модель данных // Агрехимический вестник. 2010. №. 5. С. 2–6.
5. Сычев В.Г., Ефремов Е.Н., Романенков В.А. Состояние и перспективы мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и рационального использования потенциала почвенного плодородия// Проблемы агрохимии и экологии. 2008. № 4. С. 42–46.
6. O'Loughlin F.E., Pavia R.C.D., Durand M., Alsdorf D.E., Bates P.D. A multi-sensor approach towards a global vegetation corrected SRTM DEM product // Remote Sensing of Environment. 2016. Vol. 182. P. 49–59.



**ASSESSMENT OF EROSION HAZARD OF AGRICULTURAL LANDS USING GIS TECHNOLOGIES (ON THE  
EXAMPLE OF THE MATVEEVO-KURGANSKY DISTRICT OF THE ROSTOV REGION)**

O. S. BEZUGLOVA, V. E. BOLDIREVA, R.O. ZHOLUDEV, Y.A. LITVINOV, A.A. MEZHENKOV

*Southern Federal University, Rostov-on-Don, aotpo.nfhfolpc@yandex.ru*

**Abstract.** Soil erosion is a serious danger, since it is one of the main reasons for the decline in the level of soil fertility of agricultural land, including in the Rostov region. The identification of erosion-hazardous areas allows for an inventory of lands subject to water and wind erosion of soils, and timely implementation of measures to prevent soil degradation.

**Keywords.** Water erosion, GIS technology, digital soil cartography, surface slopes, Morfomtricheskiy analysis, spatial analysis, analysis of soil data, erosion-dangerous lands, vectorization map.

## ТЕХНОЛОГИЯ ЕЖЕДНЕВНОГО МОНИТОРИНГА ВЛАЖНОСТИ ПАХОТНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ НА ОСНОВЕ ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА ВЛАГОЗАПАСА В ПОЧВЕ ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Ф. Л. БЫКОВ<sup>1</sup>, Е. В. ВАСИЛЕНКО<sup>2</sup>, В.А. ГОРДИН<sup>1,3</sup>, Л.Л. ТАРАСОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФБГУ «Гидрометцентр России», Москва, [hmc@metcom.ru](mailto:hmc@metcom.ru);

<sup>2</sup> НИЦ «Планета», Москва, [asmus@planet.iitp.ru](mailto:asmus@planet.iitp.ru);

<sup>3</sup> НИУ «ВШЭ», Москва, [hse@hse.ru](mailto:hse@hse.ru)

**Аннотация.** Совместно анализируются данные ежедекадных наблюдений за запасами продуктивной влаги (ЗПВ) в верхнем 0-10 см и пахотном слоях почвы и оперативные данные косвенных спутниковых наблюдений за влажностью почвы со скаттерометров ASCAT (ИСЗ семейства MetOp). С использованием данных за 2004-2019 гг. оценены пространственно-временные характеристики полей влажности почвы. Оптимизирован пересчет данных ASCAT в данные о ЗПВ. Совместный анализ использует методы машинного обучения и учитывает неоднородности и анизотропию полей почвенной влаги. Анализ полей ЗПВ с горизонтальным шагом около 12,5 км рассчитывается оперативно дважды в сутки по сельскохозяйственным территориям России и Казахстана и выявляет межсуточную изменчивость увлажнения почвы. Мониторинг увлажнения пахотного слоя почвы особенно важен в критические по влаге периоды развития растений. Разработанная технология позволяет не только выявлять области с дефицитом и переизбытком влаги, но и судить об интенсивности явления

**Ключевые слова.** Влажность почвы, объективный анализ, нейронная сеть, скаттерометр.

### Введение

Потоки почвенной и атмосферной влаги важны для прогноза погоды, однако помимо необходимости моделирования влажности почвы для информационной подпитки прогностических моделей, оценка влагозапасов почвенного слоя важна сама по себе – для принятия решений в сельском хозяйстве.

На гидрометеорологических станциях сети Росгидромета проводятся агрометеорологические наблюдения, включающие и инструментальное определение запасов продуктивной влаги (ЗПВ) в районах растениеводства. В течение многих десятилетий эти станции производят измерения влажности почвы в слоях 10, 20, 50, 100 см. Точность этих измерений довольно высока [2], и в нашей работе они считаются эталонными. В последние годы появилась возможность дополнить информацию о влагозапасе с метеостанций информацией со спутников.

Разработано несколько десятков методов оценки влажности почв по данным ДЗЗ. Основываясь на типе исходных спутниковых данных, можно выделить пять групп методов: оптический, ближний ИК, активный микроволновый, пассивный микроволновый, гравиметрический. Каждый метод обладает своим набором достоинств и недостатков. Большинство методов, основанных на использовании данных оптического и ближнего ИК диапазонов, а также гравиметрических измерений, так и остались экспериментальными. В производстве продуктов по влажности почв используются данные пассивных микроволновых (SMMR, SSM/I, AMSR-E, AMSR-2, MIRAS и др.) и активных микроволновых измерений (AMI-SAR, ASCAT) [5]. Пространственное разрешение первых – от 25 км; периодичность измерений определяется временем повторного пролета (от 1 раза в сутки) и наличием облачности. Разрешение вторых – от 12,5 км, периодичность измерений – до 2-3 раз в сутки, не зависит от облачности. Все продукты по влажности почв оценивают только поверхностный слой – до 5 см.

Создание оперативно (сейчас 2 раза в сутки) оперативной модели объективного анализа влажности почвы в слоях 0-10 и 0-20 см (далее ОА) является одним из этапов создания соответствующего оперативного прогноза влажности почвы.

**Объекты исследования**

В настоящее время в ФГБУ «Гидрометцентр России» поступает агрометеорологическая информация с примерно 950 станций, расположенных в сельскохозяйственных и отгонно-животноводческих районах России. В сельскохозяйственных районах страны корреспондентами Гидрометцентра России является около 700 станций, причем на 580 из них регулярно ведутся наблюдения за влажностью почвы.

На каждой станции ЗПВ определяются обычно как минимум под 3 типичными для данного района сельскохозяйственными культурами. В результате, в период активной вегетации еженедельно имеются данные более чем с 1700 участков. Такой объем информации позволяет оценивать макромасштабные аномалии водного режима почвы и оценивать степень благоприятности условий влагообеспеченности посевов. Анализ поля влагозапасов ведется как в оперативном режиме (материалы предоставляются в Правительство РФ, заинтересованные министерства и ведомства, а также частично публикуются на сайте ФГБУ «Гидрометцентр России» (<https://meteoinfo.ru/agro-review>), так и в научной работе.

В данной работе для оптимизации параметров алгоритма анализа рассматривался архив отконтролированных данных наблюдений за ЗПВ на метеостанциях общим объемом 169161 наблюдения за период 2004-2019 гг.

Глобальный охват спутниковых данных по влажности почвы является первопричиной их широкого использования в моделях погоды [3, 4, 6].

Прибор ASCAT (<https://www.wmo-sat.info/oscar/instruments/view/ascats>) работает в частотном С-диапазоне (5,255 ГГц), имеет пространственное разрешение в 25 км. Прибор ведет измерения в двух полосах обзора шириной по 550 км каждая. Расстояние между полосами – 700 км. Глобальное покрытие каждым прибором достигается за 1.5 дня. Приборы покрывают каждую точку земли в средних широтах 2-3 раза в сутки.

Данные с прибора ASCAT приходят в ФГБУ «НИЦ «Планета» в формате BUFR с задержкой около полутора часов от момента измерения. За одни сутки с ИСЗ MetOp-A, -B и -C приходит примерно по 480 BUFR-файлов. Каждый BUFR-файл содержит данные по относительной влажности почвы, измеренные за три минуты пролета спутника. Ширина строки сканирования составляет 41 пиксель как для правой, так и для левой полос обзора.

Всего в BUFR-файле записаны 96 строк. Из BUFR-файла извлекаются географические координаты и значение относительной влажности почвы. Данные каждого витка приводятся в единую долготно-широтную регулярную сетку  $S$ , по утренним и вечерним виткам спутника формируются соответствующие композиционные цифровые массивы.

**Методы исследования**

Разработан совместный анализ ЗПВ (далее ОА) с использованием методов машинного обучения. ОА учитываются следующие предикторы:

- А. Данные ДЗЗ об относительной влажности почвы (ОВП);
- В. Время года  $t_J$  ;
- С. Климатические данные о влажности почвы (NCAR, Национальный Центр Атмосферных Исследований, США);
- Д. Типы почвы (FAO, Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН);
- Е. Типы землепользования GlobCover 2009 (ESA, Европейское космическое агентство);
7. Данные наблюдений за ЗПВ  $W_m, m = 10, 20$  на агрометеостанциях  $\bar{x}_k$  с учетом приоритета сельскохозяйственных культур и агрофона (исключались орошаемые участки).

Алгоритм ОА состоит из следующих шагов:

1. Формирование композита  $s(t, \bar{x})$  из предиктора А, поступающих с трех спутников MetOp за последние 12 часов;
2. Пересчет композита  $s(t, \bar{x})$  в данные о ЗПВ  $W_m(t, \bar{x}) \approx \psi_m(s(t, \bar{x}))$ , где  $m = 10, 20$ , с использованием нейронной сети  $\psi$ ;
3. Оптимальная интерполяция поправок (инкрементов)  $BIAS = W_m(t, \bar{x}) - \psi_m(s(t, \bar{x}))$  к пересчитанным данным ДЗЗ о ЗПВ из точек агрометеостанций  $\bar{x}_k$  на сетку;

Оптимизацию параметров ОА будем производить в несколько шагов:

- I. Оценка климатических значений  $\mu_m(t_J, \bar{x}_k)$  и среднеквадратичных отклонений от них  $\sigma_m(t_J, \bar{x}_k)$  ЗПВ для агрометеостанций  $\bar{x}_k$ ;
- II. Оценка климатических значений  $\mu_m(t_J, \bar{x})$  и среднеквадратичных отклонений от них  $\sigma_m(t_J, \bar{x})$  ЗПВ с использованием предикторов В, С, D, Е на регулярной сетке;
- III. Оценка климатических значений  $\mu_s(t_J, \bar{x})$  и среднеквадратичных отклонений от них  $\sigma_s(t_J, \bar{x})$  ОВП по данным ДЗЗ на регулярной сетке;
- IV. Предварительная оптимизация нейронной сети пересчета  $\psi$  с использованием II как дополнительных параметров;
- V. Оценка погрешностей  $\xi_m(\bar{x})$  пересчета ОВП в ЗПВ с помощью  $\psi$  с использованием В, С, D, Е на регулярной сетке;

Одновременная оптимизация  $\psi$  и параметров оптимальной интерполяции инкрементов  $BIAS = W_m(t, \bar{x}) - \psi_m(s)$  с использованием оцененных выше  $\mu_m, \sigma_m, \mu_s, \sigma_s$  и  $\xi_m$  в качестве предикторов неоднородности поля инкрементов BIAS.

### Результаты и обсуждение

По сравнению с предыдущей версией [1] здесь используется нейронная сеть, а не кусочно-линейная функция от ДЗЗ  $s(\bar{x})$  функция пересчета  $\psi$ , и не предполагается однородность инкрементов BIAS по пространству.

На рис. 1 приведено сравнение полей совместного анализа влажности пахотного слоя почвы по алгоритму 2017 г. и по предлагаемому в настоящей работе за 28 мая 2021 утро, где использовались данные ASCAT за период 0-12 ч ВСВ. Видно, что новый алгоритм демонстрирует лучшую пространственную детализацию и лучше воспроизводит экстремальные значения. Мы провели валидацию ОА по данным, измеренным на станциях 28 мая. Подчеркнем: на рис. 1 поля ОА сделаны без учета инструментального определения влажности почвы за третью декаду мая, т.к. сведения о них поступили в Гидрометцентр только 1 июня

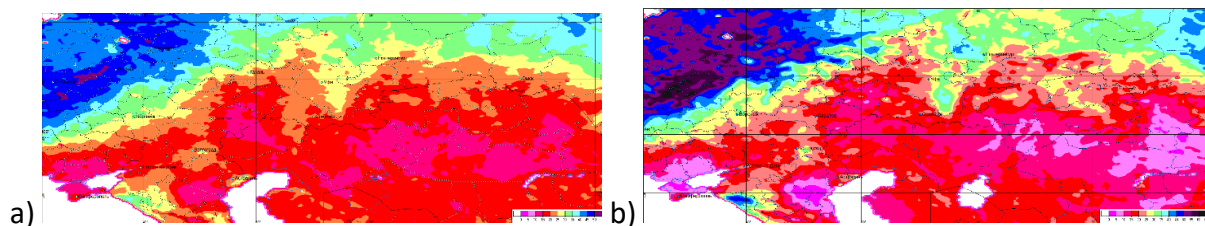


Рис. 1. Пример совместного ОА влажности пахотного слоя почвы 28 мая 2021 г.  
а) по технологии [1]; б) использованием нейронных сетей

Валидация показала, что:

– По данным измерений в Республиках Крым и Калмыкия пахотный слой практически полностью иссушен, т.е. в нем содержалось менее 5 мм продуктивной влаги, что отражено на рис. 2b, в то же время версия 2017 г. даёт лишь недостаточные значения (10-20мм), что существенно выше фактических.

– На северо-западе России в третьей декаде мая длительные и обильные ливни вызвали переувлажнение почвы (55 мм и более), по сведениям гидрометеостанций в ряде районов даже приостанавливались полевые работы. Отметим также, что ливневые дожди обуславливают «пестрый» характер поля влажности почвы, что также подтверждается наблюдениями. По версии ОА 2017 г. в этом регионе влажность почвы была близкой к оптимальным значениям и несколько выше, лишь местами избыточной.

– Новая версия демонстрирует более детализированную картину поля почвенной влаги, например, в Республике Башкортостане, Омской области и Северном Казахстане. Версия 2017 г. почти не воспроизводит влажность почвы менее 5 мм, а также более 50 мм, в то время как предлагаемая версия воспроизводит их на обширных территориях. Иными словами, ранняя версия ОА 2017 г. убирала экстремальные явления, чего удалось избежать в новой версии.

В таблице 1 показано сравнение CAO версий v2017 и v2021 ОА в слоях 0-10 и 0-20 см, рассчитанного на 8-й день 3 декады. Анализ был сопоставлен с измерениями на станциях, проведенными в тот день. Видно, что версия v2021 с использованием нейронных сетей в среднем более точна.

Таблица 1. Сравнение средней абсолютной ошибки (CAO, кг/м<sup>3</sup>) двух версий (v2017 и v2021) анализа ЗПВ в слоях 0-10 и 0-20 см для европейской / азиатской частей России

Дата	v2021 – 20 см	v2021 – 10 см	v2017 – 20 см	v2017 – 10 см
28/08/2021	7.26 / 8.78	3.74 / 4.56	8.48 / 10.19	4.49 / 5.37
18/08/2021	6.96 / 8.82	3.71 / 4.74	8.54 / 10.84	4.93 / 5.89
08/08/2021	7.23 / 8.61	3.72 / 4.34	8.72 / 9.46	4.73 / 5.11
28/07/2021	7.05 / 8.92	3.72 / 4.72	8.38 / 9.72	4.60 / 5.22
18/07/2021	8.07 / 8.98	4.31 / 4.87	8.21 / 10.17	4.49 / 5.65
08/07/2021	7.87 / 7.54	4.05 / 4.22	8.68 / 9.10	4.74 / 5.19

## Выводы

Предложена основанная на нейронных сетях технология совместного анализа полей влажности почвы по данным измерений продуктивной влаги на агрометеорологических станциях и по данным ДЗЗ об *относительной влажности почвы по измерениям скаттерометра ASCAT*. Нейронные сети используются для пересчета данных ДЗЗ в значения продуктивной влаги, а также для оценки неоднородностей полей влажности почвы.

Продемонстрировано, что учёт неоднородностей помогает увеличить детализацию полей анализа, а также лучше воспроизводить экстремально низкие и экстремально высокие значения влажности.

## Благодарности

При работе над статьей В.А. Гордин и Ф.Л. Быков были поддержаны грантом № 20-04-021 в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2020– 021 гг.

---

### Список литературы / References

1. Быков Ф.Л., Василенко Е.В., Гордин В.А., Тарасова Л.Л. Статистическая структура поля влажности верхнего слоя почвы по данным наземных и спутниковых наблюдений // *Метеорология и гидрология*, № 6, с. 68-84, 2017.
2. РД 52.33.217-99. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11 Агromетеорологические наблюдения на станциях и постах. Ч.1. Основные агromетеорологические наблюдения, М.: Росгидромет, 2000, 374 с.
3. D. Chung, W. Dorigo, R.A.M de Jeu, S. Hahn, T. Melzer, R.M. Parinussa, C. Paulik, C. Reimer, M. Vreugdenhil, B. Barrett, W. Wagner, R. Kidd, *Algorithm Theoretical Baseline Document (ATBD) D2.1 Version 03.2*, 2017.
4. Hofmann T., Scholkopf B., Smola A.J., «Kernel Methods in Machine Learning» *The Annals of Statistics*, vol. 36, № 3, pp. 1171-1220, 2007.
5. Karthikeyan L., Pan M., Wanders N., Kumar D.N., Wood E.F., Four decades of microwave satellite soil moisture observations: Part 2. Product validation and inter-satellite comparisons // *Advances in Water Resources*, vol. 109, p. 236–252, 2017.
6. Wagner W.; Hahn S.; Kidd R.; Melzer T.; Bartalis Z.; Hasenauer S.; Kamma J., «The ASCAT Soil Moisture Product: A Review of its Specifications, Validation Results, and Emerging Applications» *Meteorol. Z.*, vol. 22, pp. 5-33, 2013

### THE TECHNOLOGY OF DAILY MONITORING OF THE MOISTURE CONTENT OF THE ARABLE SOIL LAYER BASED ON THE OPERATIONAL ANALYSIS OF SOIL MOISTURE ACCORDING TO METEOROLOGICAL STATIONS AND REMOTE SENSING OF THE EARTH

F. L. BYKOV<sup>1</sup>, E. V. VASILENKO<sup>2</sup>, V. A. GORDIN<sup>1,3</sup>, L. L. TARASOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hydrometeorological Center of Russia, Moscow, Russia, [hmc@mecom.ru](mailto:hmc@mecom.ru);

<sup>2</sup> SRC «Planeta», Moscow, Russia, [asmus@planet.iitp.ru](mailto:asmus@planet.iitp.ru);

<sup>3</sup> HSE, Moscow, Russia, [hse@hse.ru](mailto:hse@hse.ru)

**Abstract.** The data of weekly observations of available water accumulated the upper 0-10 cm and arable soil layers and operational data of indirect satellite observations of soil moisture from ASCAT scatterometers (MetOp satellite series) are analyzed together. The spatial and temporal characteristics of soil moisture fields were analyzed using 2004-2019 data. Optimal formulas for converting ASCAT data into moisture accumulated data are proposed. The joint analysis is carried out using machine learning methods and takes into account the inhomogeneities and anisotropy of soil moisture fields. The analysis of soil moisture fields with a horizontal step of about 12.5 km is calculated promptly twice a day for agricultural territories of Russia and Kazakhstan and reveals the day-to-day variability of soil moisture. The fields are used to monitor the moisture content of the arable soil layer, which is especially important during moisture-critical periods of plant development. The developed technology allows not only to identify areas with a shortage of moisture, and with its excess, but also to judge the intensity of the phenomenon.

**Keywords.** Soil moisture, objective analysis, neural network, scatterometer.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПА АНАЛОГИЧНОСТИ И КЛАССИФИКАЦИИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

Н. В. ГАВРИЛОВСКАЯ

*ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени*

*К.А. Тимирязева» (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева), Москва, gavrillovskayanv@gmail.com*

**Аннотация.** Рассматривается вопрос математической формализации принципа аналогичности и классификации агрометеорологических факторов. Предлагается алгоритмический подход к формализации.

**Ключевые слова.** Принцип аналогичности, классификация, формализация.

**Введение**

Современные модели продукционного процесса любого уровня, осуществляющие прогноз урожайности сельскохозяйственных культур, опираются на предполагаемые погодные сценарии прогнозного года. В настоящее время важнейшие метеорологические факторы, такие как осадки и температура воздуха, имеющие решающее значение в формировании урожая сельскохозяйственных культур, не поддаются надежному прогнозу на короткий период времени.

Отсутствие фундаментальной теории, объясняющей наличие связи между процессами в отдельные сезоны и урожайностью, обуславливает применение в методиках в основном аппарата математической статистики: кластерного и дискриминантного анализа. В результате использования данных процедур каждый год на основе различных сочетаний значений агрометеорологических факторов может быть отнесен к одному из нескольких классов.

**Объекты и методы исследования**

В основе технологии определения лет-аналогов лежит принцип аналогичности, который позволяет проводить классификацию агрометеорологических факторов. Под принципом аналогичности будем понимать использование информации для текущего прогноза путем выделения лет-аналогов.

Основная цель поиска лет-аналогов состоит в том, чтобы на основе различных характеристик объекта классифицировать его, то есть отнести к одной из нескольких классов некоторым оптимальным способом. При этом под оптимальным способом можно будем понимать либо минимум вероятности ложной классификации, либо минимум математического ожидания потерь.

В результате применения процедуры классификации исходная совокупность объектов разделяется на классы (кластеры) схожих между собой объектов. Под кластером понимают группу объектов, обладающую свойством плотности (плотность внутри кластера выше, чем вне его), дисперсией, отделимостью от других кластеров, формой, размером (Хворова и др., 2013).

**Результаты и обсуждение**

Формализацию принципа аналогичности и классификации агрометеорологических факторов можно описать через алгоритмический подход, выделив следующие этапы.

Этап I. Предварительная статистическая обработка исходных данных. Неоднородность единиц измерения агрометеорологических факторов и вытекающая отсюда невозможность обоснованного выражения значений различных показателей в одном масштабе приводит к тому, что величина расстояний между точками, отражающими положение объектов в пространстве их свойств, оказывается зависящей от произвольного избираемого масштаба. Чтобы устранить неоднородность измерения исходных данных, все их значения предварительно нормируются, т.е. выражаются через отношение этих значений к некоторой величине, отражающей определенные свойства данного показателя. Нормирование исходных данных для

формализации принципа аналогичности предлагается провести с помощью процедуры стандартизации по формуле:

$$x_{si} = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i^2},$$

где  $x_{si}$  – стандартизованное значение  $i$ -го фактора,  $x_i$  – фактическое значение  $i$ -го фактора,  $\bar{x}_i$  – среднее значение  $i$ -го фактора,  $\sigma_i^2$  – среднеквадратическое отклонение  $i$ -го фактора (Груза, 1970).

Таким образом, полученные в результате стандартизации данные имеют нулевое среднее и единичную дисперсию, что позволяет сравнивать наблюдения из различных распределений, а методы нормирования означают признание всех признаков равноценными с точки зрения выяснения сходства рассматриваемых объектов.

Этап II. Состоит в отнесении всей совокупности исходных объектов к определенному классу на основании исследования системы признаков или показателей, характеризующих эти объекты.

Пусть из множества  $\Omega$  всех исследуемых объектов

$$\Omega = \left\{ (X^r, Y) : X^r = \{x_{ij}^r\}, Y = \{y_r\}, r = \overline{1, n}; i = \overline{1, t}; j = \overline{1, k}; x_{ij} \in R, y_r \in R \right\},$$

необходимо сформировать по решающему правилу  $S$  непересекающиеся подмножества  $A_m \in \Omega$  – классы сходных между собой объектов – лет-аналогов, вида

$$A_m = \left\{ (X^N, Y_N) : X^N \in X^r, Y_N \in Y, N = \overline{1, a_m}, a_m \leq n \right\},$$

где  $X^r = \{x_{ij}^r\}$  – матрица значений агрометеорологических факторов размера  $t \times k$ , определенная для каждой совокупности наблюдаемых признаков, влияющих на вектор  $y_r$ ;  $y_r$  – вектор значений фактической урожайности,  $n$  – число исследуемых лет,  $k$  – число имеющихся агрометеорологических характеристик,  $t$  – дискретный момент времени;  $m$  – количество сформированных классов, обладающих совокупностью факторов, близких между собой по влиянию на результирующий признак объекта  $u_n$ ,  $a_m$  – количество лет-аналогов в соответствующем классе.

Под решающим правилом  $S$  понимается обеспечение экстремума функционалу  $F(A_m) \rightarrow \min(\max)_{A_m}$  – мера однородности объектов, где  $F : X \times X \rightarrow R$ .

Таким образом, исследуемый объект (год), описанный многомерным вектором  $x'_i$  попадает в тот класс  $A_z$ ,  $z = \overline{1, m}$  сходных между собой лет, когда расстояние (отдаленность) между  $x'_i$  и центром кластера  $\bar{x}$  будет достаточно маленьким.

Этап III. Непересекающиеся подмножества  $A_m \in \Omega$  лет-аналогов формируются с помощью последовательной кластер-процедуры, которая представляет из себя итерационный алгоритм, на каждом шаге которого используется одно наблюдение и результаты разбиения на предыдущем шаге (Angrist et al., 2009). Данная идея заложена в центроидном методе  $k$ -средних (число классов заранее известно и  $m < n$ , где  $n$  – число исследуемых лет):

1. На нулевом шаге за центры искомым  $m$  кластеров принимают случайно выбранные  $m$  наблюдений - точки  $z_1(1), z_2(1), \dots, z_m(1)$ .

2. На  $m$ -й итерации  $x \in C_j(m)$ , если  $\|x - z_j(m)\| < \|x - z_i(m)\| \quad \forall i \neq j$ , где  $C_j(m)$  – множество образов кластера с центром  $z_j(m)$ .



3. Строим новые центры кластеров:  $z_j = \sum_{x \in C_j(m)} \|x - z_j(m+1)\|^2 \rightarrow \min,$

где  $z_j(m+1) = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in C_j(m)} x.$

4. Проверяется равенство  $z_j(m+1) = z_j(m).$  Если оно выполнено при всех  $j,$  то алгоритм заканчивается, иначе переходим к пункту 2.

Этап IV. Для сравнения нескольких типизаций, полученных в результате классификации, и выбора наиболее подходящей из них необходим критерий – численная мера качества классификации.

Оценкой качества классификации служит обобщенный показатель

$$K_m = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \overline{d_{ii}}}{\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{i>j} \overline{d_{ij}}} \rightarrow \min,$$

где  $m$  – число кластеров,  $\overline{d_{ii}}$  – среднее расстояние между точками внутри  $i$ -го кластера,  $\overline{d_{ij}}$  – среднее расстояние между парами точек  $i$ -го и  $j$ -го кластеров. Значения показателя (2.27) подсчитываются для всех вариантов разбиения исходного множества на  $m$  классов.

Оптимальное число кластеров определяется с помощью критерия «каменистой осыпи», согласно которому на графике зависимости показателя  $K_m$  от количества разбиений на кластеры, необходимо найти точку, в которой убывание  $K_m$  значительно замедляется: необходимо найти абсциссу на графике, в которой график стресса начинает визуально сглаживаться в направлении правой, пологой его части, и, таким образом, уменьшение стресса максимально замедляется. Пример графика для определения оптимального числа кластеров представлен на рисунке 1, из которого видно, что оптимальное число кластеров – шесть.

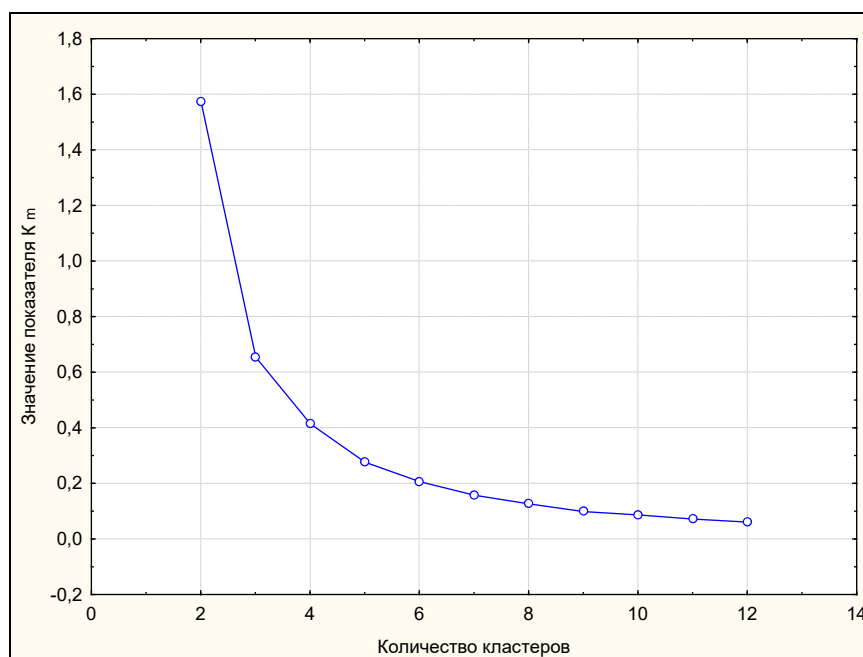


Рис. 1. График для определения оптимального числа кластеров

## Выводы

В результате описанной формализации принципа аналогичности и классификации агрометеорологических факторов, во-первых, формируется обучающая выборка  $X^{r_0} = \{x_{ij}^{r_0}\}$  – матрица многомерных наблюдений лет-аналогов, соответствующих  $j$ -му классу,  $j = \overline{1, m}$ ,  $i$  – количество признаков классификации,  $i = \overline{1, n}$ . Во-вторых, строится классификатор (дискриминантная функция), позволяющий каждый объект отнести к определенному классу. При этом типобразующие признаки и искомое правило классификации (сам классификатор) должны быть подобраны таким образом, чтобы обеспечивать в определенном смысле наивысшую точность решения задачи отнесения объекта к одному из анализируемых классов по заданным значениям его описательных признаков.

## Список литературы / References

1. Хворова Л.А., Брыксин В.М., Гавриловская Н.В., Топаж А.Г. Математическое моделирование и информационные технологии в экологии и природопользовании. - Барнаул: АлтГУ, 2013. - 276 с.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. О принципах автоматической классификации метеорологических объектов // Метеорология и гидрология. – 1970. – №32. – С. 12–22.
3. Angrist J. D., Pischke, J.- S. Mostly harmless econometrics: an empiricist's companion, 2009, 392 p.

## MATHEMATICAL FORMALIZATION OF THE PRINCIPLE OF SIMILARITY AND CLASSIFICATION OF AGROMETEOROLOGICAL FACTORS

N. V. GAVRILOVSKAYA

*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia,  
gavrilovskayanv@gmail.com*

**Abstract.** The question of mathematical formalization of the principle of similarity and classification of agrometeorological factors is considered. An algorithmic approach to formalization is proposed.

**Keywords.** The principle of similarity, classification, formalization.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВАРИИРОВАНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ НА ВНУТРИРАЙОННОМ УРОВНЕ**

Е. А. ДУНАЕВА

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

(ФГБУН «НИИСХ Крыма»), г. Симферополь, [dunaeva\\_e@niishk.ru](mailto:dunaeva_e@niishk.ru);

**Аннотация.** Проведено ретроспективное моделирование продуктивности ярового ячменя в богарных условиях с использованием программного комплекса WOFOST и оценка ее пространственного варьирования на внутрирайонном уровне. При моделировании использованы данные стационарной метеорологической станции Клепинино и территориальное распределение месячных сумм осадков, полученное по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) миссии Глобального измерения осадков (GPM). Результаты моделирования показали уровень варьирования урожайности ярового ячменя по годам и внутри района в диапазоне от 0.0 до 39.8 % в зависимости от уровня естественной водообеспеченности весеннего периода, что позволяет сделать вывод о необходимости учета уровня обеспеченности осадками конкретных лет и ее пространственного варьирования в задачах анализа динамики развития сельских территорий.

**Ключевые слова.** Продуктивность, моделирование, яровой ячмень, осадки, WOFOST, GPM, ДЗЗ.

### **Введение**

Моделирование развития сельскохозяйственных культур в аридной зоне при богарной системе земледелия в первую очередь обуславливается точностью данных о пространственном и временном распределении осадков. Стартовавшая в 2014 г. миссия Глобального измерения осадков (Global Precipitation Measurement mission, GPM) открыла новый этап и представила гораздо более высокие возможности в сервисе доступа к гео-пространственным данным о распределении осадков [1] с временным интервалом от получаса и пространственным разрешением 0.1 °.

Несмотря на огромную работу, проводимую командой миссии GPM, в различных регионах мира проводятся дополнительные работы и региональные исследования по оценке репрезентативности данных об осадках, получаемых в виде конечного продукта GPM IMERG [2–4]. Актуальность исследований в данном направлении для сельского хозяйства Крыма заключается в том, что при соответствующем уровне пространственной репрезентативности об осадках продукт миссии GPM (с открытым бесплатным доступом) позволяет получать при заданной точности 25–30 пространственно распределенных осредненных для площади пикселя значений осадков для территории среднего степного района полуострова (с их географической привязкой), что, с задействованием инструментария ГИС, открывает новые возможности для пространственного анализа и моделирования развития сельскохозяйственных культур. Материалы исследований, приведенные в данном докладе, направлены на предварительную оценку уровня варьирования продуктивности сельскохозяйственных культур по территории района, получаемую по результатам моделирования с использованием пространственно распределенных данных GPM и материалов репрезентативной для района метеорологической станции.

### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследований является территория Красногвардейского района, расположенного в центральной степной части Крымского полуострова. Предметом исследования является уровень варьирования урожайности ярового ячменя по годам (2001 – 2021 гг.) и по территории района.

При моделировании урожайности использован программный комплекс и модель WOFOST [5–6]. В качестве основных допущений для всех лет моделирования использованы следующие

упрощения: одинаковые дата сева и исходные (стартовые влагозапасы); единственным лимитирующим фактором является объем естественной водообеспеченности; весенний период (март – май) является основным периодом, формирующим различия в пространственной вариации водообеспеченности.

Уравнения связи оценочных величин месячных сумм осадков, полученных по данным ДЗЗ, с измеренными на 5 стационарных станциях, несмотря на высокий уровень связи, показал завышение спутниковых оценок для осенне-зимнего и ранневесеннего периода [7]. Вместе с тем, принятие измеренных данных об осадках репрезентативной для района метеостанции как базовых, позволяет снизить ошибки локализации/калибровки спутниковых данных за счет использования не абсолютных значений месячных сумм осадков, а отличия от базовой, принятой по данным метеостанции.

Суточные данные метеорологических параметров приняты по данным метеостанции Клепинино, а пространственное распределение месячных сумм осадков – по материалам GPM (период апрель 2014 – март 2021 гг. по материалам финальной обработки – продукт GPM\_3IMERGM v06 Final Run, период с 2001 г. по март 2014 г. – по материалам реанализа спутниковой информации [5], период апрель-май 2021 г. – по предварительным данным - продукт GPM\_3IMERGDL v06 Late Run).

При обработке данных ДЗЗ использовано открытое ПО ГИС - QGIS 2.18.

Для упрощения задачи и ориентации на задействие при анализе месячных сумм осадков миссии GPM принят следующий ряд допущений: стартовая дата расчетов принята равной дате сева и одинаковой для всех лет – 01 марта; дата всходов определяется моделью автоматически; для всей территории района использован один тип почв и водно-физических характеристик; стартовые влагозапасы на дату сева приняты одинаковыми и равными 75 % от НВ; все метеорологические параметры, участвующие в расчете (кроме осадков), приняты одинаковыми для всей территории района; различие в уровне урожайности определяется только в зависимости от разницы выпавшего объема осадков за основной период вегетации ячменя, т.е. с марта по май месяцы; с 1 июня и до полной спелости ячменя осадки принимаются одинаковыми и определяются данными метеостанции Клепинино.

## Результаты и обсуждение

В условиях богарного земледелия в аридной зоне существенный уровень варьирования урожайности в границах районов и в границах степной зоны Крыма в целом обуславливается неравномерностью выпадения осадков, особенно это характерно для летних осадков, выпадающих в виде ливней и характеризующихся высокой интенсивностью и сравнительно резкими границами зоны их выпадения, вместе с тем, существенные различия в пространственном распределении осадков наблюдаются и в другие периоды.

В работе на примере ярового ячменя рассмотрен уровень варьирования урожайности ранних яровых культур, вызванный неравномерностью выпадения осадков по территории района. Оценка уровня варьирования урожайности проведена для периода 2001 – 2021 гг. с получением моделируемых максимальных и минимальных значений для территории района, а также их отличия от «базовой» урожайности, рассчитанной для условий и местоположения стационарной метеостанции Клепинино, находящейся в северо-западной части Красногвардейского района. Результаты моделирования сведены в таблицу 1.

Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference  
**“Agrophysics Trends: from actual challenges in arable farming and crop production towards advanced technologies”**

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

September 14-15, 2021

Таблица 1. Временное и пространственное варьирование осадков и моделируемых величин урожайности ярового ячменя по территории Красногвардейского района

Год	Сумма осадков P <sub>III-V</sub> , мм	Обеспеч. осадков, %	P <sub>max</sub> -P <sub>min</sub> , мм (ДЗЗ)	Отклонение	
				У <sub>max</sub> -У <sub>min</sub> , ц/га (сух.в.)	от базовой*, %
2001	133,1	22,7	36,1	13,1	24,7
2002	88,8	54,5	14,1	0,4	0,7
2003	60,2	77,3	18,1	1,4	6,2
2004	137,2	18,2	16,5	3,5	5,5
2005	50,3	86,4	38,9	6,8	27,9
2006	123,3	27,3	26,0	2,7	4,6
2007	98,5	45,5	15,5	2,8	7,9
2008	141,3	13,6	32,7	8,1	13,7
2009	97,2	50,0	36,5	7,1	37,6
2010	109,8	40,9	26,6	6,4	20,1
2011	114,5	31,8	53,8	17,2	39,8
2012	81,6	63,6	29,4	4,6	13,3
2013	77,9	68,2	15,7	2,7	11,8
2014	62,7	72,7	17,3	2,5	4,9
2015	265,2	4,5	18,9	0,0	0,0
2016	198,7	9,1	25,3	0,0	0,0
2017	85,6	59,1	24,2	8,6	26,5
2018	41,5	95,5	17,5	4,3	26,7
2019	53,0	81,8	9,0	0,4	1,1
2020	43,5	90,9	24,8	6,0	31,6
2021	110,5	36,4	70,8	0,0	0,0
Средн.	103,5	-	27,0	4,7	14,5
Макс.	265,2	-	70,8	17,2	39,8
Миним.	41,5	-	9,0	0,0	0,0
σ	53,6	-	14,5	4,5	13,2
Cv, %	51,7	-	53,6	95,3	90,8
* Абсолютная величина отклонения от урожайности, ограниченной только водными ресурсами и рассчитанной для метеостанции Клепинино					

Необходимо отметить, что только в очень влажные и влажные периоды (сезоны 2015, 2016 и 2021 гг.) практически отсутствует зависимость урожая ячменя от различий во влагообеспеченности для территории Красногвардейского района. В остальные годы уровень отклонения от расчетной урожайности по метеостанции Клепинино составляет от 0.7 до 39.8 %, при средней величине отклонения около 15%, что показывает необходимость, при использовании параметра биопродуктивности в числе сравниваемых показателей по отдельным сельским поселениям, учитывать уровень индивидуальной водообеспеченности каждой из территорий (для получения сопоставимых оценок).

При этом, в отдельные сезоны, например, в среднем по обеспеченности осадками сезоне март – май 2009 г. уровень снижения урожайности на наименее обеспеченном в этом сезоне участке территории района был близок к значению урожайности в засушливый период с вероятностью повторения 1 раз в 10 лет.

## Выводы

Результаты моделирования показали уровень варьирования отклонения урожайности ярового ячменя по территории района от базовой, рассчитанной по данным стационарной метеорологической станции Клепинино (считающейся репрезентативной для территории района), в диапазоне от 0.0 до 20.0 ц/га (при стандартной влажности) или от 0 до 39.8% в зависимости от уровня естественной водообеспеченности весеннего периода.

Анализ результатов моделирования показал существенное (более 10%) отклонение диапазона варьирования урожайности внутри района от базовой урожайности для более половины лет расчетного ряда (при принятых условиях моделирования), что позволяет сделать вывод о необходимости учета уровня обеспеченности осадками конкретных лет и ее пространственного варьирования по территории района в задачах анализа состояния сельских территорий для получения сопоставимых оценок динамики их развития.

## Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания рег. № НИОКТР АААА-А16-116022610123-9.

## Список литературы / References

1. Hou, A. Y. The Global precipitation measurement mission / A. Y. Hou, R. K. Kakar, S. Neeck, A. A. Azarbarzin, C. D. Kummerow, M. Kojima, R. Oki, K. Nakamura, T. Iguchi // *Bulletin of the American Meteorological Society*. – 2014. – Vol. 95. – P. 701–722. DOI: 10.1175/BAMS-D-13-00164.1.
2. Tang, G. Have satellite precipitation products improved over last two decades? A comprehensive comparison of GPM IMERG with nine satellite and reanalysis datasets / G. Tang, M. P. Clark, S. M. Papalexiou, Z. Ma, Y. Hong // *Remote Sensing of Environment*. – 2020. – Vol. 240. – P. 111697. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111697.
3. Xiao, S. Evaluation of multi-satellite precipitation products and their ability in capturing the characteristics of extreme climate events over the Yangtze river basin, China / S. Xiao, J. Xia, L. Zou // *Water*. – 2020. – Vol. 12 (4). – P. 1179. DOI: 10.3390/w12041179.
4. Huffman, G. J. NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) / G. J. Huffman, D. T. Bolvin, D. Braithwaite, K. Hsu, R. Joyce, C. Kidd, E. J. Nelkin, S. Sorooshian, J. Tan, P. Xie // *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 5.2*. – 2018. – 35 p.
5. Боогаард, Х. Имитационная модель роста сельскохозяйственных растений WOFOST 7.1 (руководство пользователя русифицированной версией) / Х. Боогаард, К. ван Диепен, Р. Реттер, Дж. Кабрера, Х. ван Лаар, И. Савин. – М.: Изд-во РУДН, 2000. – 116 с.
6. De Wit, A. 25 years of the WOFOST cropping system model / A. De Wit, H. Boogaard, D. Fumagalli, S. Janssen, R. Knapen, D. van Kraalingen, I. Supit, R. van der Wijngaart, K. van Diepen // *Agricultural Systems*. – 2018. – 14 p. DOI: 10.1016/j.agsy.2018.06.018.
7. Popovych V.F., Dunaieva I.A. Assessment of the GPM IMERG and CHIRPS precipitation estimations for the steppe part of the Crimea. *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2021. DOI: 10.26491/mhwm/133088

**SIMULATION OF SPATIAL VARIATION OF BIOPRODUCTIVITY AT THE INTRADISTRICT LEVEL**

I.A. DUNAIEVA

*FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Crimea, dunaeva\_e@niishk.ru;*

**Abstract.** A retrospective simulation of the productivity of spring barley in rainfed conditions using the WOFOST software package and an assessment of spatial variation of bioproductivity at the intradistrict level was carried out. The data of the stationary based meteorological station Klepinino and the territorial distribution of monthly precipitation amounts obtained from the Earth remote sensing (ERS) data from the Global Precipitation Measurement Mission (GPM) are used for simulation. The results of simulation showed the level of yield variation of spring barley over the years and within the district in the range from 0.0 to 39.8%, depending on the level of natural water availability in the spring, which allows us to conclude that it is necessary in tasks the analysis of the dynamics of rural areas development to take into account the level of precipitation in specific years and its spatial variation.

**Keywords.** Productivity, simulation, spring barley, precipitation, WOFOST, GPM, remote sensing.

---

## КЕЙС ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ УРОЖАЙНОСТЬЮ БИОМАССЫ ПОСЕВА ОРОШАЕМОЙ ЛЮЦЕРНЫ И ВЛАГОЗАПАСАМИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

О. С. ЕРМОЛАЕВА, А. М. ЗЕЙЛИГЕР

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева»

(ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева),

Москва, ol\_ermolaeva@mail.ru, azeiliger@mail.ru

**Аннотация.** Для повышения эффективности использования поливной воды в орошаемом земледелии и снижения его негативной нагрузки на окружающую среду необходимы технологии получения достоверных данных влагозапасов почвенного покрова в пределах орошаемого поля. Картографический анализ сопряженных во времени массивов полевых данных биопродуктивности орошаемого посева люцерны и влагозапасов почвенного покрова позволил выявить устойчивые паттерны, связанные с элементами земной поверхности, а также границами орошаемого контура. Геопространственный корреляционный анализ массивов геоданных обеих переменных позволил идентифицировать наличие корреляционной функции куполообразной формы, свидетельствующей о более низкой биопродуктивности паттерн с избыточным и недостаточным увлажнением в сравнении с зонами с промежуточным увлажнением. В целом полученный результатам находится в соответствии с экспериментальными результатами, получаемыми на орошаемых сельскохозяйственных мелкоделяночных посевах с различным уровнем увлажнения.

**Ключевые слова.** Картирование, влагозапасы, почвенный покров, электромагнитная влагометрия, орошаемая люцерна, урожайность биомассы, пространственная корреляция.

### Введение

Картирование влагозапасов почвенного покрова является одним из основных источников данных, необходимых для реализации пространственно-дифференцированного (ПД) способа орошения (Зейлигер, 2010), принцип которого базируется на парадигме точного земледелия (Якушев, 2002). Практическое применение ПД способа орошения, по определению, должно позволить выйти на новый технологический уровень эффективного использования земельных и водных ресурсов, позволяющий получать более высокие и устойчивые урожаи посевов орошаемых сельскохозяйственных культур (Зейлигер и др., 2019).

В настоящее время для создания картограмм влагозапасов почвенного покрова разрабатываются и испытываются методы, основанные на применении одной из разновидностей проксимального геофизического зондирования – электромагнитной индуктометрии (ЭМИ). ЭМИ относятся к группе бесконтактных методов измерения отраженных потоков направленного электромагнитного излучения, связанных с электропроводностью. В случае пористых сред измеряемые значения электропроводности чувствительны к содержанию в их поровом пространстве воды.

Цель данного сообщения состоит в представлении результатов полевых исследований, позволивших: а) идентифицировать паттерны квазиоднородных контуров влагозапасов почвенного покрова под посевом орошаемой люцерны и сопряженных во времени контуров урожайности ее биомассы; б) оценить пространственную корреляционную взаимосвязь влагозапасов почвенного покрова поля с урожайностью биомассы орошаемой люцерны.

### Объекты и методы исследования

Площадной мониторинг влагозапасов с использованием EM38 мк1 был реализован в вегетационный период 2012 года на тестовом участке, расположенном на территории ОПХ ВолжНИИГиМ. Этот тестовый участок представлял собой посев люцерны второго года вегетации, который орошался дождевальными машинами кругового действия типа Фрегат. Важно отметить, что этот посев орошаемой люцерны входил в ряд орошаемых посевов этой же культуры также второго года вегетации, результаты космического мониторинга суммарного испарения которых, а также урожайность биомассы были использованы для оценки эффективности орошения (Zeyliger, Ermolaeva, 2021). При этом важно отметить, что показатель эффективности орошения



посева на тестовом участке, являвшегося объектом представляемого исследования, вошел в группу с наибольшими значениями этого показателя.

Для пространственного мониторинга влагозапасов почвенного покрова тестового участка был применен метод рефлектометрического электромагнитного индукционного измерения электропроводности почвенного покрова посредством прибора EM38 мк (Geonics, Canada). Для получения с помощью этого прибора значений влагозапасов почвенных слоев в диапазоне от 0-25 см до 0-150 см было проведено калибрование его показаний для темно-каштановых почв, сформировавших почвенный покров территории ОПХ ВолжНИИГиМ. С этой целью для измерения плотности почвенных горизонтов, а также оценки ряда других характеристик на этой территории были заложены серии почвенных разрезов. Для получения слоев данных, которые необходимы для калибрования, были найдены места с высокими, средними и низкими содержаниями влагозапасов почвенного покрова. В таких местах был проведен отбор проб почвенным буром для последующего гравиметрического анализа на их влажность, а также проведено измерение электропроводности слоев почвенного покрова прибором EM38мк. По результатам численного анализа полученных рядов данных влагозапасов слоев почвенного покрова и их электропроводности были найдены эмпирические коэффициенты использованных для фитинга линейных уравнений (Зейлигер, Тулузаков, 2013).

В процессе полевого площадного мониторинга влагозапасов прибор EM38мк, связанный с полевым компьютером, оснащенный спутниковой антенной для приема сигналов GPS, переносился оператором на разной высоте от поверхности почвенного покрова в пределах тестового участка. В соответствии с ранее разработанной методикой это позволило получить данные по электропроводности ряда слоев почвенного покрова разной мощности. В результате полевых измерений были сформированы массивы геореференцированных значений электропроводности, необходимые для последующего анализа пространственной корреляции влагозапасов с урожайностью биомассы. Для конвертирования массивов электропроводности в массивы влагозапасов были использованы линейные уравнения с найденными для каждого слоя почвенного покрова эмпирические коэффициенты. По рассчитанным массивам влагозапасов отдельных сеансов мониторинга в среде ArcGIS 10.x с использованием метода радиально-базисных функций пространственной интерполяции были построены соответствующие картограммы влагозапасов. Две из таких картограмм, отображающих квазиодномоментные влагозапасы двух слоев почвенного покрова тестового участка представлены на рис. 1.

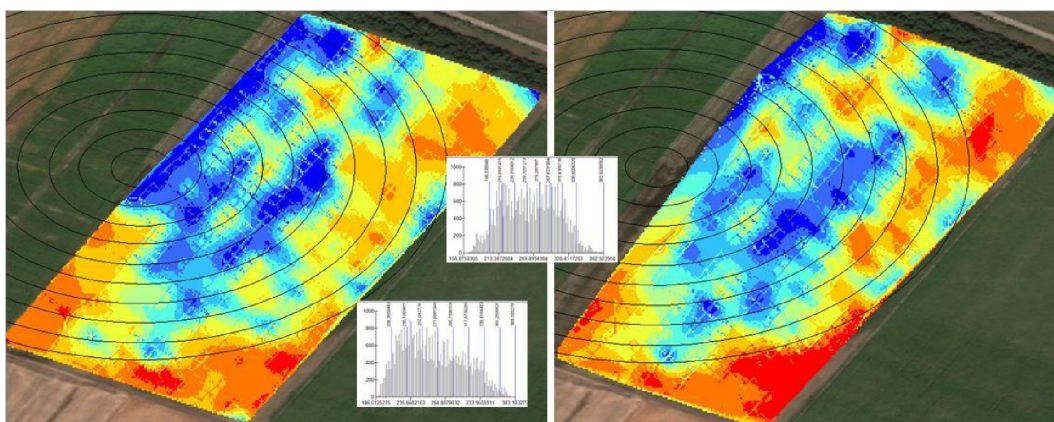


Рис. 1. Картограммы влагозапасов почвенного покрова от 10.07.2012 поля, занятого люцерной под дождевальную машину Фрегат № 7 (ОПХ ВолжНИИГиМ): а) слой 0-75см; б) слой 0-150см.

Во время второго укоса люцерны (15.07.2012) был проведен геореференцированный отбор образцов растений люцерны для площадной оценки урожайности ее биомассы. В этом случае для геопозиционирования мест отбора образцов люцерны был использован одночастотный ГНСС-приемник Garmin. По результатам высушивания отобранных образцов люцерны был сформирован массив данных урожайности ее биомассы. Этот массив был использован для построения в том же программном обеспечении ArcGIS 10.x и с помощью того же метода радиально-базисных функций картограммы урожайности биомассы тестового участка (рис. 2).



Рис. 2. Картограмма урожайности биомассы орошаемой люцерны, полученная по результатам отбора образцов люцерны 15.07.2012 на поле Фрегата № 7 (ОПХ ВолжНИИГиМ).

### Результаты и обсуждение

Визуальный анализ полученных картограмм влагозапасов свидетельствует о наличии на тестовом участке устойчивых квазиоднородных контуров с повышенными и пониженными значениями влагозапасов в сравнении со средними значениями. Сопоставление местоположения этих контуров показало, что первые из этих контуров с повышенными значениями влагозапасов располагаются в местах замкнутых понижений, а также вдоль колеи, проложенных колесными опорами дождевальными машинами. Контуров второго типа с пониженными влагозапасами располагались в углах посева, которые не поливались поскольку концевая водометная пушка, установленная на дождевальной машине Фрегат, не доставала до него, а также на повышенных элементах рельефа, показанном на рис. 1 в нижнем левом углу.

Аналогичный визуальный анализ картограммы урожайности биомассы (рис. 2) свидетельствует о наличии большого разнообразия контуров, приуроченность которых к определенным элементам рельефа идентифицировать оказалось сложно, за исключением контуров с отмеченными выше низкими влагозапасами.

Для выявления пространственных связей между урожайностью биомассы орошаемой люцерны и влагозапасами почвенного покрова на территории проведенного мониторинга был выполнен корреляционный анализ пар соответствующих значений этих пространственных переменных, присущих одному и тому же местоположению на территории тестового участка. С этой целью пары значений обеих пространственных переменных, первая из которых была

получена по рассчитанной картограмме влагозапасов 1,5 м слоя почвенного покрова в местах измерений урожайности биомассы. Полученное при отображении обоих рядов с помощью точечной диаграммы облако точек в программном обеспечении MS Excel (Microsoft, USA) представлено на рис. 3.

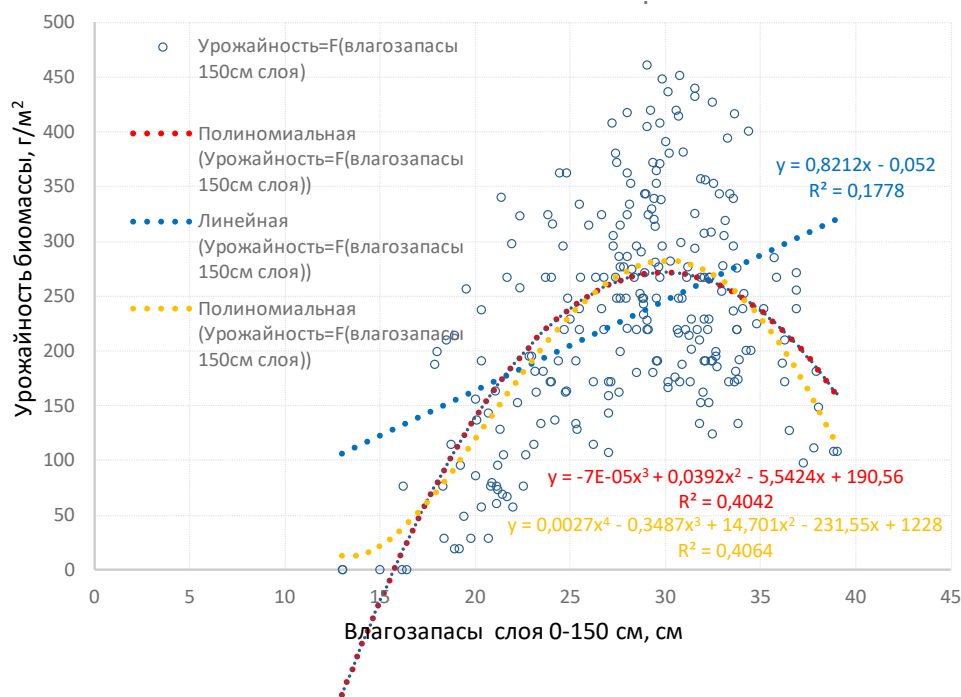


Рис. 3. Пространственная корреляция между урожайностью биомассы орошаемой люцерны и влагозапасами 150 см слоя почвенного покрова.

Для идентификации пространственной корреляции между влагозапасами 1,5 м слоя почвенного покрова тестового участка и урожайностью биомассы с использованием значений пар обоих геореференцированных массивов был проверены гипотезы наличия трендов в облаке точек, представленном на рис. 3. Для идентификации вида трендов были использованы: а) линейная функция; б) полиномиальная функция 3-го и 4-го порядка. Первая из этих функций показала неудовлетворительный результат. В тоже самое время обе использованные полиномиальные функции показали наличие куполообразной корреляционной функции с достаточно удовлетворительным результатом для такого размытого облака точек. По все вероятности такая размытость этого облака является следствием высокой степени разброса, связанной с использованием в проведенном корреляционном анализе пространственного параметра влагозапасов 1,5 м слоя, который хотя пространственно и связан с соответствующими контурами высокого, среднего и низкого влагосодержания, однако не в полной мере отражает их влияние на урожайность биомассы. Последнее может быть связано с возможными пространственными вариациями вертикальных профилей влагозапасов, как по исследованному пространству в моменты мониторинга, так и в течении вегетации. В связи с этим можно предположить, что более адекватными параметрами, которые возможно будут теснее связаны урожайностью биомассы, могут быть влагозапасы слоев почвенного покрова, по мощности сравнимых с корнеобитаемым. Хотя и в этом случае возможны значительные вариации глубины корнеобитаемого слоя во времени и в пространстве, которая тесно связана с предысторией.

## Выводы

Представленные результаты полевого мониторинга, а также пространственного анализа рассчитанных картограмм влагозапасов и урожайности биомассы, полученных на тестовом участке орошаемого посева люцерны, продемонстрировали наличие паттерн обоих параметров, а также нелинейную пространственную корреляцию с их местоположением второго параметра.

Не смотря на значительный разброс значений точек облака вдоль корреляционной полученной куполообразной функции в целом она имеет свое известное логическое объяснение о снижении биопродуктивности сельскохозяйственных посевов в местах с повышенными и пониженными влагозапасами корнеобитаемого слоя почвенного покрова по отношению к местам с оптимальными влагозапасами.

Полученный результат свидетельствует о перспективности применения методов проксимальной влагометрии почвенного покрова для целей формирования массивов данных влагозапасов при управлении дифференцированным по пространству орошаемого сельскохозяйственного посева водным режимом корнеобитаемого слоя почвенного покрова.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-29-05261.

## Список литературы / References

1. Зейлигер А. М. Точное (дифференцированное) орошаемое земледелие - технология повышения эффективности орошения и снижения нагрузки на окружающую среду // Сборник научных докладов ВИМ. 2010. т. 2. с. 633-638.
2. Зейлигер А. М., Музылев Е. Л., Старцева З. П., Ермолаева О. С., Сухарев Ю. И. Компьютерный анализ режимов водного стресса орошаемых агроценозов с использованием SWAP-модели, а также данных наземного и космического мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019, т.16, No. 3 с. 33-43. <https://DOI/10.21046/2070-7401-2019-16-3-33-43>.
3. Якушев В. П. На пути к точному земледелию / В.П. Якушев. Санкт-Петербург: Изд-во ПИЯФ РАН, 2002. — 458 с.
4. Zeyliger, A.M.; Ermolaeva, O.S. Water Stress Regime of Irrigated Crops Based on Remote Sensing and Ground-Based Data. *Agronomy* 2021, 11, 1117. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061117>.

## CASE OF SPATIAL CORRELATION BETWEEN BIOMASS YIELD OF SOWING IRRIGATED ALFALFA AND MOISTURE RESERVES OF SOIL COVER

O. S. ERMOLAEVA <sup>1</sup>, A. M. ZEYLIGER <sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Russian State Agrarian University MTA, Moscow, Russia, ol\_ermolaeva@mail.ru;*

<sup>2</sup> *Russian State Agrarian University MTA, Moscow, Russia, azyliger@mail.ru*

**Abstract.** To increase the efficiency of the irrigation water using in irrigated agriculture and reduce its negative impact on the environment, technologies are needed to obtain reliable data on the moisture content of the soil cover within the irrigated field. Cartographic analysis of time-matched arrays of field data on the bioproductivity of irrigated alfalfa and soil moisture reserves revealed stable patterns associated with elements of the earth's surface, as well as the boundaries of the irrigated contour. Geospatial correlation analysis of geodata arrays of both variables made it possible to identify the presence of a dome-shaped correlation function, indicating a lower bioproductivity, a pattern with excessive and insufficient moisture in comparison with zones with intermediate moisture. In general, the results obtained are in agreement with the experimental results obtained on irrigated agricultural small-plot crops with different levels of moisture.

**Keywords.** Moisture mapping, electromagnetic moisture measurement, soil cover, moisture content, irrigated alfalfa, biomass yield, spatial correlation.

## ОЦЕНКА ЗАСОРЁННОСТИ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЁМКИ

С. В. ЖЕЛЕЗОВА<sup>1</sup>, В. Е. ВЕЛЛЕР<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ Всероссийский НИИ фитопатологии

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева

**Аннотация.** Мультиспектральная съёмка была использована для выявления очагов сорной растительности в агрофитоценозах озимой пшеницы на полигоне Центра точного земледелия РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева в период с 2017 по 2020 гг. По разнице индекса NDVI чистых и засорённых посевов определяли присутствие в посевах сорной растительности. Съёмку посевов проводили как наземными методами с применением приборов GreenSeeker RT-200 и GreenSeeker Handheld, так и дистанционно с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom 4 с мультиспектральной камерой Parrot Sequoia. Для разных сроков обследования посевов зерновых от всходов до уборки вычислены пороговые значения, позволяющие констатировать наличие и обилие сорняков в посевах. По результатам мультиспектральной съёмки возможно построение пространственных карт состояния посевов с выделением зон, где превышен порог вредоносности сорных видов. На основе таких карт создается файл предписания для обработки поля гербицидами с переменной нормой внесения, согласно степени засорённости посевов.

**Ключевые слова:** зерновые культуры, сорные растения, мультиспектральная съёмка, вегетационный индекс NDVI

### Введение

Борьба с сорными растениями в посевах зерновых культур – необходимый элемент современной технологии производства зерна. В мире в настоящее время применение гербицидов на зерновых культурах по-прежнему возрастает (Kniss, 2017). Переход на внесение гербицидов в дифференцированных дозах, назначаемых в зависимости от реальной степени засорённости посевов, позволил бы снизить себестоимость продукции растениеводства и в целом пестицидную нагрузку на агроэкосистемы. Для осуществления такого сценария необходима современная сельскохозяйственная техника с возможностью дифференцированного внесения пестицидов (Балабанов с соавт., 2016). Прежде, чем осуществлять внесение пестицидов с переменной нормой расхода, необходимо создать карту-задание на опрыскивание на основе пространственной картины распространения сорняков. Таким образом, первым этапом создания карты-задания является обнаружение сорной растительности в посевах. Для обнаружения сорняков в посевах и оценки степени засорённости посевов можно использовать различные инструментальные методы на основе применения мультиспектральной съёмки (Castaldi et al., 2012; Torres-Sánchez et al., 2014; Dammer, 2016; Lameski et al., 2018; Альт с соавт., 2018; Смук, 2019). Для выявления присутствия и оценки обилия сорняков в посевах мультиспектральные камеры с необходимостью пост-обработки изображений, а также оптические датчики со встроенным процессором и алгоритмом обработки съёмки могут быть установлены на наземные носители и на беспилотные летательные аппараты (БПЛА). При использовании любых камер и датчиков на любом носителе первый шаг оценки засорённости – экспертная оценка. Следующим шагом является накопление большого количества данных и создание алгоритмов искусственного интеллекта на основе обучающих выборок (Веллер с соавт., 2020).

**Цель исследований:** выявить пороговые значения присутствия сорняков в посевах зерновых культур на основе применения мультиспектральной съёмки камерами и датчиками разных конструкций.

## Материалы и методы исследования

Оценку засорённости посевов зерновых культур (озимой пшеницы, ярового ячменя, викоовсяной смеси) на основе мультиспектальной съёмки проводили в разные фазы развития посевов в период с 2017 и 2020 гг. на полигоне Центра точного земледелия РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева. В опыте сравниваются две технологии обработки почвы: традиционная обработка на основе отвальной вспашки и ресурсосберегающая технология на основе минимальной и нулевой обработки почвы. Объектом исследования были сообщества сорных растений в посевах. В течение всего вегетационного сезона в опыте Центра точного земледелия (ЦТЗ) еженедельно оценивают вегетационный индекс NDVI посева с применением приборов GreenSeeker RT200 и GreenSeeker Handheld (Trimble), а также проводят съёмку посевов с БПЛА 2–3 раза в сезон с разрешающей способностью 5 см/пиксель. Засорённость посевов для данного исследования определяли в фазы всходов (ВВСН 12–13), кущения (ВВСН 21–23), выход в трубку (ВВСН 30–33) и по мере созревания, вплоть до восковой спелости (ВВСН 75–85). Одновременно с оценкой индекса NDVI проводили экспертную оценку состояния посевов и определяли уровень засорённости визуальным и количественно-весовым методами, что позволило задать пороговые значения NDVI для мест с высокой засорённостью. Присутствие сорных видов в посевах на всей площади поля детектировали по превышению среднего значения NDVI для данного срока обследования.

## Результаты и обсуждение

По результатам многолетних наблюдений в опыте ЦТЗ было выявлено, что на вариантах с ресурсосберегающей технологией засорённость посевов существенно выше, чем на вариантах с традиционной технологией обработки почвы (Железова, 2019). Этот вывод основан на результатах прямых учётов численности сорняков, и также подтверждается данными мультиспектральной съёмки по индексу NDVI посева. Присутствие сорных растений в начальные фазы развития зерновых культур выявляется по повышенным значениям индекса NDVI в местах с высокой засорённостью (рис. 1).

На посевах ячменя было показано, что на начальной стадии их развития присутствие даже мельчайших всходов сорняков с низкой биомассой повышает значение индекса NDVI в два-три раза по сравнению с NDVI чистого посева в фазу конец кущения (рис. 2). Такая же тенденция была отмечена другими исследователями (Полин с соавт., 2013). Полевое сообщество ячменя и сорняков включает две составляющие: условно «равномерное» присутствие всходов ячменя и условно «случайное» присутствие сорных видов. По мере развития посева вклад этих двух составляющих в NDVI и биомассу может проявляться совершенно по-разному, что зависит как от общего плодородия участка, так и от конкурентных отношений видов. На модельных площадках в посевах ячменя в фазу начала выхода в трубку (ВВСН–31–32) было показано, что NDVI и биомасса всходов культурных растений связаны линейной связью (рис. 2, *маркер 1* ●, табл. 1). В случаях, когда между всходами ячменя располагались всходы сорняков, отмечено, что при общем увеличении показателя NDVI в присутствии сорняков общая (суммарная) биомасса растений на таких участках была ниже уровня биомассы участков посева без сорняков. Это показано на рисунке 2: линия с *маркером 2* (○) проходит ниже, чем линия с *маркером 1* (●). Для сравнения на этом же рисунке показана и связь между NDVI и биомассой разновидовых растительных сообществ сорных видов, эта связь нелинейная (рис. 2, *маркер 3* +, табл. 1).

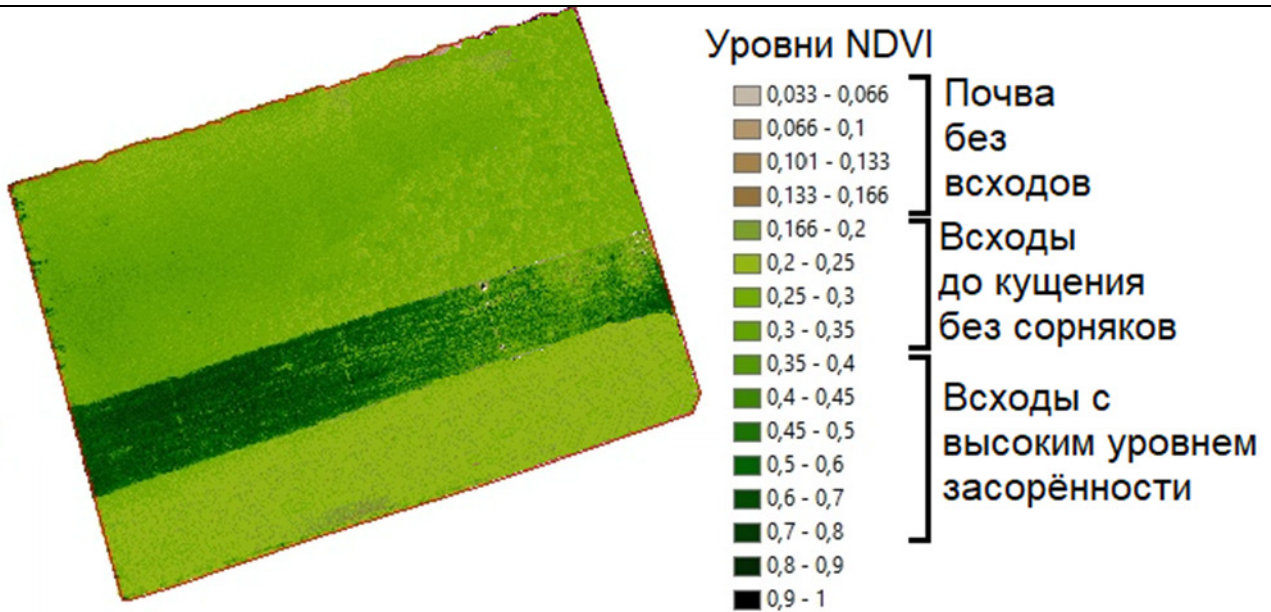


Рисунок 1 – Пространственное распределение вегетационного индекса NDVI по всходам викоовсяной смеси в фазу всходов (BBCH 12–13) на поле №1 Центра точного земледелия 13 мая 2020 г. Тёмная полоса (NDVI >0,5) соответствует варианту опыта с нулевой обработкой почвы и высоким уровнем засорённости посевов (до 100% проективного покрытия).

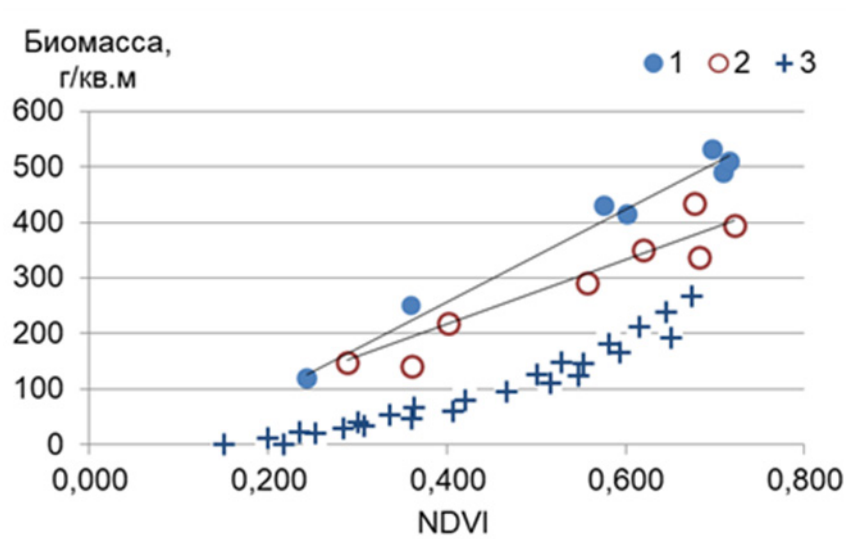


Рисунок 2 – Функциональная связь вегетационного индекса NDVI с биомассой растений разных участков агрофитоценоза в начале вегетации:

1 ● – посев ячменя без сорных растений; 2 ○ – посев ячменя в присутствии сорных растений, где сорняки составляют 0,2–30% от всей биомассы растений на площадке; 3 + – сообщества сорных растений без ячменя (объединённые данные по трём экспериментам).

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия      14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1 – Уравнения регрессии для зависимости биомассы от индекса NDVI  
 (на примере сорно-полевых сообществ разного состава)

Номера маркеров на рисунке 2	Уравнение	R <sup>2</sup>	Описание сорно-полевого сообщества
Маркер 1 (●).	$Y = 834,81x - 77,20$	R <sup>2</sup> = 0,98	Одноярусное, ячмень, в фазе выхода в трубку
Маркер 2 (○).	$Y = 579,87x - 15,38$	R <sup>2</sup> = 0,87	Двухъярусное, ячмень в фазе выхода в трубку и сорняки разных видов (при их проективном покрытии 0,2–30%)
Маркер 3 (+).	$Y 786,16 x^2 - 191,23 x + 17,49^*$	R <sup>2</sup> = 0,97*	Сорные сообщества без всходов ячменя

\* для приведенного уравнение полинома второго порядка линия регрессии на рис. 2 не показана

В пиковую фазу развития посевов зерновых, во время колошения и цветения (ВВСН 55–61) определить наличие сорняков в посевах по результатам мультиспектральной съёмки и по индексу NDVI практически невозможно, т.к. и культурные, и сорные растения достигают пиковых значений NDVI, около 0,8–0,85. Исключение составляют случаи, когда при сильной засорённости посевов высокорослые сорняки опережают в развитии культурные растения и в пик развития посевов сорные виды уже начинают засыхать и желтеть, что в целом снижает общий показатель NDVI для такого места на поле. Это было отмечено нами для злакового сорняка костёр полевой в посевах озимой пшеницы в сезон 2018 г. (Веллер с соавт., 2020). Если в обычных условиях развития посева присутствие сорняков повышает показатель NDVI, т.е. наблюдается превышение порога NDVI для нормального развития посевов, то в случае с костром в середине вегетации наблюдается обратная картина, NDVI засорённых мест ниже порогового значения NDVI для посева в целом.

Вклад многолетних сорняков в показатель NDVI и зеленую биомассу посева существенно проявляется также и в более поздние фазы развития, в период созревания зерновых. В это время значительно снижается площадь листовой поверхности и изменяется световой режим под пологом посева. Многолетние сорняки с большой биомассой выходят в верхний ярус практически без конкуренции за свет. Пятна распространения многолетних сорняков можно легко определить по существенному повышению значения NDVI посева по сравнению с местами, где сорняков мало (рис. 3, а, в). По результатам полевого эксперимента в опыте ЦТЗ в 2017 г. соотношение биомассы сорняков и ячменя было описано двумя противоположными сценариями: в разных местах на одном и том же поле была выявлена как обратная зависимость, так и прямая (рис. 3, б). Обратная зависимость была отмечена на местах, где сорняки в той или иной степени ещё продолжали вегетацию, а ячмень к моменту обследования уже был в фазе созревания или полностью созрел. Чем лучше была развита биомасса ячменя (высота, густота стояния посева) – тем меньше было вегетирующих сорняков и меньше их вклад в NDVI. В тех частях поля, где почва наиболее плодородна, биомасса ячменя была максимальной, и на момент обследования ячмень ещё продолжал вегетацию и оставался зеленым (переход от молочной к восковой спелости, ВВСН–77–85), но также и биомасса сорняков, в первую очередь, вьюнка полевого, на этих местах была наивысшей (рис. 3, в). Для таких мест характерна прямая зависимость биомассы ячменя и сорняков, здесь пиковые показатели NDVI в целом на учётной



площадке выше, чем в среднем по полю, и для данного срока обследования это связано в первую очередь с максимальными значениями NDVI сорняков.

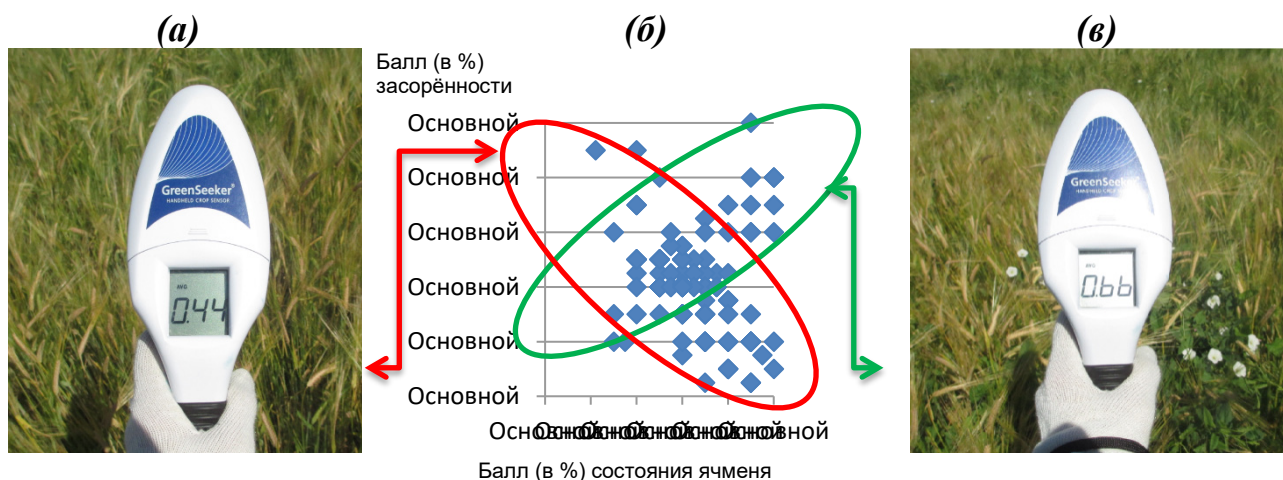


Рисунок 3 – Индекс NDVI посева ячменя в фазу ранней восковой спелости при низкой (а) и высокой (в) засорённости вьюнком полевым, и соотношение балльных оценок биомассы ячменя и сорняков (б) на поле №2 Центра точного земледелия 14 августа 2017 г.

## Заключение

Одним из результатов мультиспектральной съёмки посевов является определение вегетационного индекса NDVI, который зависит от зеленой биомассы растений и косвенно отражает наличие сорной растительности в посевах. Определение пороговых значений индекса NDVI и построение карт пространственного распределения NDVI выше пороговых позволяет оценить не только наличие сорной растительности в посевах, но и площадь наибольшего распространения сорняков. На основании этих данных создаются файлы предписания для применения гербицидов с переменной нормой внесения.

## Список литературы / References

1. Kniss, R.A. Long-term trends in the intensity and relative toxicity of herbicide use // Nature Communications. 2017, 8. Article № 14865
2. Балабанов, В.И. Технологии, машины и оборудование для координатного (точного) земледелия. Учебник / В.И. Балабанов, В.Ф. Федоренко, В.Я. Гольяпин, С.В. Железова, В.Ю. Куликов, А.В. Петрушин, Н.А. Прокофьев, и др. – М.: «Росинформагротех», 2016. – 220 с.
3. Castaldi F., Pelosi F., Pascucci S., Casa R. Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize / Precision Agriculture. – 2012. – V. 13 (3). – P. 302–321. DOI: 10.1007/s11119-016-9468-3
4. Torres-Sánchez J., Peña J. M., de Castro A. I., López-Granados F. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV / Comp. and Electronics in Agriculture. – 2014. – V. 103. – P. 104–113. DOI:10.1016/j.compag. 2014.02.009.
5. Dammer K.-H. Real-time variable-rate herbicide application for weed control in carrots / Weed Research. – 2016. – V. 56 (3). – P. 237–246. DOI: 10.1111/wre.12205
6. Lameski P., Zdravevski E., Kulakov A. Review of Automated Weed Control Approaches: An Environmental Impact Perspective // Springer Nature Switzerland AG: ICT 2018, CCIS 940. – P. 132–147. DOI: 10.1007/978-3-030-00825-3\_1

7. Альт, В.В. Автоматизированное обнаружение сорняков и оценка качества всходов сельскохозяйственных культур по RGB-изображениям / В.В. Альт, и др. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2018. – Т. 48(5). – С. 52–60. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-7
8. Смук, В.В. Дистанционный мониторинг засоренности посадок картофеля в периоды до и после появления всходов / В.В. Смук, А.М. Шпанев // Агрофизика. – 2019. – № 4. – С. 46–53. DOI: 10.25695/AGRPH.2019.04.07
9. Веллер, В.Е. Инструментальные методы обнаружения сорной растительности в посевах зерновых культур / В.Е. Веллер, А.С. Салмин, И.М. Черкасов, С.В. Железова // «Вклад агрофизики в решение фундаментальных задач сельскохозяйственной науки». – С-Пб.: ФГБНУ АФИ, 2020. – С. 624–631.
10. Железова С.В. Прямой посев и вспашка: десятилетний комплексный мониторинг агрофитоценозов в Центре точного земледелия РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева // Сборник научных трудов ГНБС. – 2019. – Т. 148. – С. 60–67.
11. Полин, В.Д. Использование оптических датчиков в борьбе с сорными растениями в системе точного земледелия / В.Д. Полин, И.А. Смелкова, Д.Г. Туляков // Нивы Зауралья. – 2013. – № 9 (109). – С. 76–79.

#### MULTISPECTRAL SURVEY FOR WEEDS DETECTION IN CEREAL CROPS

S.V. ZHELEZOVA<sup>1</sup>, V.E. VELLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Russian Scientific-Research Institute of Phytopathology*

<sup>2</sup> *Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy*

**Abstract.** Multispectral survey was used for detection and mapping weed societies in cereal crops at the Long-term field experiment of Precision Agriculture Center of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Academy in the period from 2017 to 2020. The presence and abundance of weed vegetation in the crops was determined by the difference in the NDVI index of crops with and without weeds. The survey of crops was carried out both by ground methods using GreenSeeker RT-200 and GreenSeeker Handheld devices, and remotely from an unmanned aerial vehicle (UAV) DJI Phantom 4 with Parrot Sequoia multispectral camera. For different periods of examination of cereal crops from germination to harvesting, threshold values are calculated. Based on the results of multispectral survey, it is possible to create spatial maps of weeds patches on the field. On the basis of such maps, a prescription file is created for treating the field with herbicides with a variable application rate, according to the degree of crop contamination with weeds.

**Keywords.** Cereal crops, weeds, multispectral survey, NDVI

**КРАТКОСРОЧНЫЙ, ДОЛГОСРОЧНЫЙ И МНОГОЛЕТНИЙ ФИТОСАНИТАРНЫЙ МОНИТОРИНГ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ПЛАНИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ МОНИТОРИНГ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕСТИЦИДОВ (МЕТОД И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ)**

В. А. ЗАХАРЕНКО

Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Московская обл, Одинцовский р-н, [zwa@mosniish.ru](mailto:zwa@mosniish.ru)

**Аннотация.** Впервые представлен метод корреляционно-регрессионного анализа результатов краткосрочного, долгосрочного, многолетнего фитосанитарного мониторинга, фактического и прогнозируемого суммарного проведения обработок агроэкосистем пестицидами групп инсектицидов и фунгицидов для защиты растений от вредителей и болезней, Метод приемлем на всех уровнях сельскохозяйственного производства от поля до хозяйства, региона и страны в целом. Реализация метода представлена по результатам оценки площадей мониторинга фитосанитарного состояния агроэкосистем, фактических и прогнозируемых показателей использования пестицидов в Российской Федерации за период (2011-2015 гг.).

**Ключевые слова.** Метод корреляционно-регрессионного анализа, линейный тренд, метода наименьших квадратов, объемы защитных мероприятий, химические пестициды, биологические средства защиты растений.

Целью рассматриваемых исследований является использования метода корреляционного - регрессионного анализа для обоснования краткосрочного (в течение нескольких дней до месяца в году) долгосрочного (с заблаговременностью на год), многолетнего прогнозирования и планирования (с заблаговременностью на 3 и 5 лет) объемов защитных мероприятий (по площадям и в тоннаже используемых средств защиты растений) по уровням сельскохозяйственного производства от сельскохозяйственного предприятия до региона, федерального округа и страны с учетом данных фитосанитарного состояния агроэкосистем в целом в растениеводстве и по культурам (группам культур), в целом по группам вредных организмов (вредители, возбудители болезней и сорняки); потребности в пестицидах (в целом; по группам химических и биологических средств защиты растений).

Разработанный метод рассматривается на уровне Российской Федерации. Исходные данные на первом этапе используются для корреляционного анализа связи объема защитных мероприятий, определенных на основе суммарных прогнозируемых данных площадей краткосрочного мониторинга фитосанитарного состояния агроэкосистем и соответственно площадей проведенных защитных мероприятий с использованием пестицидов против групп вредным организмов в сельскохозяйственных предприятиях и крестьянских (фермерских) хозяйствах и площадей обработок химическими пестицидами и биологическими средствами защиты растений на уровне сельскохозяйственных предприятий и хозяйств обобщаемых в целом в стране по анализируемым ежегодно данным МСХ Российской Федерации, ФГБУ «Россельхозцентр». В таблице представлены обобщенные показатели площадей фитосанитарного состояния, прогнозируемых площадей и площадей, обработанных против вредителей и возбудителей болезней на основе «Обзоров фитосанитарного состояния сельскохозяйственных культу в Российской Федерации» в 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 гг., 2016 годах.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица. Обобщенные показатели площадей фитосанитарного состояния.

Годы (№ годов)	Защита растений от вредителей и возбудителей болезней, всего тыс. га		
	Фитомониторинг	Прогнозируемая площадь обработок	Фактическая обработанная площадь
2011 (1)	185404	26729	29720
2012 (2)	182182	30520	32085
2013 (3)	171914	32023	35508
2014 (4)	171684	33090	35409
2015 (5)	156334	34360	36009
Суммарные показатели	867518	156722	168731
Среднее арифметическое	173504	31344	33746
Стандартное отклонение	11375	2940	2737

Для измерения тесноты связей показателей проводится оценка парной корреляционной с расчетом коэффициент корреляции:

$$\text{Correl}(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

В результате расчета с использованием уравнения:

$$\text{Correl}(X, Y); r_{xy} = 308733858 / \sqrt{34583014 * 29958979} = 308733858 / (5880,732 * 5473,48) = 0,959171;$$

получен показатель корреляционной связи  $r_{xy} = 0,959171$ .

Рабочая таблица используется также для расчетов уравнения линейного тренда  $Y_t = a + bt$ , со следующими параметрами  $a$  и  $b$ :

$$a = y_{cp} - b * t_{cp};$$

$$b = \sum (y - y_{cp}) * (t - t_{cp}) / \sum (t - t_{cp})^2.$$

В соответствии с показателями таблицы рассчитаны параметры и уравнение связи между фактическими и прогнозируемыми показателями:

$$a = 33746 - (0,892746 * 31344) = 5763,76;$$

$$b = 0,892746;$$

и уравнение связи

$$Y_t = 5763 + 0,892746 * x.$$

Рассматриваются тенденция динамики временных рядов прогнозируемого и фактического за пятилетний период (2011-2015 гг.), также за 3 года (2016-2018 гг.) в соответствии с представленными данными в таблице.

При прогнозировании показателей в динамике за три года (после последнего года пятилетки, учитываемого с экстраполяцией в расчете для  $t = 8$  лет)  $y_t = a + b * t = 28975,4 + (1590,2 * 8) = 41695$  тыс. га и за 5 лет для  $t = 10$  лет)  $y_t = a + b * t = 28975,4 + (1590,2 * 10) = 44875$  тыс. га.

Как отмечено ранее, в соответствии с моделью расчета фактический показатель 2017 г. оказался с возможным разовым завышенным воздействием (51907 тыс. га), превышающим расчетный по тренду показатель  $y_t = a + b * t = 28975,4 + (1590,2 * 7) = 28975,4 + 11131,4 = 40106,8$  тыс.

га. Существенное разовое отклонение требовало дополнительного объяснения факторов, оказавших воздействие на фактический показатель 2017 года (первого года после предшествующих лет резкого повышения цен на пестициды).

### **Заключение**

Представлено изложение разработанного корреляционно-регрессионного анализа с линейным трендом на основе использования метода наименьших квадратов и в качестве модели  $Y_t = a + b \cdot t$  для долгосрочного и многолетнего прогнозирования объемных показателей суммарного проведения обработок агроэкосистем химическими пестицидами и биологическими средствами защиты. Представлена реализация метода на уровне России в период реформирования экономики аграрного сектора России за 2011-2015 гг. с использованием данных ФГБУ «Россельхозцентр» «Обзоров фитосанитарного состояния сельскохозяйственных культур в Российской Федерации».

Метод может использоваться на разных уровнях управления аграрным сектором страны от хозяйственного до регионального, федерального и уровня страны в целом при использовании данных краткосрочного мониторинга и прогноза на соответствующих уровнях от поля в системе государственной службы фитосанитарного прогнозирования и хозяйственной агрономической службой в разных аспектах (в отраслевом аспекте по культурам, по основным экономически значимым вредным организмам, по объемам защитных мероприятий по площадям и используемым средствам защиты растений). Метод расчета представленный в статье с использованием ПК «Excel» предлагается для практического использования.

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке гранта SAIA № 123456-78. Авторы выражают признательность Сергееву А.А. за выполнение химических анализов растений.

### **Список литературы / References**

1. Захаренко В.А., Судариков В.Г., Хардинов Ю.С., Захаренко А.В. Оптимизация фитосанитарного состояния сельскохозяйственных угодий с использованием программ для ПЭВМ. РАСХН, 2001, М.- 80 с.
2. Кюн Ю. Описательная и индуктивная статистика. Финансы и статистика, 1981.-126 с. (перевод с нем.)

### **SHORT-TERM, LONG-TERM AND MULTI YAR PHYTOSANITARY MONITORING, FORECASTING, SCOPE OF PESTICIDE MONITORING AND USE (METHOD AND ITS IMPLEMENTATION)**

V. A. ZAKHARENKO

*Federal Research Center «Nemchinovka», Moscow region, Russia, zwa@mosniish.ru*

**Abstract.** For the first time, a method of correlation and regression analysis of the results of short-term, long-term, long-term phytosanitary monitoring, actual and predicted total treatment of agroecosystems with pesticides of insecticide and fungicide groups to protect plants from pests and diseases is presented. The method is acceptable at all levels of agricultural production from field to farm, region and the country as a whole. The implementation of the method is presented based on the results of assessing the areas for monitoring the phytosanitary state of agroecosystems, actual and predicted indicators of the use of pesticides in the Russian Federation for the period (2011-2015).

**Keywords.** Correlation-regression analysis method, the linear trend, method of least squares, the volume of protective measures, chemical pesticides, biological plant protection products.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЯМИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

И.М. МИХАЙЛЕНКО, В.Н. ТИМОШИН

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),  
Санкт-Петербург, *agrophys.inst@yandex.ru*

**Аннотация.** Программное управление агротехнологиями направлено на получение заданного урожая в конце интервала вегетации за счет формирования последовательности технологических операций (оптимальных программ управления), реализуемых в моменты смены наиболее характерных фенофаз возделываемой культуры. Оптимальные программы управления формируются для средних многолетних значений климатических факторов и параметров используемых математических моделей, полученных на предшествующем периоде вегетации. Фактические отклонения значений климатических факторов от средних многолетних значений и возмущения параметров математических моделей приводят к необходимости коррекции оптимальных программ управления в реальном времени. Интеллектуализация управления в реальном времени заключается в переходе к экспертным системам и использовании облачной информационной технологии. При этом база знаний экспертной системы включает в себя сегменты вариантов оптимальных программ управления и моделей пространственных корректоров. Эта база знаний передается на локальные экспертные системы, которые также включают в себя блоки локального оценивания параметров состояния посевов и почвенной среды, а также блок формирования локального управления на основе полученных оценок и базы знаний.

**Ключевые слова:** оптимальные программы управления, коррекция в пространстве и во времени, экспертные системы управления, базы знаний, математические модели, оценивание параметров.

### Введение

Научно-методические основы интеллектуализации управления агротехнологиями уже нами рассматривались в работах [3, 4, 6]. Здесь уделялось внимание задачам стратегического и программного уровней управления. На стратегическом уровне согласовываются между собой технологии возделывания культур в составе севооборота. На уровне программного управления формируются технологические операции, реализуемые в течение одного вегетационного периода с учетом смены фенофаз культуры [1, 2]. Такие оптимальные программы управления формируются для средних многолетних значений климатических условий. Если бы реальные климатические условия всегда соответствовали средним многолетним значениям, а параметры используемых математических моделей, как и время наступления фенофаз, оставались бы неизменными, то оптимальные программы управления, полученные перед началом сельскохозяйственного сезона, являлись бы неизменными и в реальном времени. Но на самом деле климатические условия не всегда соответствуют средним многолетним значениям, в силу внутренних непредсказуемых изменений возмущаются параметры всех используемых математических моделей, а кроме того, состояние почвенной среды, а вместе с ней и состояние посевов всегда неоднородно по площади поля. Управление в реальном времени, как раз и призвано компенсировать все вышеуказанные возмущения и неопределенности. Более строго его задачами являются:

- уточнение оптимальных программ управления при обнаружении факта существенного отклонения климатических условий от средних многолетних значений, по которым синтезировался текущий вариант оптимальной программы управления;
- уточнение оптимальных программ управления при обнаружении факта существенного отклонения параметров используемых математических моделей;
- реализация во времени технологических операций по факту реального наступления фенологических фаз;
- коррекция параметров технологических операций, в связи с пространственной неоднородностью параметров состояния посевов и почвенной среды.

Целью настоящей работы является представление нового подхода к управлению агротехнологиями в реальном времени, включающей в себя обоснование структуры системы и алгоритмов, направленных на решение приведенных выше задач.

### **Объекты и методы исследования**

Структурная схема алгоритма управления, реализующего все вышеперечисленные задачи, представлена на рис.1. Для функционирования алгоритма необходимо выполнить предварительные исследования объекта управления, по результатам которых оцениваются параметры математических моделей, а также параметры пространственных корректоров технологических операций. Перед началом очередного вегетационного периода на основании параметров математических моделей и средних многолетних значений метеофакторов синтезируется оптимальная программа управления. С началом вегетации периодически (через 2–3 суток) на метеостанции осуществляется контроль реальных метеопараметров, а на тестовых площадках посева (число которых составляет 10-15 шт., а площадь каждой площадки – 20–30 м<sup>2</sup>) измеряются реальные параметры биомассы посева и параметры почвенной среды. Эти измерения осуществляются, как приборными средствами, так и путем отбора проб. Одновременно с этими измерениями, с такой же периодичностью средствами ДЗЗ осуществляется аэрофотосъемка поверхности посева вместе с тестовыми площадками.

Полученная информация о реальных метеофакторах, параметрах состояния посева и почвы, а также параметры отражения в данных ДЗЗ сравниваются в базе данных (БД) с прогнозными или моделируемыми значениями. Если в результате сравнения в БД отклонения укладываются в допустимые допуски, то оптимальная программа управления воспроизводится в реальном времени без коррекции и эти управления обрабатываются роботизированными сельскохозяйственными машинами, как это указано в работах [1, 5]. Если отклонения реальных значений метеофакторов от прогнозных значений превышают заданный допуск, то осуществляется повторный синтез оптимальной программы управления для уточненного прогноза метеофакторов. В тех случаях, когда реальные параметры состояния посева и почвенной среды, как и параметры отражения в данных ДЗЗ, отличаются от моделируемых значений на величины, превышающие заданный допуск, что сначала уточняются параметры соответствующих математических моделей, а затем уже осуществляется повторный синтез оптимальной программы управления.

При отработке управления на основании математических моделей динамики параметров посева с учетом фаз, динамики параметров почвы и моделей оптических измерений ДЗЗ осуществляется оценивание параметров посева и почвенной среды, сначала в среднем по площади поля, а затем их пространственная коррекция корректорами. По пространственным оценкам параметров посева и почвенной среды формируется окончательное управление, для реализации которого требуется наличие роботизированных машин с возможностями локального воздействия на элементарных участках. При отсутствии таких машин осуществляется только управление в среднем по площади поля или по однородным зонам, определяемым по параметрам почвенной среды. Непосредственные технологические воздействия производятся при наступлении выбранных фаз посева, обнаружение которых осуществляется по данным ДЗЗ в моменты пролета беспилотного летательного аппарата над полем с посевом, состояние которого управляется посредством рассматриваемой системы.

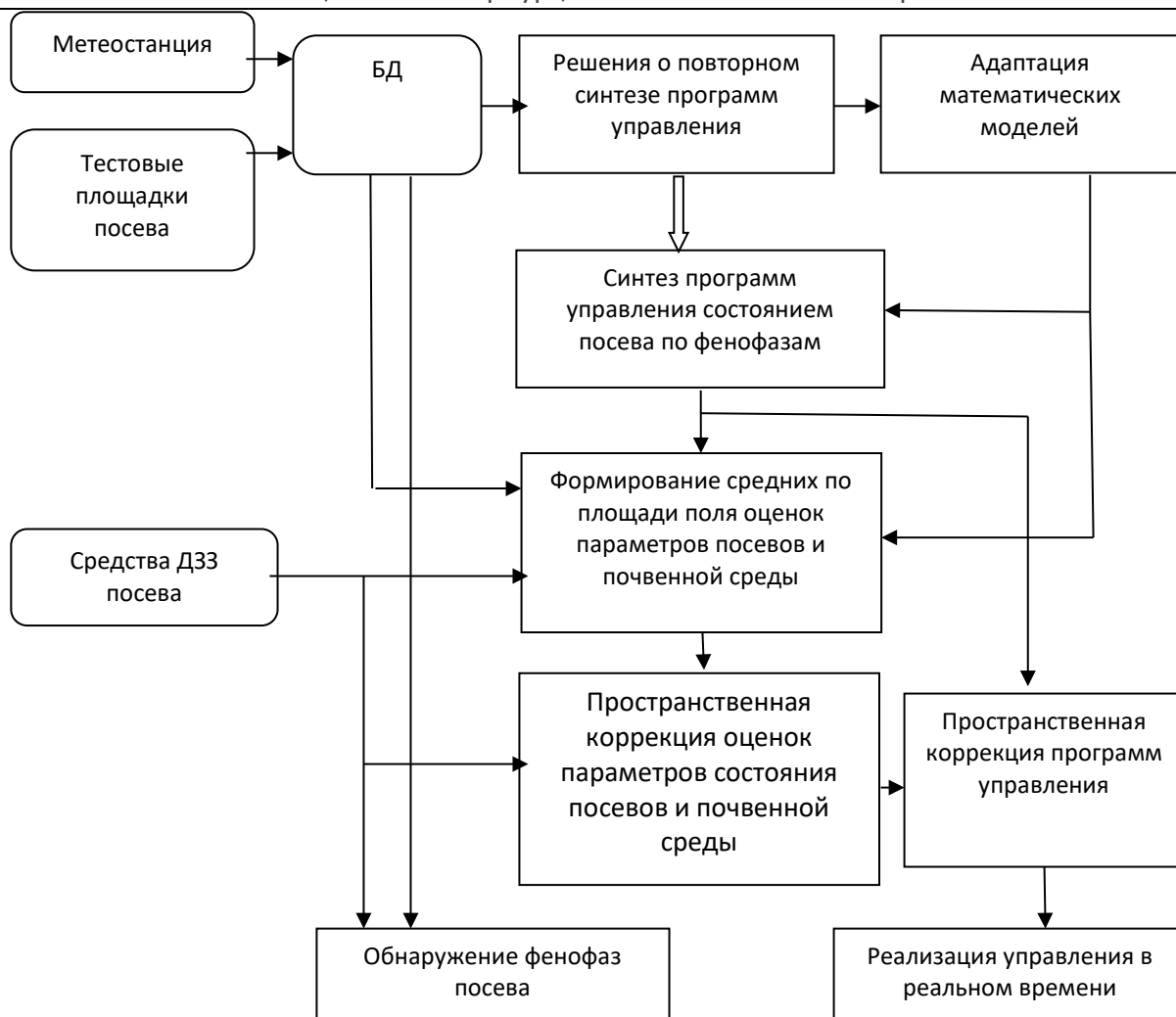


Рис. 1. Блок-схема алгоритма управления агротехнологией в реальном времени.

## Результаты и обсуждение

Интеллектуализация управления заключается в переходе к экспертным системам, в которых решения принимаются на основе баз знаний (БЗ) [4,6]. При этом БЗ знаний формируются в облаке путем многократного решения задачи управления для различных вариантов условий и передаются на локальные системы, где пользователи самостоятельно находят наиболее эффективные варианты решений. Для стратегического и программного уровней управления формирование и передача БЗ не представляет серьезных трудностей, так как они решают одну задачу и для их решения используют одни и те же алгоритмы [1]. Как уже показано выше, уровень управления реального времени состоит из нескольких переплетающихся между собой задач, что значительно усложняет процедуру формирования БЗ, которые могут иметь более сложную сегментную структуру.

Для формирования структуры БЗ сначала необходимо разделить функции и задачи управления, представленные на рис.1 на те, которые можно реализовать локальными автоматизированными системами управления агротехнологиями (АСУАТ), и те, которые должны быть вынесены в облачные центры обработки данных, обслуживающие все локальные АСУАТ региона. Такое разделение представлено на блок-схеме рис. 2.



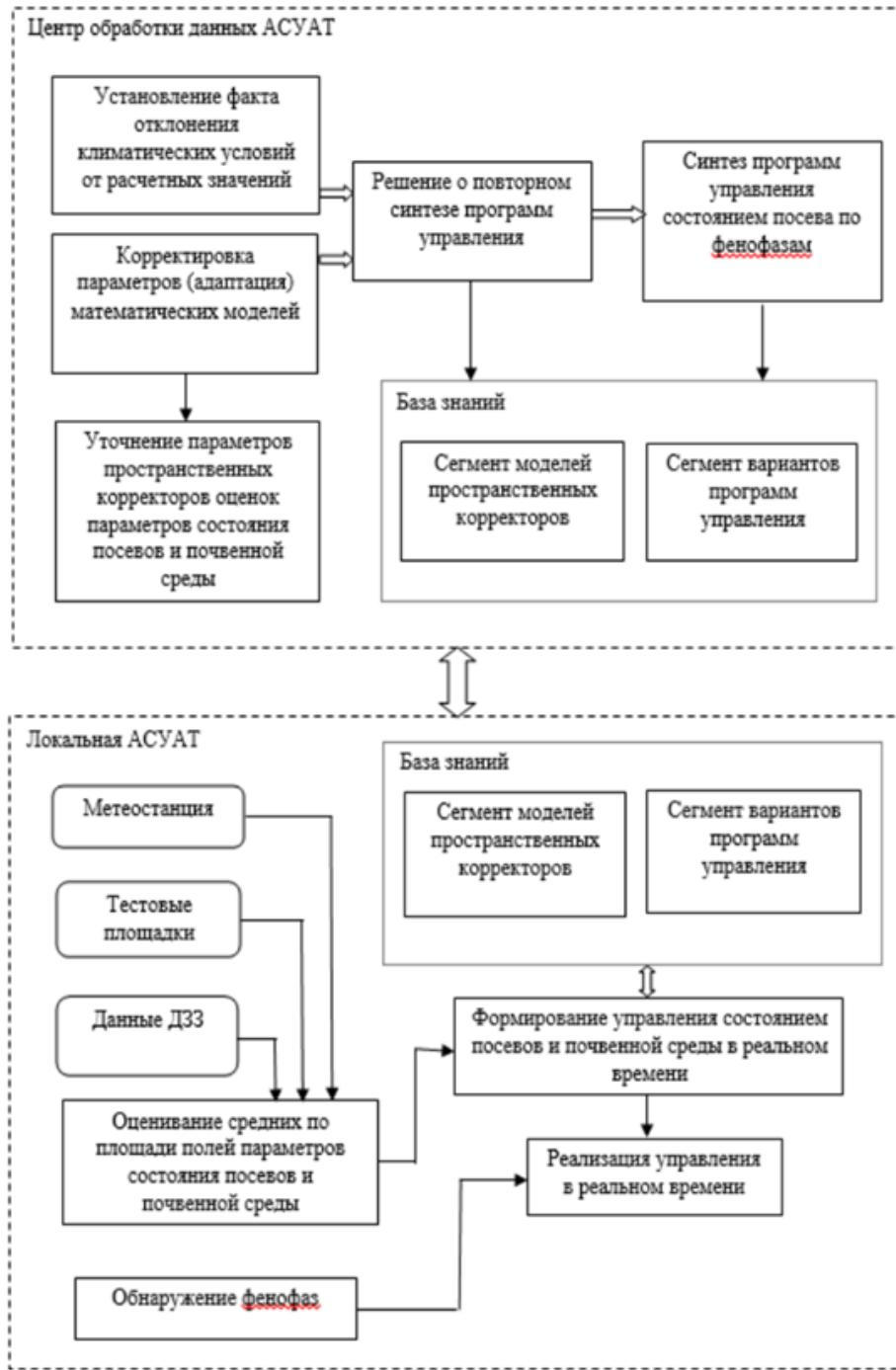


Рис. 2. Блок-схема интеллектуальной системы управления агротехнологиями в реальном времени

Здесь в облачный центр обработки данных вынесены задачи и функции, реализация которых требует наличия сложного программно-математического аппарата и высококвалифицированного персонала. К таким задачам относятся принятие решений по формированию и само формированию сегмента БЗ по вариантам оптимальных программ управления, включая функции адаптации используемых математических моделей. Кроме того, на уровень центра обработки выносятся функции по уточнению параметров моделей пространственных корректоров оценок параметров посевов и почвенной среды. Сформированная БЗ передается на уровень локальной АСУАТ, где на ее основе формируется

локальное управление агротехнологиями. Для его формирования кроме оптимального варианта программы управления в среднем по площади поля, используются функции оценивания параметров состояния посева и почвенной среды, как в среднем по площади поля, так и по всем локальным участкам. На основании этих оценок формируется управление в реальном времени с учетом пространственной неоднородности состояния посевов и почвенной среды. Реализация такого управления происходит в моменты времени обнаружения фенофаз, когда оно поступает в виде заданий на автоматизированные технологические машины, которые формируют локальные дозы внесения удобрений и нормы поливов [6, 7, 8].

## Выводы

Предложен новый подход к созданию интеллектуальных систем управления в точном земледелии. Он основан на использовании облачных информационных технологий и экспертных систем управления, в которых база знаний формируется в облаке и передается на локальные системы управления. При этом генератором знаний является алгоритм оптимального управления состоянием сельскохозяйственной культуры. Алгоритм управления включает в себя процедуры коррекции оптимальных программ управления во времени и в пространстве. Коррекция во времени связана с реальными отклонениями от расчетных значений климатических факторов и параметров используемых математических моделей. Коррекция в пространстве направлена на устранение пространственной неоднородности параметров состояния посева и почвенной среды, которые оцениваются по данным дистанционного зондирования Земли. В силу большой размерности задачи для формирования пространственного распределения оценок параметров состояния посевов и почвенной среды, а также для пространственной коррекции управлений предложены аппроксимационные схемы с моделями линейных пространственных корректоров. При этом параметры корректоров оцениваются по результатам многократного решения задач оценивания и управления для различных исходных условий.

## Список литературы / References

1. Михайленко И. М. Теоретические основы и техническая реализация управления агротехнологиями. Изд. СПбГТУ. 2017. – 250 с.
2. Михайленко И. М., Тимошин В.Н. Программное управление посевами яровой пшеницы с учетом фенофаз. Евразийский журнал № 8 (65). 2019. часть 4. С. 12-18.
3. Михайленко И. М. Интеллектуализация управления агротехнологиями. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. №2. С. 24-31.
4. Михайленко И. М., Тимошин В.Н. Экспертные системы управления агротехнологиями в облачных информационных системах. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. №3. С. 12-18.
5. Михайленко И. М. Управление агротехнологиями и роботизированные средства реализации. Инновации в сельском хозяйстве. 2019. №1(3). С. 242-258.
6. Михайленко И. М., Тимошин В. Н. Экспертные системы программного управления в точном земледелии. Вестник российской сельскохозяйственной науки, 2020, №2. С. 11-16.
7. Михайленко И. М., Тимошин В.Н. Программное управление параметрами состояния почвы под посевами яровой пшеницы. АГРОХИМИЯ, 2020, № 8, С. 86–93.
8. Михайленко И. М., Тимошин В.Н. Оценивание параметров состояния биомассы посева яровой пшеницы. Вестник российской сельскохозяйственной науки №1. С.2-6.

## INTELLECTUALIZATION OF AGROTECHNOLOGY CONTROL IN REAL TIME

I. M. MIKHAILENKO, V. N. TIMOSHIN

*Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, [agrophys.inst@yandex.ru](mailto:agrophys.inst@yandex.ru)*

**Abstract.** Programmed management of agricultural technologies is aimed at obtaining a given yield at the end of the growing season due to the formation of a sequence of technological operations (optimal control programs), implemented at the moments of a change in the most characteristic phenophases of the cultivated crop. Optimal control programs are formed for the long-term average values of climatic factors and parameters of the mathematical models used, obtained in the previous growing season. Actual deviations of the values of climatic factors from the average long-term values and perturbations of the parameters of mathematical models lead to the need to correct the optimal control programs in real time. Intellectualization of real-time control consists in the transition to expert systems and the use of cloud information technology. In this case, the knowledge base of the expert system includes segments of variants of optimal control programs and models of spatial correctors. This knowledge base is transferred to local expert systems, which also include blocks for local estimation of the parameters of the state of crops and the soil environment, as well as a block for the formation of local control based on the estimates and knowledge base.

**Keywords:** optimal control programs, correction in space and time, expert control systems, knowledge bases, mathematical models, parameter estimation.

---

## **БАЗА ДАННЫХ «СОРНЫЕ РАСТЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА РАЗНЫХ ТИПАХ МЕСТООБИТАНИЙ»**

Е. Н. МЫСНИК

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений»  
(ФГБНУ ВИЗР), Санкт-Петербург – Пушкин, [vajra-sattva@yandex.ru](mailto:vajra-sattva@yandex.ru)

**Аннотация.** В условиях широкого внедрения цифровизации во все сферы деятельности общества базы данных являются необходимым инструментом для перевода материалов научных исследований в электронный формат. В статье представлены структура и функциональные особенности базы данных «Сорные растения Российской Федерации на разных типах местообитаний», разработанной в ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений».

**Ключевые слова.** Сорные растения, распространение, база данных

### **Введение**

Базы данных широко используются в различных отраслях народного хозяйства, в том числе и в науке. Накопление многолетних фактических данных требует их систематизации и перевода в удобный для анализа формат. При изучении сорных растений также накапливаются большие объемы данных полевых обследований в виде традиционных бумажных бланков описаний, которые требуют значительных трудозатрат на их обработку и анализ. Поэтому использование специализированных баз данных для изучения сорных растений является необходимым.

В ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» сектором гербологии ранее были разработаны и зарегистрированы базы данных «Сорные растения Российской Федерации в научных источниках» (Лунева и др., 2017) и «Сорные растения: гербарная коллекция ВИЗР» (Лунева и др., 2019).

### **Объекты и методы исследования**

База данных «Сорные растения Российской Федерации на разных типах местообитаний» (Мысник, Лунева, 2020) сформирована с использованием специальной ранее разработанной программы «Герболог-Инфо» (Лунева, Лебедева, Мысник, 2016). Интерфейс базы данных выполнен путем программирования в Microsoft Visual Foxpro 6.0 Professional Edition. Информационный массив базы данных сформирован путем анализа, отбора и внесения в программу материалов полевых описаний местообитаний разного типа (сеgetальных, рудеральных, залежей, местообитаний на территории населенных пунктов) на территории различных регионов Российской Федерации за период 2000 – 2019 гг.

### **Результаты и обсуждение**

База данных «Сорные растения Российской Федерации на разных типах местообитаний» состоит из 75431 записи. В записях содержатся данные о распространении 502 видов сорных растений из 47 семейств на местообитаниях разных типов (сеgetальных, рудеральных, залежей, местообитаний на территории населенных пунктов) в различных регионах Российской Федерации.

Структурной единицей базы данных является запись. Она в систематизированном виде содержит информацию по 1 виду сорного растения, присутствующему на 1 конкретном местообитании на территории какого-либо региона страны, и представляет собой совокупность характеристик. В состав характеристик по виду входят: ботаническая номенклатура (латинское название (род, вид, автор); русское название); фаза роста (фенологическая фаза); обилие в баллах.

Для удобства пользователя все записи по видам, зарегистрированным на 1 местообитании, объединены в одну общую запись (далее именуется «объединенная запись»). Таких записей 1888. Каждая объединенная запись в систематизированном виде содержит информацию о конкретном местонахождении, представленную в виде совокупности характеристик.

Объединенная запись имеет идентификационные данные (полевой номер обследуемой точки; регистрационный номер) и представлена на экране «Характеристика местообитания». Экран «Характеристика местообитания» представлен двумя вкладками: «Паспорт» и «Список видов».

На вкладке «Паспорт» дается характеристика обследованного местообитания. В состав характеристики конкретного местообитания входят: дата обследования (число, месяц, год); административно-географические данные (регион, край/республика/область, район, ближайший населенный пункт, ближайшая железнодорожная станция, хозяйство); координаты; эколого-географические данные (характеристика местообитания (тип местообитания), агроклиматический район); экологические условия местообитания (рельеф, данные о механическом составе и каменистости почвы, типы почв, условия увлажнения); данные о сельскохозяйственной культуре (название культуры, фаза роста культуры, проективное покрытие в процентах). Данные для заполнения характеристик взяты из бланка описания местообитания.

На вкладке «Список видов» представлен список видов сорных растений, зарегистрированных на одном местообитании; записи именно по этим видам сорных растений объединены в общую запись. Пользователь может выбрать интересующие его виды сорных растений и просмотреть информацию по ним.

В главном меню пользователю при помощи функциональных кнопок предоставляется возможность выбора режима работы с базой данных в зависимости от целей обращения к информационному массиву (режим просмотра; режим поиска).

При выборе режима «Просмотр» и нажатии соответствующей кнопки главного меню базы данных пользователю предоставляется возможность получить информацию по имеющимся в базе записям.

При выборе режима «Поиск» и нажатии соответствующей функциональной кнопки главного меню базы данных пользователь переходит к подчиненному меню выбора типа поиска; используя данное меню, пользователь может сформировать выборку данных из информационного массива в соответствии с поставленными задачами.

Во всех типах поиска СУБД отбирает записи и формирует выборку в соответствии с заданными пользователем параметрами. Для удобства пользователя СУБД выводит сформированную выборку данных в файл формата Microsoft Excel.

Используя тип поиска «По географии», пользователь может получить информацию о видах сорных растений, зарегистрированных в конкретном административном выделе.

Выбрав из словарей нужный территориальный выдел (регион, область, район, агроклиматический район) и указав интересующий временной период из интервала (2000–2019 гг.), пользователь может получить список видов сорных растений, зарегистрированных в указанном территориальном выделе на всех типах местообитаний (без конкретизации типа местообитания) в этот период.

Также выбрав из словарей нужный территориальный выдел (регион, область, район, агроклиматический район) и указав интересующий временной период из интервала (2000–2019 гг.), пользователь может получить список видов сорных растений, зарегистрированных в указанном территориальном выделе на всех типах местообитаний (без конкретизации типа местообитания), в виде таблицы с указанием информации о местообитаниях и количественных характеристик видов.

Используя тип поиска «Обследованные посевы», пользователь может получить информацию о видах сорных растений, зарегистрированных в конкретном административном выделе непосредственно на полях.

Выбрав из словарей нужный территориальный выдел (регион, область, район, агроклиматический район) и указав интересующий временной период из интервала (2000–2019 гг.), пользователь может получить список видов сорных растений, зарегистрированных в указанном территориальном выделе непосредственно на полях за указанный период времени.

Также выбрав из словарей нужный территориальный выдел (регион, область, район, агроклиматический район) и указав интересующий временной период из интервала (2000–2019 гг.), пользователь может получить список видов сорных растений, зарегистрированных непосредственно на полях в указанном территориальном выделе, в виде таблицы с приведением информации о местообитаниях и количественных характеристик видов.

Используя тип поиска «Рудеральные местообитания», пользователь может получить информацию о видах сорных растений, зарегистрированных на рудеральных местообитаниях в конкретном административном выделе.

Выбрав из словарей нужный территориальный выдел (регион, область, район, агроклиматический район) и указав интересующий временной период из интервала (2000–2019 гг.), пользователь может получить список видов сорных растений, зарегистрированных в указанном территориальном выделе на рудеральных местообитаниях в этот период времени.

Также выбрав из словарей нужный территориальный выдел (регион, область, район, агроклиматический район) и указав интересующий временной период из интервала (2000 – 2019 гг.), пользователь может получить список видов сорных растений, зарегистрированных на рудеральных местообитаниях в указанном территориальном выделе, в виде таблицы с приведением информации о местообитаниях и количественных характеристик видов.

Используя тип поиска «Залежи», пользователь может получить информацию о видах сорных растений, зарегистрированных на залежах, в конкретном административном выделе.

Выбрав из словарей нужный территориальный выдел (регион, область, район, агроклиматический район) и указав интересующий временной период из интервала (2000 – 2019 гг.), пользователь может получить список видов сорных растений, зарегистрированных в указанном территориальном выделе на залежах в этот период.

Также выбрав из словарей нужный территориальный выдел (регион, область, район, агроклиматический район) и указав интересующий временной период из интервала (2000 – 2019 гг.), пользователь может получить список видов сорных растений, зарегистрированных на залежах в указанном территориальном выделе, в виде таблицы с приведением информации о местообитаниях и количественных характеристик видов.

Используя тип поиска «По типу местообитания» пользователь может получить информацию о видах сорных растений, зарегистрированных на выбранном типе местообитания, в конкретном административном выделе.

Выбрав из словарей нужный территориальный выдел (регион, область, район, агроклиматический район), конкретный тип местообитания и указав интересующий временной период из интервала (2000 – 2019 гг.), пользователь может получить список видов сорных растений, зарегистрированных на местообитаниях конкретного типа в указанном территориальном выделе за этот период.

Также выбрав из словарей нужный территориальный выдел (регион, область, район, агроклиматический район), конкретный тип местообитания и указав интересующий временной период из интервала (2000–2019 гг.), пользователь может получить список видов сорных

растений, зарегистрированных на местообитаниях конкретного типа в указанном территориальном выделе, в виде таблицы с приведением информации о местообитаниях и количественных характеристик видов.

Используя тип поиска «Распространение вида сорного растения», пользователь может получить информацию о распространении конкретного вида сорного растения в конкретном административном выделе.

Выбрав из словарей интересующий вид сорного растения, нужный территориальный выдел (регион, область, район, агроклиматический район) и указав интересующий временной период из интервала (2000–2019 гг.), пользователь может получить сведения о распространении интересующего его вида в указанном территориальном выделе с приведением информации о местообитаниях и количественных характеристик вида в виде таблицы.

### **Выводы**

Охарактеризованная в статье база данных «Сорные растения Российской Федерации на разных типах местообитаний» представляет собой совокупность сведений о произрастании видов сорных растений на местообитаниях разного типа на территории России, полученных из данных полевых исследований.

Структура и функционал базы данных обеспечивают хранение и систематизацию данных; формирование выборок по различным критериям. С ее помощью можно проводить работу по изучению и оценке видового разнообразия и распространения видов сорных растений в различных регионах России, на разных типах местообитаний.

### **Список литературы / References**

1. Лунева Н. Н., Лебедева Е. Г., Мысник Е. Н. «Герболог-Инфо». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016610137. Дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 11 января 2016 г.
2. Лунева Н. Н., Мысник Е. Н., Соколова Т. Д., Надточий И. Н. «Сорные растения: гербарная коллекция ВИЗР». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019622042. Дата регистрации в Реестре баз данных 12 ноября 2019 г.
3. Лунева Н. Н., Мысник Е. Н., Соколова Т. Д., Надточий И. Н. «Сорные растения Российской Федерации в научных источниках». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018621407. Дата регистрации в Реестре баз данных 30 августа 2018 г.
4. Мысник Е. Н., Лунева Н. Н. «Сорные растения Российской Федерации на разных типах местообитаний». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020622271. Дата регистрации в Реестре баз данных 13 ноября 2020 г.

### **DATABASE «WEEDS OF THE RUSSIAN FEDERATION ON DIFFERENT TYPES OF HABITATS»**

E. N. MYSNIK

*FSBSI «All-Russian Institute of Plant Protection» (FSBSI VIZR),  
St. Petersburg – Pushkin, Russia, vajra-sattva@yandex.ru*

**Abstract.** In the context of the wide introduction of digitalization in all spheres of activity of the society, databases are a necessary tool for translating scientific research materials into electronic format. The article presents the structure and functional features of the database "Weeds of the Russian Federation on different types of habitats," developed at the FSBSI «All-Russian Institute of Plant Protection»

**Keywords.** Weeds, spread, database.

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КОНЦЕПЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НИШИ В ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ

П. В. ОЗЕРСКИЙ

*Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), ozerski@list.ru*

**Аннотация.** Обсуждается подход, объединяющий концепции функциональной ниши («ниши Элтона») и многомерной толерантной ниши («ниши Хатчинсона»). С использованием имитационных компьютерных моделей демонстрируется применимость данного подхода для решения ряда проблем, с которыми приходится сталкиваться при использовании более традиционных моделей.

**Ключевые слова.** Экологическая ниша, местообитание, имитационные модели.

### Введение

Концепция экологической ниши является одной из фундаментальных в теоретической экологии. Нередко с бóльшим или меньшим успехом она находит себе применение также и в прикладной экологии и даже в других науках. В то же время, разные авторы вкладывают в понятие экологической ниши очень разное содержание. По-видимому, наиболее актуальными в настоящее время можно считать два подхода к понятию экологической ниши. В рамках первого из них («функционального», восходящего, например, к работам Ч. Элтона (Elton, 1927)) под экологической нишей понимается комплекс функций, выполняемых видом (популяцией, субпопуляцией и т. п.) в соответствующем сообществе или группе сообществ. В рамках второго («толерантного») подхода экологическая ниша описывается как совокупность характеристик экологической толерантности в отношении множества факторов среды (Hutchinson, 1957).

И «функциональный», и «толерантный» подходы к понятию ниши неоднократно подвергались серьезной и обоснованной критике. Из числа указываемых критиками недостатков можно упомянуть, например, сугубую описательность, неформализуемость «функциональных» ниш и явную недостаточную предсказательную способность «толерантных» ниш в отношении характера и последствий взаимодействий популяций друг с другом (см. обзор: Озерский, 2013). Эта критика привела, с одной стороны, к попыткам объединить оба подхода и сформулировать на их основе целостную концепцию (Chase, Leibold, 2003; Озерский, 2014), а с другой – к утверждениям об ошибочности и бесперспективности самого понятия экологической ниши (Maarel, Sykes, 1993).

На наш взгляд, вторая точка зрения является чрезмерно радикальной. Не вызывает сомнения, что одни и те же закономерности можно излагать, применяя разные, в том числе и несовместимые друг с другом, системы понятий и терминов, однако это ни в коем случае не означает целесообразности полного отказа от уже сложившихся понятийных аппаратов в случае выявления в них неполноты или ошибок. Что же касается именно понятия ниши, то в его отношении более продуктивным представляется разработка целостной формализованной концепции, объединяющей в себе элементы «функционального» и «толерантного» подходов. При этом вполне могут быть устранены также и те недостатки концепции ниши, на которые указывают критики, предлагающие полностью от нее отказаться.

Одним из известных недостатков «толерантной» интерпретации ниши является ее неспособность предсказать результат межвидовых конкурентных отношений (популяция какого именно вида окажется вытесненной): такое предсказание оказывается либо принципиально невозможным (в случае классической модели Хатчинсона, основанной только на диапазонах толерантности), либо не подтверждается наблюдениями в природе (даже если в модель вводятся экологический оптимум и другие характеристики кривых толерантности). В то же время, включение в состав ниши не только толерантных, но и средообразовательных



свойств популяции способно сделать соответствующие модели более адекватными и существенным образом повлиять на качество основанных на них прогнозов.

Целью настоящей работы было продемонстрировать значимость средообразовательных способностей модельной популяции для ее динамических характеристик и успеха в межвидовых конкурентных отношениях.

### **Объекты и методы исследования**

Имитационная компьютерная модель конкуренции за свободное пространство между популяциями двух видов разрабатывалась на языке программирования Object Pascal в среде Lazarus 2.0.12. Программа компилировалась и исполнялась на персональных компьютерах с архитектурами x86 и x86-64 под управлением ОС Linux. В рамках модели рассматривалось местообитание как двумерный (26×26) массив ячеек, каждой из которых было поставлено в соответствие определенное значение экологического фактора (использовались вещественные числа с дробной частью, в диапазоне от 0 до 1, начальное значение 0,20). В местообитание помещалось по одной особи двух видов (обозначавшихся как вид 1 и вид 2). Каждая особь занимала одну ячейку местообитания. Вселение особи допускалось только в свободную ячейку; при попытке вселения в ячейку, уже занятую другой особью, новая особь элиминировалась. Успешно вселившиеся особи меняли значение экологического фактора в этой ячейке на некоторую величину, зависящую от текущего значения фактора и от параметров средообразовательной деятельности (иными словами, от средообразовательных способностей) соответствующего вида (величины, меньшие -1 и большие +1, не допускались и приводились к значениям, соответственно, -1 и +1). Затем особь размножалась бесполом путем, производя идентичных себе потомков в количестве, зависящем от значения экологического фактора в соответствующей ячейке, и отмирала. Потомки расселялись по местообитанию, случайным образом распределяясь по ячейкам (использовался стандартный генератор псевдослучайных чисел из системной библиотеки FreePascal 3.2.0).

Связь между значением экологического фактора и плодовитостью описывалась формулой:

$$R(F) = a_1(F+e_1)^3 + b_1(F+e_1)^2 + c_1(F+e_1) + d_1,$$

где  $R$  – плодовитость;  $F$  – значение фактора;  $a_1, b_1, c_1, d_1, e_1$  – параметры, специфические для каждого вида.

В свою очередь, средообразовательные способности характеризовались величиной прироста значения экологического фактора, вычислявшегося по формуле:

$$\delta F(F_0) = a_2(F_0+e_2)^3 + b_2(F_0+e_2)^2 + c_2(F_0+e_2) + d_2,$$

где  $\delta F$  – прирост значения фактора;  $F_0$  – исходное значение фактора в ячейке;  $a_2, b_2, c_2, d_2, e_2$  – параметры, специфические для каждого вида.

В рамках модели сравнивалась динамика численности двух пар конкурирующих видов – опытной и контрольной – различавшихся параметрами средообразовательной деятельности одного из видов. (таблица 1). И для опытной, и для контрольной группы расчеты осуществлялись по 30 раз с разными значениями случайного начального заполнения для генератора псевдослучайных чисел (от 0 до 29).

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия      14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1. Наименование таблицы.

Параметр	Опыт		Контроль	
	Вид 1	Вид 2	Вид 1	Вид 2
$a_1$	0,00	0,00	0,00	0,00
$b_1$	-55,20	-55,20	-55,20	-55,20
$c_1$	22,30	22,30	22,30	22,30
$d_1$	5,80	5,80	5,80	5,80
$e_1$	0,30	0,30	0,30	0,30
$a_2$	0,00	0,00	0,00	0,00
$b_2$	-0,30	0,40	-0,30	-0,30
$c_2$	0,00	-0,40	0,00	0,00
$d_2$	0,00	0,00	0,00	0,00
$e_2$	0,00	0,00	0,00	0,00

Протоколировались: 1) значения параметров  $a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, a_2, b_2, c_2, d_2, e_2$  для обоих видов; 2) количество поколений, требовавшееся для полной элиминации одного из видов; 3) номер (1 или 2) не элиминированного в конечном итоге вида.

Статистическая обработка результатов моделирования осуществлялась в программе PAST 3.20. Проверялось соответствие соотношения успехов видов 1 и 2 ожидаемому 1:1, а также сравнивались доли успеха вида 1 в выборках из 30 повторностей для опытной и контрольной пар и продолжительность (измерявшаяся в числе поколений) совместного существования двух видов в опытной и контрольной парах.

Для проверки соответствия эмпирического соотношения ожидаемому 1:1 использовался критерий хи-квадрат. Для сравнения долей использовался точный критерий Фишера. При сравнении продолжительности сосуществования двух видов использовались непараметрические критерии Манна-Уитни (для сравнения медиан) и Колмогорова-Смирнова (для интегрального сравнения распределений). Выбор этих двух критериев был обусловлен тем, что распределение значений продолжительности сосуществования двух видов значительно отличалось в обеих группах от нормального (критерий Шапиро-Уилка,  $p < 0,001$ ).

### Результаты и обсуждение

В контрольной группе вид 1 был элиминирован в 13 из 30 случаев. Такое соотношение не имеет статистически значимых отличий от ожидаемого 1:1 ( $p > 0,05$ ), то есть успех каждого из видов в этой группе должен считаться равновероятным. В опытной группе вид 1 был элиминирован в 27 из 30 случаев. Данное соотношение статистически значимо отличается от ожидаемого 1:1 ( $p < 0,001$ ), то есть в этой группе вид 2 должен считаться более конкурентоспособным, чем вид 1. При сравнении доли элиминации 1-го вида в опытной и контрольной группах выявлены статистически значимые различия ( $p < 0,001$ ).

В контрольной группе сосуществование двух видов продолжалось в течение 153–3492 поколений (медианное значение 623). В опытной группе сосуществование двух видов продолжалось в течение 56–2078 поколений (медианное значение 284). Можно видеть, что сосуществование двух видов в опытной группе проявляло тенденцию к меньшей продолжительности по сравнению с контрольной группой. Эти различия подтверждаются статистически как для медианных значений ( $p < 0,001$ ), так и для распределений в целом ( $p < 0,01$ ).

В контрольной группе оба вида были идентичны как по параметрам экологической толерантности, так и по параметрам средообразовательной деятельности. В опытной группе виды также были идентичны по параметрам экологической толерантности (причем они были такими же, как в контрольной группе), однако различались по параметрам средообразовательной деятельности (то есть интенсивность трансформации среды обитания у них по-разному зависела от исходных условий). Таким образом, можно утверждать, что именно различия в средообразовательной деятельности существенно повлияли на успех в конкурентных отношениях.

Особо следует подчеркнуть, что как при построении модели, так и при обсуждении полученных результатов не потребовалось вводить какие-либо представления или понятия, принципиально несовместимые с концепцией экологической ниши. И экологическая толерантность, и обратные связи между популяцией и средой ее обитания (как биотической, так и абиотической) вполне укладываются в понятие ниши и могут рассматриваться как составные элементы последней.

### **Выводы**

Различия в средообразовательных способностях видов даже при одинаковых параметрах экологической толерантности могут влиять на продолжительность сосуществования двух конкурирующих видов в одном местообитании и обеспечивать разную вероятность успеха в межвидовых конкурентных отношениях.

### **Список литературы / References**

1. Озерский П. В. К формализации концепции экологической ниши Элтона–Одума. История вопроса // Функциональная морфология, экология и жизненные циклы животных. Т. 13. № 1. С. 55–69.
2. Озерский П. В. К формализации концепции экологической ниши Элтона–Одума. Векторно-объемная модель ниши // Функциональная морфология, экология и жизненные циклы животных. 2014. Т. 14. № 1. С. 4–19.
3. Chase J. M., Leibold M. A. Ecological niches: linking classical and contemporary approaches. Chicago: University of Chicago Press., 2003. 221 p.
4. Elton Ch. Animal ecology. London: Sidwick & Jackson, 1927. 207 p.
5. Hutchinson G. E. Concluding remarks // Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 1957. Vol. 22. P. 415–427.
6. Maarel E. van der, Sykes M. T., 1993. Small-scale plant species turnover in a limestone grassland: the carousel model and some comments on the niche concept // J. Vegetation Sci. 1993. Vol. 4. № 2. P. 179–188.

### **SOME ASPECTS OF THE ECOLOGICAL NICHE CONCEPT IN SIMULATION MODELS**

P. V. OZERSKI

*Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, ozerski@list.ru*

**Abstract.** An approach combining the concepts of functional niche ("Elton's niche") and multidimensional tolerance niche ("Hutchinson's niche") is discussed. Using simulation computer models, the applicability of this approach is demonstrated to solve some problems that one has to face when using more traditional models.

**Keywords.** Ecological niche, habitat, simulation models.

---

## АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПЛАНОВ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА

В.Н. ПАВЛОВА, С.Е. ВАРЧЕВА, А.А. КАРАЧЁНKOVA

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной  
метеорологии» (ФГБУ ВНИИСХМ), Обнинск, [vnpr2003@bk.ru](mailto:vnpr2003@bk.ru)

**Аннотация.** Представлены результаты агроклиматического мониторинга региональных систем земледелия на основе имитационной системы «Климат – Почва – Урожай». Приведены оценки агроклиматических показателей при современных и прогнозируемых изменениях климата. Показано, что тренды параметров термического режима за последние два десятилетия остаются положительными на всей территории Центрального федерального округа (ЦФО), что привело к существенному росту теплообеспеченности сельскохозяйственных культур. Тренды показателей засушливости – гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова, индекса сухости М. И. Будыко, коэффициента увлажнения Ю. И. Чиркова – подтверждают происходящий процесс роста засушливости в ЦФО. Анализируется эффективность использования дополнительных тепловых ресурсов при производстве сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова.** Агроклиматический мониторинг, изменение климата, климатические риски.

### Введение

В последние годы все большее внимание уделяется разработке адаптационных мер к изменению климата, в том числе в рамках национальных планов адаптации. Разработка базовых подходов к способам адаптации к изменению агроклиматических ресурсов должна осуществляться на основе специальных прикладных исследований с использованием современных имитационных систем. Основные элементы плана адаптации включают анализ и оценку текущего состояния климатической системы и сценариев будущих изменений климата, а также оценку современных и будущих климатических рисков, и уязвимости объектов.

Для преодоления возможных отрицательных последствий и максимального использования положительных воздействий разрабатывается программа адаптации сельского хозяйства России на различных уровнях – по России в целом и по субъектам РФ. Эти меры адаптации должны в максимальной степени учитывать, как наблюдаемые тенденции, так и прогнозы изменений климата, а также ожидаемые последствия этих изменений для зернопроизводящих регионов России. Работа выполнена на примере Центрального федерального округа (ЦФО).

### Объекты и методы исследования

Агроклиматический мониторинг региональных систем земледелия осуществляется на основе имитационной системы «Климат – Почва – Урожай» (КПУ), объединяющей динамическую модель Погода-Урожай, информационную базу данных и вычислительный комплекс для обработки и анализа входного и выходного потоков данных (Sirotenko et al., 1997; Сиротенко, Павлова, 2012; Павлова, Караченкова, 2016).

Для анализа влияния изменений климата на зерновое хозяйство разработана система агроклиматических показателей, характеризующих условия роста и развития основных сельскохозяйственных культур, которая содержит характеристики термического режима и режима увлажнения, показатели продуктивности сельскохозяйственных культур, характеристики экстремальных погодных условий, а также показатели условий перезимовки (Павлова и др., 2019).

### Результаты и обсуждение

Оценки тенденций показателей теплообеспеченности за период глобального потепления с 1976 по настоящее время и за последние 20 лет показали, что тренды параметров термического

режима остаются положительными на всей территории ЦФО, что привело к увеличению продолжительности вегетационного периода на 10-12 суток по сравнению с периодом 1976-1995 гг.

Условия увлажнения характеризуются следующими показателями: сумма осадков за календарные весну (Рвесна) и лето (Рлето); сумма осадков за период вегетации озимых зерновых культур от даты всходов до уборки (Роз.пш.); влагозапасы пахотного слоя почвы за май (W20V), гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) за период май–август; индекс сухости М.И. Будыко (ИС). Кроме того, используются показатели, рассчитанные в системе КПУ, – суммарное испарение (E) и испаряемость (E0) и коэффициент обеспеченности влагой (E / E0).

Тренды показателей засушливости (ГТК, ИС, E / E0) подтверждают происходящий процесс роста засушливости в ЦФО. Кроме того, сумма летних осадков имеет устойчивый отрицательный линейный тренд на всей территории округа.

В рамках системы КПУ определяются показатели продуктивности – биоклиматический потенциал (БКП) и климатически обусловленная урожайность (КУ). Величина БКП рассчитывается как суммарный урожай посева (агроценоза) за год в тоннах сухой биомассы и характеризует первичную биологическую продуктивность агроэкосистем (Сиротенко, Павлова, 2010). В систему включены показатели, характеризующие экстремальные погодные условия – уязвимость территории и климатические риски при производстве сельскохозяйственных культур, а также оценки вероятности крупных неурожаев (Павлова, Варчева, 2017).

В соответствии с (Доклад о климатических рисках..., 2017) климатический риск определяется как произведение повторяемости неблагоприятных метеорологических условий и уязвимости сельскохозяйственного производства на данной территории. Уязвимость территории, обусловленная дефицитом агроклиматических ресурсов, характеризуется соотношением урожайности данной культуры и биоклиматического потенциала территории (Павлова, Варчева, 2017).

Выполнен расчет оценок возможных рисков при производстве яровой пшеницы на территории 17 областей Центрального ФО за последнее двадцатилетие 1999–2018 гг. В таблице 1 представлены осредненные по крупным почвенно-климатическим зонам оценки биоклиматического потенциала (БКП), урожайности яровой пшеницы (У), уязвимости территории (V), повторяемости засух и переувлажнения.

Анализ показывает, что биоклиматический потенциал и урожайность яровой пшеницы выше в черноземных областях ЦФО (54,1 ц/га и 22, 8 ц/га), то есть там более благоприятные условия для произрастания яровой пшеницы, соответственно, уязвимость территории нечерноземной зоны выше (0,62-0,69), чем черноземной (0,57).

За последние двадцать лет повторяемость опасных явлений в нечерноземной и черноземной зоне существенно различалась (таблица 1). Анализ показывает, что повторяемость засух выше на территории более южных черноземных областей (9%). В то же время на территории нечерноземной зоны в период уборки яровых культур чаще наблюдается переувлажнение почвы (13%). Соответственно, климатические риски, обусловленные недостатком увлажнения, выше в центрально-черноземной зоне (5%). Для территории нечерноземных областей характерны риски, связанные с переувлажнением почвы во время уборки яровых зерновых культур (8-9%).

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1. Оценки биоклиматического потенциала, урожайности и климатических рисков при производстве яровой пшеницы на территории Центрального ФО за период 1999–2018 гг.

	БКП, ц/га	У, ц/га	V, б/р	Повторяемость, %		Климатический риск, %	
				засух	переувла жнения	засухи	переувла жнение
<b>ЦФО</b>	<b>49,3</b>	<b>18,7</b>	<b>0,62</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
Центрально-чернозёмная зона	54,1	22,8	0,57	9	0	5	0
Нечерноземная зона, центр	49,8	19,0	0,62	4	13	3	8
Нечерноземная зона, север	42,1	13,0	0,69	3	13	2	9

Выполнен анализ агроклиматических условий производства яровой пшеницы на территории Центрального ФО в условиях изменения климата до конца 21 века согласно сценарию ANS\_31 при вариантах антропогенного воздействия RCP4.5 и RCP8.5.

Согласно расчетам, при реализации «умеренного» антропогенного воздействия RCP4.5 к концу 21-го века вероятность засух возрастет на всей рассматриваемой территории и, соответственно, климатические риски недобора урожайности яровой пшеницы могут возрасти с 3 до 9 %.

Более «жесткий» вариант антропогенного воздействия RCP8.5 приведет к более резкому росту климатических рисков по сравнению с вариантом RCP4.5. Климатические риски при производстве яровой пшеницы возрастут повсеместно (в среднем от 8 до 13 %), при этом самые высокие оценки рисков – в Липецкой и Тамбовской областях (до 20 %).

На территории России прогнозируемое потепление приведет к существенному расширению вегетационного (теплого) периода года. Суммы температур выше 10 °С возрастут примерно на 600–700 °С к 2050–2059 гг. и почти на 1300–1400 °С к концу века. Это позволит использовать в земледелии позднеспелые сорта сельскохозяйственных культур, которые обычно более урожайные. Предварительные оценки с помощью КПУ показывают, что использование среднеспелых и позднеспелых сортов позволит увеличить урожайность зерновых культур на ~ 15 % к концу 21-го столетия.

Ниже приведены результаты, иллюстрирующие принципиальные возможности имитационной системы КПУ при решении задач адаптации производства сельскохозяйственных культур к изменениям климата. Показатель ресурсов тепла (сумма температур за период более 10 °С) к середине столетия будет охватывать диапазон от 1800–2000° С на севере ЦФО до 3500–4000 °С на юге (рис. 1). Это означает, что на севере региона будет возможно выращивать позднеспелые сорта яровой пшеницы, ранние сорта подсолнечника на зерно, ранние сорта сахарной свеклы для переработки на сахар, а в южных областях (Белгородской Воронежской, Тамбовской) будут вызревать поздние сорта сои и сорго, ранние сорта арахиса и хлопчатника.

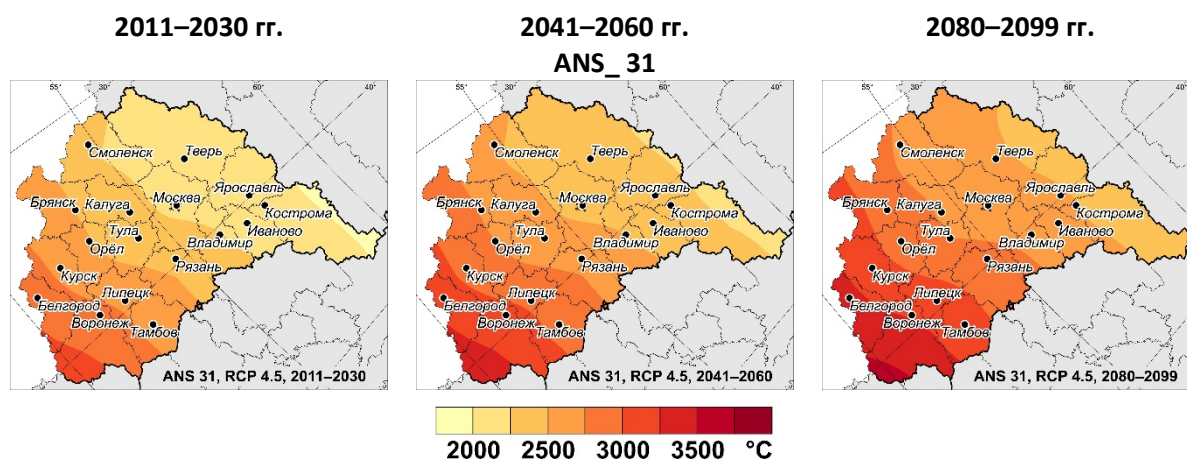


Рис. 1. Пространственное распределение средних значений суммы температур выше 10 °С за периоды 2011–2030, 2041–2060 и 2080–2099 гг. на территории Центрального ФО по сценариям ANS\_31 (сценарий эмиссии RCP4.5)

## Выводы

Представлены оценки изменений агроклиматических показателей при современных и прогнозируемых изменениях климата. Показано, что при реализации «умеренного» антропогенного воздействия RCP4.5 к концу XXI века вероятность засух возрастет на всей территории Центрального ФО и, соответственно, климатические риски недобора урожайности яровой пшеницы могут возрасти с 3 до 9%.

Расчеты показателей термического и влажностного режима по сценарию ANS\_31 свидетельствуют, что к середине столетия на всей территории региона ресурсы тепла не будут ограничивать производство ценных теплолюбивых культур (кукуруза, соя, подсолнечник и др.).

Для территории ЦФО наиболее перспективными направлениями адаптации зернового производства (сельского хозяйства) к изменению климата следует считать меры, направленные на использование дополнительных ресурсов тепла. Это расширение посевов более теплолюбивых и, как правило, более урожайных культур – кукурузы, подсолнечника, сои, сорго и других.

Полученные результаты потенциально служат углубленному пониманию проблемы текущих и ожидаемых последствий климатической изменчивости в сельскохозяйственной сфере экономики.

## Список литературы / References

1. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / Под редакцией д-ра физ.-мат. наук В.М. Катцова – Санкт-Петербург. 2017. –106 с.
2. Павлова В.Н., Варчева С.Е. Оценки степени уязвимости территории и климатического риска крупных неурожаев зерновых культур в зерносеющих регионах России // Метеорология и гидрология. 2017. № 8. С. 39–49.
3. Павлова В.Н., Варчева С.Е. Оценка климатических рисков при производстве зерновых культур в Приволжском федеральном округе // Агрофизика. 2017. № 2. С. 1–8.
4. Павлова В.Н., Караченкова А.А. Наблюдаемые изменения климата и динамика агроклиматических ресурсов в XX-XXI столетиях на территории Приволжского федерального округа // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. 2016. Вып. 583. С. 112–128.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

5. Павлова В.Н., Караченкова А.А., Варчева С.Е. Агроклиматический мониторинг региональных систем земледелия при изменении климата в Центральном федеральном округе в 2017 г. // Труды регионального конкурса научных проектов. 2019. Вып. 2. С. 62–71.
6. Сиротенко О.Д., Павлова В.Н. Новый подход к идентификации функционалов ПОГОДА–УРОЖАЙ для оценки последствий изменения климата // Метеорология и гидрология. 2010. № 2. С. 92–100.
7. Сиротенко О.Д., Павлова В.Н. Наблюдаемые изменения климата и динамика продуктивности сельского хозяйства России // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. 2012. Вып. 565. С. 132–151.
8. Sirotenko O.D., Abashina E.V., Pavlova V.N. Sensitivity of the Russian agriculture in climate, CO<sub>2</sub> and tropospheric ozone concentrations and soil fertility // Climatic change. 1997. V. 36. P. 217–234.

## AGROCLIMATIC MONITORING OF REGIONAL AGRICULTURAL SYSTEMS TO DEVELOP CLIMATE ADAPTATION PLANS

V.N. PAVLOVA, S.E. VARCHIEVA, A.A. KARACHENKOVA

*National Research Institute of Agricultural Meteorology, Obninsk, Kaluga region, Russia,  
vnp2003@bk.ru*

**Abstract.** The results of agro-climatic monitoring of regional farming systems based on the Climate-Soil-Yield simulation system are presented. Estimates of agro-climatic indicators under current and projected climate changes are presented. It is shown that the trends in the parameters of the thermal regime over the past two decades remain positive throughout the Central Federal District (CFD), which led to a significant increase in the heat supply of agricultural crops. Trends in drought indicators - hydrothermal coefficient G.T. Selyaninov, dryness index M.I. Budyko, the moisture coefficient of Yu. I. Chirkov - confirm the ongoing process of increasing aridity in the Central Federal District. The efficiency of using additional heat resources in the production of agricultural crops is analyzed.

**Keywords.** Agro-climatic monitoring, climate change, climate risks.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЛАГОБЕСПЕЧЕННОСТИ АГРОЦЕНОЗОВ В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

В. В. ТЕРЛЕЕВ<sup>1,2</sup>, В. А. ЛАЗАРЕВ<sup>1</sup>, Р. С. ГИНЕВСКИЙ<sup>1</sup>, Е. А. ДУНАЕВА<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (ФГАОУ ВО «СПбПУ»),  
Vitaly\_Terleev@mail.ru;

<sup>2</sup> ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),  
Санкт-Петербург;

<sup>3</sup> ФГБУН Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма  
(ФГБУН НИИСХ Крыма)

**Аннотация.** Приведено функциональное описание гидрофизических свойств почвы как капиллярно-пористой среды с учетом гистерезиса. Выполнен сравнительный анализ трех функций на примере прогноза сканирующих ветвей водоудерживающей способности почвы с использованием параметров, идентифицированных путем точечной аппроксимации опытных данных о главных ветвях гистерезиса. Достоверность различий между погрешностями функций оценена по критерию Вильямса-Клута.

**Ключевые слова.** Почва, водоудерживающая способность, гистерезис, модель, точечная аппроксимация опытных данных, оценки, критерий Вильямса-Клута.

### Введение

Для расчета прецизионных норм орошения необходимы данные о сканирующих ветвях увлажнения гистерезисной характеристики водоудерживающей способности почвы. Поскольку измерение сканирующих ветвей гистерезиса является весьма трудозатратой процедурой и далеко не всегда заранее известно (по причине низкой достоверности метеопрогнозов), какая именно сканирующая ветвь понадобится при расчете норм орошения, постольку физически обоснованная математическая модель оказывается безальтернативной в подобных практических ситуациях орошаемого земледелия. Как известно, водоудерживающая способность почвы описывается в виде зависимости объемной влажности почвы  $\theta$  [см<sup>3</sup>·см<sup>-3</sup>] от капиллярного давления (капиллярно-сорбционного потенциала) почвенной влаги  $\psi$  [см H<sub>2</sub>O]. Зависимость  $\theta(\psi)$  широко используется для моделирования динамики влаги и решения задач мелиоративного прецизионного земледелия. Цель данного исследования – физически обоснованное функциональное представление гистерезиса водоудерживающей способности почвы как капиллярно-пористой среды в виде математической модели и сравнение этой модели с мировыми аналогами.

### Объекты и методы исследования

В большинстве современных моделей гистерезиса водоудерживающей способности почвы (а также в модели, предлагаемой авторами данной статьи) расчеты сканирующих ветвей производятся по методу, разработанному Скоттом и соавторами (Scott et al., 1983). В этих расчетах для формулирования зависимости  $\theta(\psi)$  применяются различные WRC-функции (*water-retention capacity*). В предлагаемых авторами оригинальных функциях WRC-КТ и WRC-НТ (см. табл. 1) применяются три физико-статистически интерпретированных параметра: экспоненциальный, мультипликативный и аддитивный. Первые два параметра учитывают причину гистерезиса, обусловленную изменчивостью площади поперечного сечения почвенной поры в направлении ее продольной оси («эффект четок»), а третий (аддитивный) параметр учитывает наличие тупиковых пор, защемляющих воздух в почве и обуславливающих различие между «давлением входа воздуха» и «давлением входа воды» (Терлеев и др., 2021). Функции WRC-КТ и WRC-НТ в частном случае (при равенстве нулю аддитивного параметра  $\psi_0$  с размерностью капиллярного давления влаги) соответственно сводятся к оригинальной функции

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Косуги (WRC-КТ<sub>0</sub>) (Kosugi, 1994) и оригинальной функции Хаверкампа с соавторами (WRC-НТ<sub>0</sub>) (Haverkamp et al., 1977). В модели гистерезиса водоудерживающей способности почвы, предложенной Скоттом и соавторами (Scott et al., 1983), используется функция WRC-НТ<sub>0</sub>, а в модели гистерезиса, предложенной Кулом и Паркером (Kool, Parker, 1987), применяется функция Ван Генухтена (WRC-VG) (Van Genuchten, 1980).

Таблица 1. Функции  $\vartheta(\psi)$ , используемые в моделях гистерезиса водоудерживающей способности почвы (Терлеев и др., 2021)

№	Обозначение функций	Функции водоудерживающей способности почвы
1	WRC-VG	$S_e = \begin{cases} (1 + (-\alpha\psi)^n)^{-m}, & \psi < 0; \\ 1, & \psi \geq 0. \end{cases}$
2	WRC-SKT	$S_e = \begin{cases} \frac{\operatorname{erfc}}{2} \left( \frac{n\sqrt{\pi}}{4} \ln(-\alpha(\psi - \psi_e)) \right), & \psi < \psi_e; \\ 1, & \psi \geq \psi_e. \end{cases}$
3	WRC-SHT	$S_e = \begin{cases} (1 + (-\alpha(\psi - \psi_e))^n)^{-1}, & \psi < \psi_e; \\ 1, & \psi \geq \psi_e. \end{cases}$

В табл. 1 используются следующие обозначения:

$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt$  – дополнительная функция ошибок;  
 $S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$  – эффективное влагонасыщение почвы;  $\theta_s$  [см<sup>3</sup>·см<sup>-3</sup>] – объемная влажность почвы при полном насыщении водой;  $\theta_r$  [см<sup>3</sup>·см<sup>-3</sup>] – остаточная объемная влажность почвы, соответствующая минимальному удельному объему воды в жидком состоянии, удерживаемой в почве;  $\psi_0$  [см H<sub>2</sub>O] – капиллярное давление, при котором плотность распределения вероятностей по значениям случайной величины  $-\ln((\psi - \psi_e) / (\psi_0 - \psi_e))$  с нулевым генеральным средним и стандартным отклонением  $\sigma$  достигает максимума ( $\psi_0 < \psi_e$ ); в функции №1  $\alpha$  [см H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>],  $n$  и  $m$  – эмпирические параметры, где  $m = 1 - 1/n$ ,  $n > 1$ ; в функциях №2 и №3  $n = 4 / (\sigma\sqrt{2\pi})$ ,  $\alpha = -1 / (\psi_0 - \psi_e)$  [см H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>], где  $\psi_e$  [см H<sub>2</sub>O],  $\psi_0$  [см H<sub>2</sub>O] <  $\psi_e$  – интерпретированные параметры (для ветвей иссушения  $\psi_e = \psi_{e,d} \leq 0$ , для ветвей увлажнения  $\psi_e = \psi_{e,w} \geq 0$ ) (Здесь используются нижние индексы: «e» (*entrance*) и дополнительные индексы «d» для ветвей иссушения (*drying*) и «w» для ветвей увлажнения (*wetting*) гистерезиса водоудерживающей способности почвы).

Для моделей гистерезиса водоудерживающей способности, в которых используются функции (табл. 1) и алгоритм, представленный в (Scott et al., 1983), существует возможность возникновения нежелательного искусственного (методического) «эффекта помпы». Этот эффект заключается в том, что при осцилляции  $\psi$  в фиксированном интервале возможно пересечение сканирующей и главной ветвей гистерезиса, а также достижение величиной  $S_e$  физически абсурдных значений. Для проведения вычислительных экспериментов с моделями гистерезиса, в которых применяются функции (табл. 1), используется компьютерная программа «SoilHysteresis-v.1.0» (Гиневский и др., 2019).

Прецизионная норма орошения является важнейшим элементом ресурсосберегающих технологий регулирования влагообеспеченности агроценозов. Алгоритм расчета этой нормы заключается в вычислении разности между значениями  $\epsilon$  до начала и после завершения полива.

Предполивное состояние почвенной влаги определяется двумя датчиками-влажномерами, которые позволяют измерять  $\theta$  и  $\psi$ . Состояния почвенной влаги при поливе рассчитываются по сканирующей ветви увлажнения гистерезиса. При этом значение  $\theta$  после завершения полива определяется точкой пересечения рассчитанной сканирующей ветви гистерезиса с эмпирической кривой («секущей») Воронина (Воронин, 1986), которая широко применяется для оценивания наименьшей влагоемкости почвы. В программе «SoilHysteresis-v.1.0» есть возможность определения непроизводительного расхода поливной воды, стекающей под действием силы тяжести за пределы корнеобитаемого слоя почвы, при использовании «традиционной» нормы орошения (Костяков, 1960).

Для проведения исследования использованы данные о водоудерживающей способности семнадцати почвенных образцов различного гранулометрического состава из литературных источников (Mualem, 1976; Gillham et al., 1979). На рис. 1 точками приведены результаты визуализации гранулометрического анализа исследованных образцов, полученные с использованием треугольника Ферре по методу, который представлен в Интернет-источнике ([https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/partnership/ncss/?cid=nrcs142p2\\_054167](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/partnership/ncss/?cid=nrcs142p2_054167)).

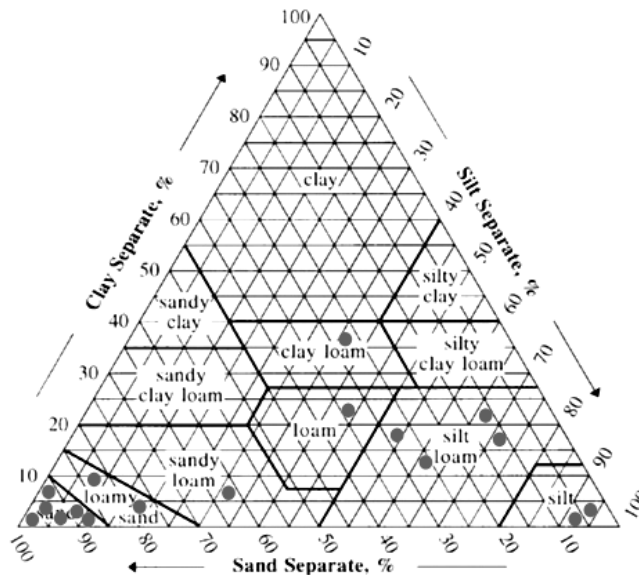


Рис. 1. Визуализация гранулометрического анализа исследованных образцов почв

### Результаты и обсуждение

Идентифицированы параметры функций (табл. 1) методом точечной аппроксимации опытных данных о главных (граничных) ветвях петли гистерезиса. Вычислены погрешности прогнозирования сканирующих ветвей гистерезиса. По критерию Вильямса-Клута (Кобзарь, 2006) с доверительной вероятностью 0.95 оценена достоверность различий между погрешностями сравниваемых функций в двух вариантах вычислительного эксперимента ( $n_d \neq n_w$  и  $n_d = n_w$ ).

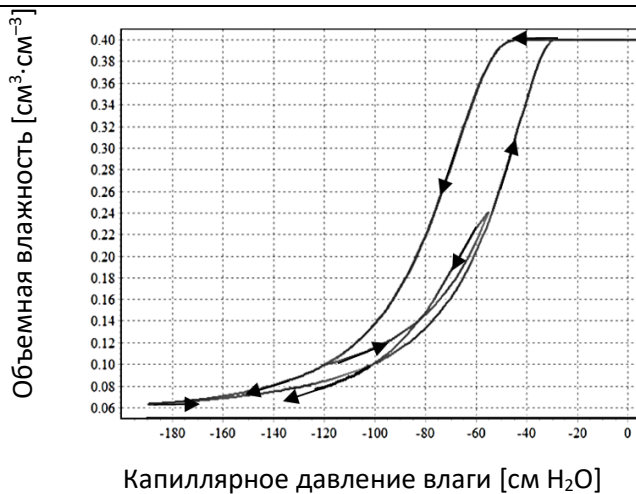


Рис. 2а. Наличие «эффекта помпы» для функции WRC-SHT при  $n_d \neq n_w$  на примере почвы «Sand 50-500 micron».

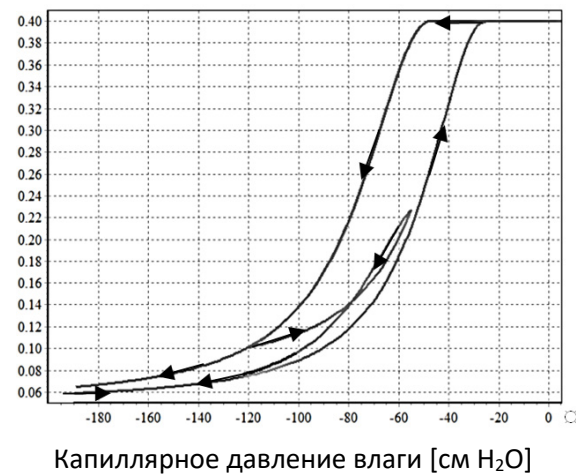


Рис. 2b. Устранение «эффекта помпы» для функции WRC-SHT при  $n_d = n_w$  на примере почвы «Sand 50-500 micron».

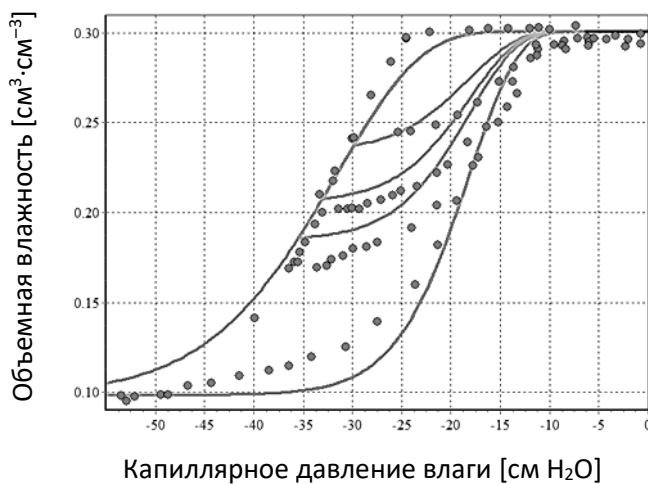


Рис. 3а. Точечная аппроксимация данных о главных (граничных) ветвях; оценка трех сканирующих ветвей увлажнения для почвы «Dune sand» с использованием функции WRC-SKT ( $n_d = n_w$ ).

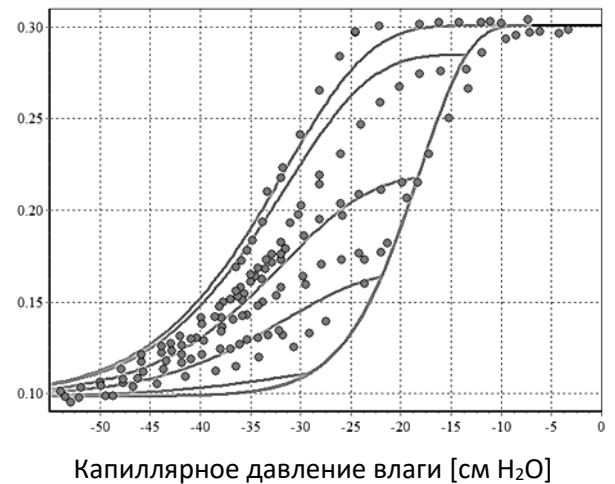


Рис. 3b. Точечная аппроксимация данных о главных (граничных) ветвях; оценка четырех сканирующих ветвей иссушения для почвы «Dune sand» с использованием функции WRC-SKT ( $n_d = n_w$ ).

Для условия  $n_d \neq n_w$  погрешности точечной аппроксимации являются несколько более низкими. Однако, при данном условии для моделей гистерезиса характерен отмеченный выше нежелательный искусственный (методический) «эффект помпы». Авторы полагают, что наиболее эффективным приемом, устраняющим этот эффект, является применение условия  $n_d = n_w$ . На рис. 2а,б в качестве примера, иллюстрирующего наличие «эффекта помпы» и его устранение, приведены результаты вычислительного эксперимента с функцией WRC-SHT.

На рис. 3а,б в качестве примера точками обозначены опытные данные, а сплошными кривыми – результаты точечной аппроксимации главных (граничных) ветвей, а также результаты прогнозирования сканирующих ветвей гистерезиса.

**Выводы**

1. Использование WRC-SKT и WRC-SHT (в вариантах  $n_d \neq n_w$  и  $n_d = n_w$ ) для точечной аппроксимации данных о главных (граничных) ветвях петли гистерезиса является более предпочтительным по сравнению с WRC-VG. Функция WRC-SKT в 88% экспериментов по точечной аппроксимации данных о главных ветвях имеет или наилучший результат, или результат, статистически неразличимый с наилучшим. Функции WRC-SHT и WRC-VG в 82% и 12% экспериментов, соответственно, имеют результаты, статистически неотличимые от наилучшего. Для песков, суглинистых песков и суглинков предпочтительным является использование WRC-SHT; а для опесчаненного суглинка, глинистого суглинка, иловатого суглинка и ила наиболее предпочтительна WRC-SKT.

2. WRC-SKT показала наилучший результат или статистически неразличимый с ним в 93% экспериментов по прогнозированию сканирующих ветвей увлажнения, в 64% - по прогнозированию сканирующих ветвей иссушения. В отношении WRC-SHT наиболее точные прогнозы для ветвей увлажнения получены в 71% экспериментов, а для ветвей иссушения - в 64% экспериментов. Функция WRC-VG показала наилучший результат в 43% экспериментов по прогнозированию сканирующих ветвей увлажнения, в 7% - по прогнозированию сканирующих ветвей иссушения. Погрешность прогноза сканирующих ветвей иссушения и увлажнения песка, опесчаненного суглинка и иловатого суглинка достоверно ниже у функций WRC-SKT и WRC-SHT. Прогнозы сканирующих ветвей увлажнения глинистого суглинка достоверно точнее у функции WRC-VG, а прогнозы сканирующих ветвей иссушения - у функции WRC-SKT.

3. Использование дополнительного аддитивного параметра  $\psi_s$  для аппроксимации данных о главных (граничных) ветвях гистерезиса способствует существенному уменьшению погрешностей. Использование WRC-SKT и WRC-SHT предпочтительнее, чем WRC-SKT<sub>0</sub> и WRC-SHT<sub>0</sub>. В 61% случаев применение параметра  $\psi_s$  достоверно уменьшает погрешность прогноза сканирующих ветвей. Для суглинка и трех песков функции без параметра  $\psi_s$  WRC-SKT<sub>0</sub> и WRC-SHT<sub>0</sub> и функции с параметром  $\psi_s$  WRC-SKT и WRC-SHT оказались статистически неразличимыми.

4. Нежелательный «эффект помпы» устраняется при выполнении условия равенства значений экспоненциального параметра  $n$  для ветвей иссушения и увлажнения. Функции WRC-SKT и WRC-SHT в варианте  $n_d \neq n_w$  предпочтительнее для точечной аппроксимации данных о главных (граничных) ветвях иссушения и увлажнения водоудерживающей способности суглинков и ила. Для песков и суглинистых песков варианты  $n_d \neq n_w$  и  $n_d = n_w$  статистически неразличимы. В большинстве случаев прогноза сканирующих ветвей условие  $n_d = n_w$  достоверно не увеличивает погрешность.

5. При решении задач регулирования влагообеспеченности агроценозов в орошаемом земледелии применение моделей гистерезиса водоудерживающей способности с функциями WRC-SKT и WRC-SHT представляется наиболее предпочтительным. Для вычисления прецизионных норм орошения авторы рекомендуют использовать функцию WRC-SHT.

**Благодарности**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-04-00939-а, № 19-016-00148-а.

### Список литературы / References

1. Воронин А.Д. Основы физики почв. М.: МГУ, 1986. 244 с.
2. Гиневский Р.С., Терлеев В.В., Топаж А.Г., Лазарев В.А. 2019. SoilHysteresis-V.1.0. – Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019666861, 16.12.2019. Заявка № 2019662560 от 12.10.2019.
3. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Изд. Физматлит, 2006. 816 с.
4. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М., 1960. 660 с.
5. Терлеев В.В., Гиневский Р.С., Лазарев В.А., Топаж А.Г., Дунаева Е.А. Функциональное представление водоудерживающей способности и относительной гидравлической проводимости почвы с учетом гистерезиса // Почвоведение. 2021. № 6 С. 715-724.
6. Gillham R.W., Klute A., Heermann D.F. Measurement and numerical simulation of hysteretic flow in a heterogeneous porous medium // Soil Sci. Soc. Am. J. 1979. Vol. 43. P. 1061-1067.
7. Haverkamp R., Vauclin M., Touma J., Wierenga P.J., Vachaud G. A comparison of numerical simulation model for one-dimensional infiltration // Soil Sci. Soc. Am. J. 1977. Vol. 41. P. 285-294.
8. Kool J.B., Parker J.C. Development and Evaluation of Closed-Form Expressions for Hysteretic Soil Hydraulic Properties // Water Resour. Res. 1987. Vol. 23(1). P. 105-114.
9. Kosugi K. Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention // Water Resour. Res. 1994. Vol. 30. P. 891-901.
10. Mualem Y. A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils. Research Project 442. Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, 1976. 100 p.
11. Scott P.S., Farquhar G.J., Kouwen N. Hysteretic effects on net infiltration. Proceeding of National Conference on Advances in Infiltration // Publication 11-83, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 1983. P. 163-170.
12. Van Genuchten M.Th. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. 1980. Vol. 44. P. 892-989.
13. [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/partnership/ncss/?cid=nrcs142p2\\_054167](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/partnership/ncss/?cid=nrcs142p2_054167)

### USING A MATHEMATICAL MODEL FOR REGULATION OF THE MOISTURE SUPPLY OF AGROCENOSIS IN IRRIGATION FARMING

V. V. TERLEEV<sup>1,2</sup>, V. A. LAZAREV<sup>1</sup>, R. S. GINEVSKY<sup>1</sup>, I. A. DUNAIEVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Vitaly\_Terleev@mail.ru;

<sup>2</sup> Agrophysical Research Institute, St. Petersburg;

<sup>3</sup> Federal State Budget Scientific Institution «Research Institute of Agriculture of Crimea»

**Abstract.** A functional description of the hydrophysical properties of the soil as a capillary-porous medium, taking into account hysteresis, is given. A comparative analysis of three functions is carried out using the example of forecasting the scanning branches of the water-retention capacity of the soil using the parameters identified by the point approximation of the experimental data on the main branches of the hysteresis. The significance of the differences between the errors of the functions was assessed by the Williams-Klout test.

**Keywords.** Soil, water-retention capacity, hysteresis, model, point approximation of experimental data, estimates, Williams-Klout criterion.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИМИ РИСКАМИ

А.О. УСКОВ

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),  
Санкт-Петербург, [uskovich@gmail.com](mailto:uskovich@gmail.com)

**Аннотация.** Глобальные изменения климата проявляются в учащении возникновения и увеличении амплитуды экстремальных погодных условий, которые трудно прогнозировать. Целью статьи являются раскрытие сущности понятия агроклиматического риска, его характеристик и изложение содержания, структуры и принципов формирования информационной основы управления агроклиматическими рисками как вероятностной категорией. Агроклиматические риски, связанные с опасными агрометеорологическими явлениями и неустойчивостью погодных условий, полагаются одним из основных типов рисков в земледелии. Неустойчивость агрометеорологических условий – явление статистически обусловленное.

**Ключевые слова.** Агроклиматический риск, управление, прогнозы, нечеткие множества.

### Введение

Агроклиматический риск является разновидностью сельскохозяйственных рисков, обусловленных природными погодными ситуациями. Ситуация риска является разновидностью неопределенности, когда реализация неблагоприятных событий вероятна, и, в тоже время, объективно существует возможность оценить их вероятность. Внешним рискообразующим природным фактором является состояние среды обитания посева. Агрономические решения по управлению процессами формирования урожая в условиях неопределенности параметров среды в вегетационный период относятся к рискованным (Усков, Усков, 2019). Реакция растений, выходящая за пределы адаптивных возможностей растений, рассматривается как внутренний биологический фактор риска. Очевидно, к внутренним факторам может быть отнесена степень информированности лица, принимающего управленческие решения и уровень его профессионализма. Такая неоднозначность и специфика природы агроклиматического риска определяет необходимость разработки понятийного аппарата характеристик рисков этой природы. К тому же по утверждению основоположников разработок теории управления техногенными климатическими рисками отмечается отсутствие общепринятого понятийного аппарата климатических рисков (Кобышева и др., 2015). Актуальность настоящего исследования состоит в наблюдаемых глобальных изменениях климата, сопутствующем увеличении неопределенности климатической критичности земледелия и необходимости управления агроклиматическими рисками для предотвращения или смягчения их последствий. Информация является основой управления рисками. Её отсутствие, недостоверность и неполнота является одним из факторов климатического риска.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются сельскохозяйственные климатические риски и информационная база управления агроклиматическими рисками.

Использованы два методических подхода: качественный теоретико-эмпирический описательный и статистический вероятностный с привлечением правил нечеткой логики и математики нечетких множеств.

### Результаты и обсуждение

#### **Агроклиматический риск.**

Факторами агроклиматического риска (источниками риска) являются агрофизические параметры, характеризующие тепло- и влагообеспеченность биообъекта, определяющие возможность физиологически нормального роста и развития растительного ценоза или степень

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

критичности внешних условий среды для существования посева, вплоть до его полной гибели (Усков, Усков, 2014). Эти факторы относятся к внешним рискообразующим. Виды климатических рисков земледелия; риски потерь урожая, связанные с дефицитом агроклиматических ресурсов интегрально за период вегетации (суммы активных температур, осадков, фотосинтетической активной радиации и др.); риски потерь урожая, обусловленные возникновением опасных агрометеорологических явлений в вегетационный период (переувлажнение, вымокание, выпревание, заморозки, засухи, суховеи, градобитие, ветровая и водная эрозии почв, засекание посевов и др.); риск дефицита технологических ресурсов; риски потерь, связанные с возникновением болезней и распространением вредителей растений на фоне складывающихся благоприятных для них погодных ситуаций в условиях изменяющегося климата. Потенциальный источник управленческих ситуаций находится на стыке климатических факторов, обуславливающих риск, и факторов физиологических, обуславливающих адаптивные возможности биологической составляющей агроэкологической системы (Усков, Усков, 2019). Агроклиматический риск, по сути, имеет две составляющих: климатическую и биологическую. К объектам (реципиентам) агроклиматических рисков могут быть отнесены: вегетирующий посев на разных стадиях развития; агроэкологические системы; отдельные структурные элементы системы: биологическая составляющая: растения, почвенная биота, заделанные в почву семена и проростки; корнеобитаемый слой почвы, деятельный слой почвы; деятельный слой атмосферы. К факторам риска относятся: опасные агрометеорологические явления: атмосферная и почвенная засухи; критические температуры и влажность воздуха; избыточные атмосферные осадки и переувлажнение почвы; пыльные бури и засекание посевов; заморозки атмосферные и радиационные. Отсутствие достоверной климатической и фито информации само по себе является фактором риска (Усков, Усков, 2019). Агрофизические и метеорологические параметры являются характеристиками факторов риска.

По механизму возникновения различают: риски, вызванные неблагоприятными условиями в среде обитания или опасными природными явлениями; риски, связанные с негативными тенденциями развития, нарушающими физиологически нормальные сроки наступления и следования фенофаз; риски обусловленные принятием агрономических, агротехнологических и хозяйственных решений в условиях неопределенностей; риски, обусловленные отсутствием, неполнотой или недостоверностью информации о состоянии посевов (растений) и внешних условий в среде обитания: недостоверностью или низкой оправдываемостью модельных метеорологических прогнозов и динамических прогнозов продукционного процесса.

Риском в принятии управленческих агрономических и хозяйственных решений можно назвать выбор управляющих решений, не гарантирующих достижения поставленных целей (Альгин, 1996). В этом случае к риску следует относиться как к вероятной неудаче. Риск обусловлен неопределенностью и сам по себе является количественной мерой неопределенности. Неопределенность связана с возможностью возникновения в процессе исполнения решения разного рода неблагоприятных ситуаций, что и приводит к риску. Вероятностная природа сельскохозяйственного риска является постоянной его характеристикой (Кузьменко, 2014). Степень этой вероятности определяется влиянием внешних объективных факторов.

***Управляемость риска.***

Феномен агроклиматического риска состоит в наличии объективной и субъективной составляющих, что и определяет возможность управления им. Процедуры управления представлены на рисунке 1.



Управление рисками как новый термин и вид деятельности появились в конце XIX века, когда в 1890–х годах североамериканской компанией, занимавшейся строительством железной дороги, был составлен план управления рисками (Вишняков, Радаев, 2008). Информация является основой реализации процедур управления. В процессе идентификации риска выявляются характерные для агроклиматического риска конкретной агроэкологической системы черты, обусловленные климатическими и биологическими факторами, квалифицируются риски по видам и другим факторам дифференциации или интеграции в соответствии с характерными признаками, качественными характеристиками и количественными критериями и показателями (параметрами) текущего или прогнозируемого состояния управляемой агроэкологической системы. Информационной основой для реализации процедур этого этапа являются неформализованные качественные и количественные данные о характеристиках агроклиматических рисков, результаты измерения параметров состояния биообъекта и среды обитания (Усков, 2019).

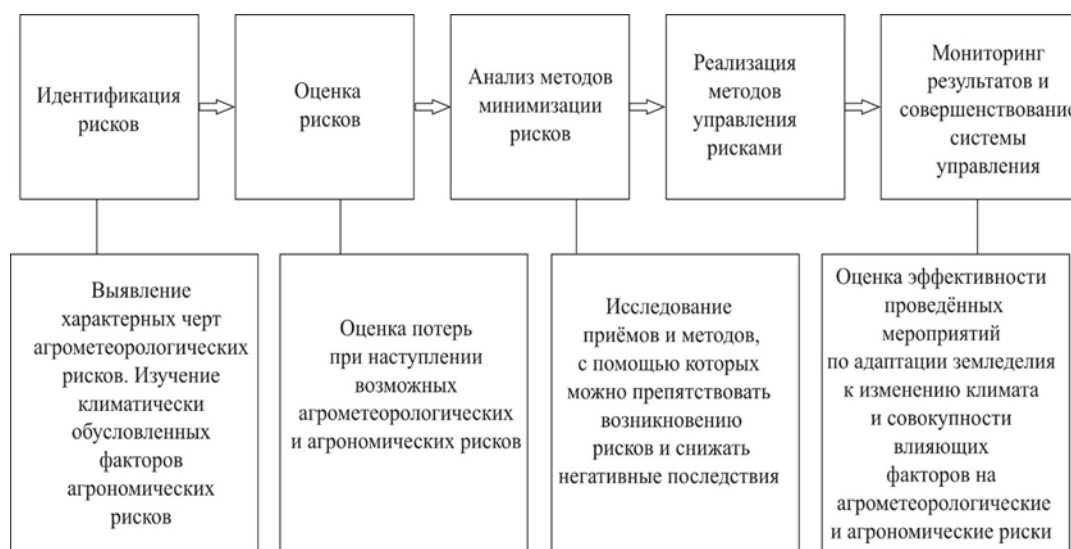


Рисунок 1. Порядок реализации и содержание процедур управления рисками

Прогноз является необходимой процедурой для оценки рисков и выработки решений по управлению системой, выбору приемов и методов (Вишняков, Радаев, 2008). Прогнозы формулируются и анализируются как прогнозы вероятного развития агроэкологической системы и параметров среды обитания в трех вариантах: внешнее воздействие на систему отсутствует и её развитие следует за изменчивостью природных факторов продуктивности и устойчивости; либо осуществляется целенаправленное воздействие на процессы и параметры среды обитания для адаптации биологической части к новым условиям среды; либо осуществляется направленное воздействие собственно на биологический объект для расширения его адаптивных возможностей (Усков, Усков, 2019).

Процедуры реализации прогнозов для оценки видов и категорий агроклиматических рисков показаны на рисунке 2. Наличие агрометеорологического прогноза является необходимым условием для выработки дерева решений по управлению риском.

В контексте проблемы оценки сельскохозяйственных рисков и смягчения негативных последствий изменения климата представляется целесообразным дать определения некоторым ключевым словам. Анализ агроклиматических рисков безотносительно факторов риска не корректен. Под агроэкологическими последствиями будем понимать динамику климатически обусловленных изменений в агроэкологических системах.

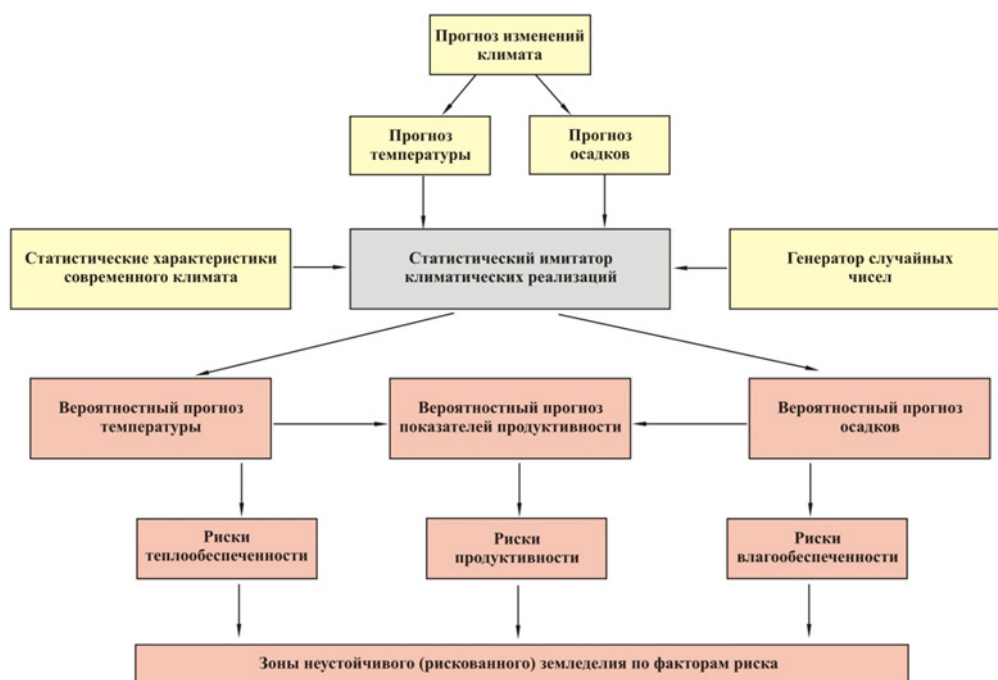


Рисунок 2. Процедуры реализации прогнозов для оценки агроклиматических рисков

Факторами, определяющими продуктивность посевов и устойчивость функционирования системы «почва – посев – деятельный слой атмосферы» в изменяющихся климатических условиях являются, прежде всего, тепло- и влагообеспеченность. Климатически обеспеченная продуктивность зависит от уровней теплового и влажностного режимов среды обитания растений – корнеобитаемого слоя почвы и приземного слоя воздуха (Усков, Усков, 2014). По значимости последствий и степени влияния на объект виды рисков оценивают как: пренебрежимый (меры защиты принимать не следует); приемлемый (влияние значимо, меры защиты и управления принимаются на основе принципов адаптации); чрезмерный (влияние катастрофично).

Под агрономическими последствиями понимаются обратимые и необратимые изменения параметров роста и развития посевов и состояния среды обитания на нескольких временных уровнях: климатическом (многолетних, годовых), сезонных, межсезонных, по фазам, межфазных в вегетационный период или в период, условно заданный пределами устойчивого перехода агрометеорологических параметров через физиологически определенные критические значения световых и температурных порогов, а так же режимов водообеспеченности корнеобитаемого слоя. Необратимые последствия могут возникать также в результате опасных метеорологических явлений, коренным образом изменяющих среду обитания, либо переводящих среду в критическое для растений состояние, изменение которого невозможно предотвратить агротехнологическими, агротехническими, агрохимическими или агромелиоративными приемами (Усков, Усков, 2014). Здесь определяющим следует полагать климатический риск. Обратимые агрономические последствия могут быть неотвратимыми, причём они могут быть либо смягчены, либо ликвидированы использованием агрономических приемов и рациональных технологий управления процессами роста и развития посева и формирования урожая. Здесь определяющим является управляемый агроклиматический риск.

#### **Информационная база**

При формировании информационной базы для оценки агроклиматических рисков на основе данных модельных прогнозов изменений параметров температуры воздуха и количества

осадков, рекомендуемых и публикуемых МГЭИК, возникают две проблемы: выбор модели с наибольшей степенью оправдываемости (адекватности) прогнозов, и приведение детерминированных данных прогнозов о температурах и осадках к вероятностному представлению (Усков, 2019).

Первая задача решается проведением ретроспективных расчетов на всех доступных математических моделях глобальной циркуляции атмосферы и океана и сопоставлением расчетных данных с наблюдавшимися в прошлом температурами и осадками, а также сопоставлением и ранжированием полученных отклонений (Менжулин, 2011; Менжулин и др., 2009).

Изменения климата можно рассматривать (по международному соглашению) за период от одного тридцатилетнего периода к другому, непосредственно следующему или более далекому. Представления об изменениях климата за более короткие сроки не являются репрезентативными и характеризуют только флуктуации внутри анализируемого периода на климатическом фоне. Экстраполяция инерционных трендовых прогнозов возможна в интервалах, больших тридцатилетних. Степень доверия к количественному определению по любому сценарию значительно уменьшается по мере расширения временных рамок, поскольку основа для предположений становится все более спорной.

В настоящее время для построения прогнозных сценариев географического распределения изменений климатических параметров принято и рекомендовано МГЭИК (IPCC) производить расчеты, базирующиеся на моделях глобальной циркуляции атмосферы и океана. Результаты тестирования температур и осадков (Чубарова и др., 2011), вычисленных по 10 моделям, оценки средних и экстремальных показателей термического режима по данным метеорологических наблюдений и результатам моделирования, выполненные Сурковой Г. В., Н. И. Соколихиной (Касимов, Кислов, 2011), показали, что современные модели климата не улавливают межгодовые и пространственные изменения, а только лишь воспроизводят общие закономерности их годового хода и пространственного распределения. Данные ансамблевых прогнозов (Оценочный доклад, 2008; Касимов, Кислов, 2011) обладают определенной степенью адекватности. Ансамбли, в том числе мульти-модельные, сегодня широко используются в прогностической практике.

При формировании информационной базы для оценки агроклиматических рисков на основе данных модельных прогнозов изменений температуры воздуха и количества осадков, рекомендуемых и публикуемых МГЭИК, возникают две проблемы: выбор модели с наибольшей степенью оправдываемости (адекватности) прогнозов, и приведение детерминированных данных прогнозов о температурах и осадках к вероятностному представлению. Решение второй задачи осложнено тем обстоятельством, что прогнозы МГЭИК выдаются пользователю в детерминированном виде и напрямую не могут быть использованы для вероятностных расчетов. В связи с этим выдвинута и сформулирована гипотеза: данные прогнозов температур воздуха и осадков, вычисленных за 30-летний период по всем доступным моделям циркуляции атмосферы и океана, а также вариантам возможных сюжетных социально-экономических описаний будущего мира, могут рассматриваться как мнения независимых экспертов, так как являются множеством однородных величин, не коррелирующих между собой (Усков, Усков, 2015). Таким образом, была показана возможность применения логики и математики нечетких множеств для разработки модификации ансамблевого метода обобщении множества моделей МГЭИК для приведения данных расчетов по моделям к вероятностному представлению. Это обеспечивает решение второй задачи формирования прогнозной информационной основы.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Оценка состояния биологических объектов, все аспекты прогнозирования изменений биологических объектов могут адекватно решаться только на основе вероятностно-статистического моделирования, включая стадии анализа данных компьютерной информации, полученной в экспериментах с детерминированными имитационными моделями продукционного процесса полевых культур (Полуэктов и др., 2006). Вероятностно-статистическое моделирование внесло ощутимый вклад в методики формирования информационной базы агрономических рисков (Якушев, 2013).

Ведущее значение для количественной оценки агроклиматических рисков имеет информация об отношении видов полевых культур к климатически обусловленным температурам воздуха, уровню атмосферных осадков, температурно-влажностному режиму корнеобитаемых почвенных горизонтов в онтогенезе полевых культур. Кроме собственно посева сельскохозяйственной культуры к реципиентам следует относить: процесс формирования урожая, сельскохозяйственную территорию, севооборот. Показатели реципиентов не являются типовыми (Кобышева и др., 2015) и в каждом случае их набор определяется природой реципиента и решаемой задачей оценки риска. Выделяются «критические» периоды в ходе развития различных видов сельскохозяйственных культур (таблица 1), на которые следует опираться при оценке устойчивости посевов к изменениям агроклиматических условий в вегетационный период (Усков, Усков, 2014).

Таблица 1. «Критические» периоды онтогенетического развития различных сельскохозяйственных культур.

Культура	«Критический период»
Озимые пшеница и рожь	Трубкование-колошение
Яровые пшеница, ячмень, овес	Трубкование-колошение
Кукуруза	Цветение-молочная спелось
Просо и сорго	Выметание метелки, налив
Подсолнечник	Образование корзинки, цветение
Картофель	Цветение-формирование клубней
Томат	Цветение-формирование плодов
Бахчевые	Цветение-созревание

Предстоит разработать фенологические критерии уровня риска роста и развития полевых культур в онтогенезе на фоне изменяющихся погодных условий для выбора агротехнических мероприятий управления агробиологическими рисками; разработать методику и процедуры формирования информационной базы управления агробиологическими рисками.

## Выводы

1. Разработан понятийный аппарат агроклиматического риска.
2. Создана содержательная база формирования информационной основы управления агроклиматическим риском.
3. В дальнейших исследованиях целесообразно исследовать проблему управления агроклиматическими рисками на вероятностной основе как составляющей стратегических основ смягчения последствий изменений климата на региональном, государственном и международном уровнях. В то же время не лишено практического интереса рассмотрение проблемы смягчения агроэкологических и агрономических последствий изменения климата в границах экологических систем разных иерархических уровней от отдельных фаций до почвенно-климатических зон и провинций.

**Список литературы / References**

1. Альгин А.П. Управление в ситуациях риска. Петрозаводск, 1996. 210 с.
2. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков. М.: Центр «Академия», 2008. 308 с.
3. Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Галюк Л.П. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. СПб.: «Кириллица». 2015. 216 с.
4. Кузьменко О. В. Управление производственными рисками в сельском хозяйстве // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 11 (30) Часть 3. С. 45-47.
5. Менжулин Г. В. Анализ достоверности и точности современных модельных сценариев изменений глобального климата, рекомендованных в 4-м отчете МГЭИК // Материалы Всероссийской научной конференции «Методы оценки сельскохозяйственных рисков и технологии смягчения последствий изменения климата в земледелии». Санкт-Петербург. 2011. С. 43–44.
6. Менжулин Г. В., Петерсон Г. А, Шамшурина Н. В. Об адекватности сценариев изменений климата: воспроизведение климатического режима XX столетия современными климатическими моделями // Материалы Всероссийской конференции, «Современные проблемы климатологии», посвященной 100-летию профессора О. А. Дроздова. 20–22 октября 2009 г. Санкт-Петербургский государственный университет. СПб.: ВВМ, 2009. С. 99–100.
7. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, общее резюме. Росгидромет, Москва. 2008. 29 с.
8. Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. – СПб.: Изда-во С-Петерб. Университета. 2006. 391 с.
9. Усков А.О. Модификация ансамблевого метода приведения прогнозов МГЭИК к вероятностному представлению // В сборнике: Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего. Материалы II Международной научной конференции посвященной памяти академика Е. И. Ермакова. 2019. С. 878-884.
10. Усков И.Б., Усков А.О. Применение математики нечетких множеств к проблеме управления агроклиматическими рисками // Агрофизика. 2015. №1. С. 18-25
11. Усков И.Б., Усков А.О. Основы адаптации земледелия к изменениям климата СПб.: Нестор-История. 2014. 383 с.
12. Усков И.Б., Усков А.О. Управление агробиологическими рисками в изменяющихся климатических условиях
13. // В сборнике: Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего. Материалы II Международной научной конференции посвященной памяти академика Е. И. Ермакова. 2019. С. 557-562.
14. Чубарова Н. Е., Тарасова Л. Л., Торопов П. А., Кислов А. В. Оценка качества информации, получаемой по данным климатических моделей. В кн.: Эколого-Генетические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. М.: МаксПресс. 2011. С. 67–95.
15. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири (под редакцией Касимова Н. С. и Кислова А. В.). М.: МАКС Пресс. 2011. 496 с.
16. Якушев В.В. Информационно-технологические основы прецизионного производства растениеводческой продукции. Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. 2013 г.

**INFORMATIONAL FOUNDATION OF AGROCLIMATE RISK MANAGEMENT**

A.O. USKOV

*Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, uskovich@gmail.com*

**Abstract.** Global climate changes manifest through increase and expansion of extreme climate events' amplitude that are hard to predict. The goal of the article is to unveil the substance of agroclimate risk, its' characteristics and to expound the contents and the structure of informational foundation of agroclimate risk management as a probabilistic category and the principles under which such foundation should be shaped. Agroclimate risks, linked to extreme agrometeorological events and instability of weather conditions, are deemed as one of the main risks in agriculture. Instability of agrometeorological conditions is a statistically conditioned event.

**Keywords.** Agroclimate risk, management, forecast, fuzzy logic.

**КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ 3-D МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛАГОЗАПАСОВ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА  
ОГОЛЕННОГО ТЕСТОВОГО УЧАСТКА, ГРАНИЧАЩЕГО С ОРОШАЕМЫМ ПОСЕВОМ СОИ**А.В. ЧИНИЛИН<sup>1,2</sup> А. М. ЗЕЙЛИГЕР<sup>1</sup>, О. С. ЕРМОЛАЕВА<sup>1</sup><sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им.К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева), Москва, [achinilin@rgau-msha.ru](mailto:achinilin@rgau-msha.ru);<sup>2</sup> ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Москва, Россия»

**Аннотация.** В настоящее время, в научных исследованиях и в практической деятельности высока востребованность пространственных данных влагозапасов почвенного покрова для решения широкого спектра задач, включающих проекции климатических изменений, прогнозирование засух и наводнений, моделирование углеродного цикла, а также ведение и развитие точного земледелия. Это нашло свое отражение в признании Всемирной метеорологической организацией ООН влагозапасов почвенного покрова, в качестве важнейшей климатической переменной Системы глобального наблюдения за климатом (Global Climate Observing System). Несмотря на такую значимость доступными на сегодняшний день являются лишь слои пространственно-непрерывных данных влагозапасов поверхностного слоя 0–5 см почвы, получаемые по результатам спутникового радиолокационного мониторинга земной поверхности. Однако, низкое пространственное разрешение этих данных и их ограниченность по глубине почвенного покрова не в полной мере отвечают потребностям многих реализуемых проектов и исследований на региональном и особенно локальном уровнях. Картографическое 3D моделирование влагозапасов, основанное на использовании методов и алгоритмов машинного обучения, является одним из активно развиваемых в последние годы направлений применения искусственного интеллекта, призванных восполнить указанный недостаток требуемых данных. В настоящей работе приведены результаты применения 3D моделирования для расчета оценочных картограмм влагозапасов на оголенном тестовом участке, расположенном на границе с орошаемым посевом сои. Последнее обстоятельство нашло свое отражение в поступлении по ручейковой сети на тестовый участок ирригационного стока, что в итоге привело к формированию достаточно пестрой картины влагозапасов не только поверхностного слоя почвенного покрова, но и двух нижележащих.

**Ключевые слова.** Картографическое 3D моделирование, влагозапасы, почвенный покров, влагозапасы, цифровая модель рельефа, гидрологический анализ, эфемерная ручейковая сеть, локальные водосборные бассейны.

**Введение**

Достижения в области данных дистанционного зондирования и последние разработки в области технологий цифрового прогнозного почвенного картографирования позволяют специалистам в области наук о почвах переосмыслить методы исследования свойств почв с помощью факторного моделирования. Для проведения такого моделирования McBratney с соавторами (McBratney et al., 2003) предложили модель *scorpan* (s: почва, c: климат, o: организмы, r: рельеф, p: почвообразующие породы, a: время и n: пространственное положение), включающую пространственные и временные данные, характеризующие факторы почвообразования, и позволяющая оценивать свойства почв. Тем не менее в ряде случаев одних пространственных почвенных данных бывает недостаточно для описания свойств почвы, которое необходимо интерпретировать как реальное трехмерное тело. В ряде исследований было предложено использовать глубину почвы в качестве независимой переменной, а также 3D модели как способ учета и горизонтальной и вертикальной изменчивости свойств почв (Hengl et al., 2017; Sanderman et al., 2018; Viscarra Rossel et al., 2015]. Использование глубины почвы в качестве независимой переменной особенно интересно, когда исследуемое прогнозируемое свойство и глубина не имеют линейной связи. В последнее десятилетие для развития исследований для более высокой детализации нелинейных взаимосвязей широко использовались методы машинного обучения, в также для пространственной идентификации и количественной оценки исследуемых свойств как на глобальном и континентальном масштабе, так и на локальном уровне. В результате было показано, что ряд методов машинного обучения, в частности такой, как ансамбль деревьев решений, позволяют получать информацию об информативности каждой из ковариат, а также

ранжировать последние по значимости. В итоге, это позволяет оценивать взаимосвязи внутри модели и снижать их сложность моделей за счет удаления менее информативных переменных (Guevara et al., 2020).

#### **Объекты и методы исследования**

Тестовый участок, на котором были проведены эксперименты, был расположен на территории ОПХ Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия (ВНИИОЗ, пос. Водный, Волгоградская область). Этот участок примыкал верхней своей границей к посеву сои, который орошался дождевальными катюшечной машиной фирмы Bauer с двухконсольной фермой. При проведении дождевания посева сои непитавшаяся часть поливной воды формировала ирригационный сток, который поступал на тестовый участок по хорошо сформированной ручейковой сети. Часть этой сети участвовала в транзитном переносе оросительной воды через тестовый участок, а другая часть – в ее переносе внутрь тестового участка. Незадолго до проведения мониторинга на посевах сои было проведено дождевание, в результате чего сформировавшийся под посевами сои ирригационный сток поступил на тестовый участок. Это нашло свое отражение в неорганизованном увлажнении его поверхности, а также инфильтрации. Соответствующие контуры увлажнения отображены на полученном по результатам воздушной съемки ортофотоплане (рис. 1 а). В итоге, сформировавшаяся в результате поступления поверхностного стока относительно непростая картина увлажнения почвенного покрова тестового участка, представила интерес для построения 3D модели влагозапасов и была использована для исследований пространственных связей гидрологических характеристик его поверхности с влагозапасами почвенного покрова.

Мониторинг влагозапасов почвенного покрова был проведен по регулярной прямоугольной сетке с размером ячеек 10x8м, в 50-и узлах которой было проведено почвенное опробование из глубин 0-15, 15-30 и 30-45 см (рис. 1а). По результатам гравиметрического анализа почвенных образцов был получен пространственный набор значений влажностей трех указанных глубин почвенного покрова в границах тестового участка.

Основой набора для создания картографических моделей влагозапасов почвенного покрова являлась цифровая модель рельефа (ЦМР). Указанная ЦМР с горизонтальным разрешением 2 см была рассчитана с помощью программного обеспечения AgiSoft (Геоскан, г. Санкт Петербург) по результатам стереофотограмметрической съемки с БПЛА Dji Phantom IV Pro. Переменными-предикторами при моделировании влагозапасов почвенного покрова выступали топографические деривативы и гидрологические характеристики, полученные, соответственно, с помощью пространственного и гидрологического анализа ЦМР (таких как уклоны, аспекты, эфемерная ручейковая сеть, локальные бассейны водосборных территорий), а также картограммы Евклидовых расстояний до узлов сетки (как буферные расстояния от мест пробоотбора).

Моделирование содержания влагозапасов включало следующие этапы:

- i. подготовка исходных данных;
- ii. пересечение (соотнесение) существующих точек наблюдения и значений предикторов в этих точках (создание регрессионной матрицы);
- iii. моделирование с помощью ансамбля деревьев решений и использования кросс-валидации;
- iv. оценка точности полученной модели;
- v. оценка влагозапасов для каждого элемента (пиксела) растра по ряду глубин.

Для поиска количественной взаимосвязей влагозапасов и переменных-предикторов был использован метод ансамбля деревьев решений. Этот метод в совокупности с использованием



буферных расстояний в значительной степени позволяет учитывать пространственную автокорреляцию, включая эффекты географической близости и гидрологической связанности.

В процессе подготовки переменных-предикторов (расчет морфометрических и гидрологических характеристик), построению моделей и проверке их на устойчивость была использована связка открытого программного обеспечения SAGA GIS (Conrad et al., 2015) и R (пакеты «GSIF», «caret»). В качестве показателей точности моделей использовали коэффициент детерминации ( $R^2$ ), среднеквадратичную ошибку ( $MSE_{cv}$ ) и корень из среднеквадратичной ошибки ( $RMSE_{cv}$ ).

### Результаты и обсуждение

По результатам проведенного моделирования были получены устойчивые картографические модели влагозапасов почвенного покрова (представленной в объемных влажностях) со значениями коэффициента детерминации в пределах 0.594–0.629 для моделей на разные глубины, а также  $RMSE_{cv}$  — в пределах 2.37-3.56% (табл. 1).

Таблица 1. Результаты перекрестной проверки.

Модель	Показатели точности		
	$MSE_{cv}$	$RMSE_{cv}$	$R^2$
w15	12.71	3.56	0.629
w30	5.96	2.42	0.594
w45	5.64	2.37	0.612

Для модели влагозапасов слоя 0-15 см предикторами в порядке их значимости оказались: а) слой с найденными для каждой точки мониторинга по результатам гидрологического анализа локальными бассейнами; б) слой абсолютных отметок высот; в) слой с буферными расстояниями до 10 точки пробоотбора.

Результаты проведенного моделирования нашли свое отражение на результирующей картограмме, представленной на рис. 16. На правой верхней части этой картограммы достаточно отчетливо отображается кругообразный паттерн от 10 точки пробоотбора. На остальной части анализируемой картограммы достаточно, также достаточно отчетливо отображен ряд контуров с высокими значениями влагозапасов. При этом в целом на всей картограмме прослеживается общая тенденция уменьшения влагозапасов по мере удаления от границы с посевом орошаемой сои.

Первая из отмеченных особенностей картограммы модели слоя 0-15 см, отчасти, может быть связана с выходами ручейковой сети из-под посева сои. По всей видимости это и является объяснением наиболее высокой значимости в созданной модели слоя данных с локальными водосборными бассейнами ручейковых сетей. Второе обстоятельство может быть связано с частичным увлажнением пограничной части тестового участка при дождевании посева сои, а также впитыванием части воды, попадающей на тестовый участок в результате поверхностного стока.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

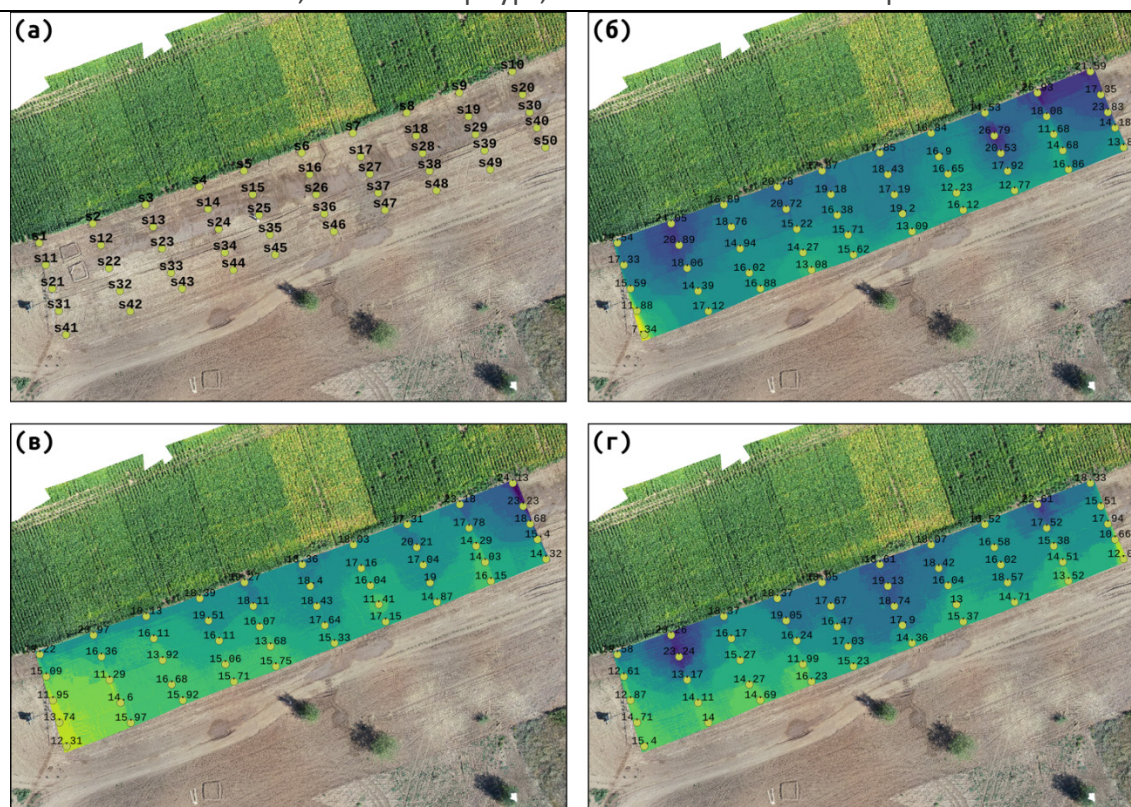


Рисунок 1. Картограммы: а) тестового участка с местами почвенного опробования; б) модели влагозапасов почвенного покрова слоя 0-15 см; в) модели влагозапасов почвенного покрова слоя 15-30 см; г) модели влагозапасов почвенного покрова слоя 30-45 см.

В случае модели влагозапасов слоя 15-30 см (рис. 1в) была получена несколько более устойчивая модель в сравнении с первой. В этой модели также, как и в первой наиболее значимыми переменными оказалась ЦМР и слой локальных водосборных бассейнов. В целом паттерн влагозапасов для слоя 15-30 во многом схож с таковым полученным для слоя 0-15 см. Отмеченное обстоятельство, во-первых, говорит о схожести влагозапасов по точкам с высокими и низкими значениями и, во-вторых, о практическом отсутствии латерального стока. Опять же прослеживается четкий геометрический рисунок от 3-й по значимости переменной — слоя с буферным расстоянием до 10 точки пробоотбора.

Для модели влагозапасов слоя 30-45 см (рис. 1г), согласно наименьшему значению ошибки прогноза получена модель наиболее точная из трех. В этой модели наиболее значимыми переменными оказались те же, что и у предыдущих моделей. Как и для двух предыдущих моделей, для модели влагозапасов на глубину 30-45 см характерно аналогичное уменьшение влагозапасов по мере удаления от границы орошаемого посева сои.

Основное отличие модели влагозапасов слоя 30-45 см от двух других моделей состоит в отсутствии значимого влияния влагозапасов в какой-либо точке пробоотбора. Это обстоятельство, обычно, находит свое отражение на картограмме в отсутствии характерных круговых паттернов. При этом для этой модели характерна также незначительная пестрота влагозапасов, что, по-видимому, связано с существенно меньшим влиянием почвенного стока в результате инфильтрации, которая затронула в основном два вышележащих слоя.

## Выводы

Полученные с использованием метода ансамблей деревьев решений удовлетворительные результаты картографического 3D моделирования влагозапасов почвенного покрова на тестовом участке, расположенном на границе с орошаемым посевом сои, свидетельствуют о перспективности дальнейшего развития и применения методов машинного обучения для получения слоев данных, востребованных при решении многочисленных научных и практических задач, в том числе, и в точном орошаемом земледелии.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-29-05261.

## Список литературы / References

1. Conrad O. и др. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4 // Geosci. Model Dev. 2015. Т. 8. № 7. С. 1991–2007.
2. Guevara M. и др. Soil Organic Carbon Across Mexico and the Conterminous United States (1991–2010) // Global Biogeochem. Cycles. 2020. Т. 34. № 3.
3. Hengl T. и др. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning // PLoS One. 2017. Т. 12. № 2. С. e0169748.
4. McBratney A. B., Mendonça Santos M. L., Minasny B. On digital soil mapping // Geoderma. 2003. Т. 117. № 1–2. С. 3–52.
5. Sanderman J. и др. A global map of mangrove forest soil carbon at 30 m spatial resolution // Environ. Res. Lett. 2018. Т. 13. № 5.
6. Viscarra Rossel R. A. и др. The Australian three-dimensional soil grid: Australia’s contribution to the GlobalSoilMap project // Soil Res. 2015. Т. 53. № 8.

## 3-D MAPPING MODELING OF MOISTURE RESERVES OF SOIL COVER OF A BARBED TEST AREA BORDERED WITH IRRIGATED SOYBEAN CROPS

A.V. CHINILIN<sup>1,2</sup>, O. S. ERMOLAEVA<sup>1</sup>, A. M. ZEYLIGER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University MTA, Moscow, Russia,  
achinilin@rgau-msha.ru., azeiliger@mail.ru, ol\_ermolaeva@mail.ru;

<sup>2</sup> V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

**Abstract.** Currently, in scientific research and in practice, there is a high demand for spatial data on soil moisture storage for solving a wide range of tasks, including projections of climate change, forecasting droughts and floods, modeling the carbon cycle, as well as maintaining and developing precision farming. This is reflected in its recognition by the United Nations World Meteorological Organization as an essential climate variable in the Global Climate Observing System. Despite this, only layers of spatially continuous data of soil moisture storage of the surface layer of 0-5 cm, obtained from the results of satellite radar monitoring of the earth's surface, are available today. However, the low spatial resolution of these data and their limited soil cover depth do not meet the needs of many tasks at the regional and, especially, local levels. 3D map modeling of soil moisture storage, based on the use of machine learning methods and algorithms, is one of the actively developed areas in recent years, designed to compensate for this lack of required data. This paper presents the results of using 3D modeling for calculating predictive (or estimated) cartograms of soil moisture storages in a bare test site located on the border with an irrigated soybean crop. The latter was reflected in the formation of surface runoff and, ultimately, in the variation of soil moisture storage at three horizons of the soil cover. The obtained satisfactory results of 3D map modeling of soil moisture storage using ensembles of decision trees indicate the prospects for the development of machine learning for obtaining the corresponding data layers, which are in demand, including in precision irrigated agriculture.

**Keywords.** Moisture mapping, electromagnetic moisture measurement, soil cover, moisture content, irrigated alfalfa, biomass yield, spatial correlation.

## QUANTITATION OF TOXIGENIC ASPERGILLUS FLAVUS STRAINS IN MAIZE SEED MATERIAL VIA CONVENTIONAL PCR

C. B. GRAJDIERU, L. G. TUMANOVA

*Institute of Genetics, Physiology and Plant protection, Republic of Moldova, kgrejdieru@mail.ru*

**Abstract.** Conventional PCR is generally considered a qualitative method. But using serial dilution and partitioning of reaction mix with the following application of statistical analysis permits to use conventional PCR as a quantitative or semi-quantitative method. Samples of seed material of maize 'CP 137' and 'CP 148' genotypes were analyzed for accumulation of toxigenic *A. flavus* strains. Partitioning and Poisson statistics were applied as an alternative quantitative approach for conventional PCR. 'CP 148' maize seed samples revealed a significantly lower quantity of aflatoxin-producing *Aspergillus* DNA.

**Key words.** Conventional PCR, *Aspergillus flavus*, maize, aflatoxins, Poisson statistics.

### Introduction

Aflatoxins are secondary metabolites produced by certain fungal species, *A. flavus*, *A. parasiticus* and *A. nominus* being of the main concern (Chavez, Cheng, Stasiewicz, 2020; Pfliegler et al., 2020; Vaz et al., 2020). Aflatoxins are potent carcinogens and therefore their concentration in food and animal feed is strictly limited in USA and EU to 4-20 µg/kg (Agriopoulou, Stamatelopoulou, Varzakas, 2020).

Most approaches for monitoring of emerging risks associated with aflatoxin contamination are based on mycotoxin detection via ELISA- and chromatography-based assays in food and feed samples (Chavez, Cheng, Stasiewicz, 2020; Sulyok et al., 2020; Vaz et al., 2020). However, PCR analysis based on identification of toxigenic *Aspergillus* species with primers to fungal genome sequences associated with aflatoxin production permits to estimate the potential hazard of food contamination with mycotoxin-producing fungi (Andrade et al., 2017; Levin, 2012; Mitema, Okoth, Rafudeen, 2019; Omori et al., 2018). Conventional PCR is generally considered a qualitative method. But using serial dilution and partitioning of reaction mix with the following application of statistical analysis permits to use conventional PCR as a quantitative or semi-quantitative method (Basu, 2017; Deprez et al., 2016; Lievens et al., 2016; Morley, 2014; Ross Haynes, 2012; Sykes F.J. et al., 1992).

Current study aimed to perform quantitative analysis of aflatoxin-producing *A. flavus* strains in maize seed material and estimate the difference of pathogen accumulation in samples of two local genotypes 'CP 137' and 'CP 148' via conventional PCR.

### Materials and methods

Samples of maize seed material (yield of year 2020) of 'CP 137' and 'CP 148' local genotypes were acquired from experimental fields of Institute Genetics, Physiology and Plant Protection, grinded and divided in 1 g probes. Obtained raw material was used for DNA extraction and further analysis.

Total DNA for PCR analysis was isolated from maize seed samples using ISO 21571:2005 extraction protocol (ISO 21571:2005, 2015) with modifications. No *Aspergillus* inoculation and propagation on artificial media was performed. DNA was quantified using Nanodrop 8000 (Thermo Fisher Scientific) and diluted 50-fold.

A sample of 100 µl was divided into 50 replicates that were used for PCR analysis.

Primers for *A. flavus* (Tab. 1) identification were designed using Primer3 based on genome sequences associated with aflatoxin production (National Center for Biotechnology Information, 2019).

Table 1. Primers for PCR-identification of toxigenic *A. flavus* fungi

Primer	Primer sequence	Target sequence
aqfap2(F)	GTGTCGGGTGTGCCTATTTAACC	A. flavus strain IC289 O-methyltransferase A (afIP) gene, partial cds; and afIP-afIQ intergenic spacer, partial sequence
aqfap3(R)	AAGGCTTTCGGTCGGTTGATG	

PCR was performed in 25 µl of mix containing: 66 mM Tris-HCl (pH 8.4), 16 mM (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 2,5 mM MgCl<sub>2</sub>, 0,1 % Tween 20, 7% glycerol, 0,01 µg BSA, 0,2 mM of each dNTPs, 1,25 U Taq DNA polymerase (Thermo Fisher Scientific), 5 pM of each primer and 2µl of diluted DNA template. Negative control with water as template was included to detect possible contamination. For bulk analysis a 20 ng of DNA template was used.

PCR protocol included 1 cycle denaturation at 95°C for 3 min, followed by 30 sec denaturation at 95°C, annealing at 60°C for 30 sec, extension at 72°C for 30 sec for 45 cycles.

The products of amplification were separated in 1,5% agarose gel at the 6V/cm in a 1X TBE migration buffer (pH 8.0) with ethidium bromide, viewed in the UV (302 nm) and photographed. Amplicon length was estimated using DNA ladder (Thermo Fisher Scientific) and GelAnalyzer2010 software.

Quantification of fungal DNA copy number in seed samples was performed using Poisson statistics (Basu, 2017) from the proportion of negative endpoints:

$$m = -n * \ln(E) \quad (1)$$

where *m* is number of targets per partition, (*E*) - percentage of empty samples (no amplification), *n* – total number of samples in a reaction series.

Statistical analysis was performed using unpaired t-test (STATISTICA software package, TIBCO Software Inc.).

### Results and discussions

Samples of total DNA were subjected to preliminary screening via PCR bulk analysis. Six probes for each genotype that gave positive amplification with aqfap2-aqfap3 primers were used for subsequent quantitative analysis.

After amplification for each PCR series, the number of negative endpoints was calculated and percentage of empty samples was derived. Using formula (1) the number of *A. flavus* DNA copies per sample was computed (Tab. 2).

The seed samples of the ‘CP 148’ genotype (M = 23.6, SD = 2.8) compared to the seed samples in the ‘CP 137’ group (M = 64.02, SD = 4.9) demonstrated significantly lower levels of accumulation of toxigenic *A. flavus*, *t*(10) = 17.2, *p* < .0001.

Table 2. The number of *A. flavus* DNA copies (*m*) in analyzed samples of maize seed material

CP 137	CP 148
63.297755	24.637805
68.721805	19.602357
56.626694	23.603306
59.888077	21.576155
66.869859	24.637805
68.721804	27.829776

## Conclusions

Seed samples of analyzed maize genotypes revealed a significant difference in accumulation of toxigenic *A. flavus* DNA. 'CP 148' maize seed samples revealed a significantly lower quantity of aflatoxin-producing *A. flavus* DNA compared to 'CP 137'.

Poisson statistics was applied for fungal DNA quantification as an alternative quantitative method. Sample partitioning permits to use conventional PCR for quantitative analysis while it is generally considered only as qualitative method. Although a certain number of replicates is needed for a high level of precision and statistical analysis, reported method does not imply using of an added standard and sophisticated laboratory equipment. Therefore, it can be used as an alternative for qPCR in certain cases. However, preliminary dilution rate and PCR conditions should be adjusted to a level at which obtaining negative endpoints is to be likely.

## Acknowledgements

Current work was conducted with the funding of national project grant «Long-term ex situ conservation of plant genetic resources in Gene bank, using molecular methods for testing of plant germplasm healthfulness". Authors express gratitude to Laboratory of Genetic Resources for providing necessary maize seed samples.

## References

1. Agriopoulou S., Stamatelopoulou E., Varzakas T. Advances in occurrence, importance, and mycotoxin control strategies: Prevention and detoxification in foods // *Foods*. 2020. V. 9. № 2. p. 1–50.
2. Andrade M. J. et al. Targeting other mycotoxin biosynthetic genes // *Methods in Molecular Biology*. : Humana Press Inc., 2017. p. 215–235.
3. Basu A. S. Digital Assays Part I: Partitioning Statistics and Digital PCR // *SLAS Technol.* 2017. V. 22. № 4. p. 369–386.
4. Chavez R. A., Cheng X., Stasiewicz M. J. A review of the methodology of analyzing aflatoxin and fumonisin in single corn kernels and the potential impacts of these methods on food security // *Foods*. 2020. V. 9. № 3. p. 1–13.
5. Deprez L. et al. Validation of a digital PCR method for quantification of DNA copy number concentrations by using a certified reference material // *Biomol. Detect. Quantif.* 2016. V. 9. p. 29–39.
6. ISO 21571:2005. Foodstuffs — Methods of analysis for the detection of genetically modified organisms and derived products — Nucleic acid extraction // *Int. Organ. Stand.* 2015. p. 1–50.
7. Levin R. E. PCR detection of aflatoxin producing fungi and its limitations // *Int. J. Food Microbiol.* 2012. V. 156. № 1. p. 1–6.
8. Lievens A. et al. Measuring digital PCR quality: Performance parameters and their optimization // *PLoS One*. 2016. V. 11. № 5. p. 1–21.
9. Mitema A., Okoth S., Rafudeen S. M. The development of a qPCR assay to measure aspergillus flavus biomass in maize and the use of a Biocontrol Strategy to Limit Aflatoxin Production // *Toxins (Basel)*. 2019. V. 11. № 3. p. 1–18.
10. Morley A. A. Digital PCR: A brief history // *Biomol. Detect. Quantif.* 2014. V. 1. № 1. p. 1–2.
11. Omori A. M. et al. Detection of *Fusarium verticillioides* by PCR-ELISA based on FUM21 gene // *Food Microbiol.* 2018. V. 73. p. 160–167.

12. Pfliegler W. P. et al. The Aspergilli and Their Mycotoxins: Metabolic Interactions With Plants and the Soil Biota // Front. Microbiol. 2020. V. 10. № February. C. 1–21.
13. Ross Haynes. Principles of Digital PCR and Measurement Issues // Digit. PCR Appl. Adv. 2012. № Srm 2366.p. 1-98
14. Sulyok M. et al. Validation of an LC-MS/MS-based dilute-and-shoot approach for the quantification of > 500 mycotoxins and other secondary metabolites in food crops: challenges and solutions // Anal. Bioanal. Chem. 2020. p. 1–14.
15. Sykes F.J., Neoh S.H., Brisco M. J., Hughes E., Condon J. M. A. A. Quatitation of Targets for PCR by Use of Limiting Dilution // Biotechniques. 1992. V. 13. № 3. p. 444–449.
16. Vaz A. et al. Detection methods for aflatoxin m1 in dairy products // Microorganisms. 2020. V. 8. № 2. p. 1–16.
17. National Center for Biotechnology Information [Web]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (Access date: 14.04.2020).

## EVALUATION OF THE RESISTANCE POTENTIAL TO DROUGHT AND HEAT STRESS IN VARIOUS TOMATO GENOTYPES

L. MARIU, L. ANDRONIC, S. SMEREA, L. CHITROSAN

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Padurii str. 20, Chisinau 2002, R. Moldova, liliana.mariu@igfpp.md*

**Abstract.** The potential for resistance to heat or drought stress in tomato genotypes was evaluated through radicle growth ability. The effect of the abiotic stress factors on the radicle parameters in the descendants of plants infected with Tomato Aspermy Virus or Tobacco Mosaic Virus was estimated. Modulation effect has been found related to the reaction of genotypes in case of descendants from TAV or TMV infected plants. Thus, in optimal conditions, the descendants from the virus-infected plants usually expressed distinct manifestations for the radicle length, as well as for the intensity of growth at 72 and 120 hours of water imbibition, related to control. The same variants treated with heat or drought stresses indicated a specific response: usually, the offspring from infected plants showed lower values than control plants, according to the evaluated indices and only in specific combination genotype-virus-abiotic stress indicated higher values. A differentiated response of genotypes to heat or drought stress was established, placing them in different resistance groups – high, middle and low.

**Keywords.** Heat stress, drought stress, viral infection, tomatoes.

### Introduction

Plants that can adapt to environmental conditions may be more likely to survive changing. More frequently in scientific editorials there are reports of studies that reveal complementary aspects of the relationships between plants and viruses. These works slightly change the reality we know about the relationships of absolute parasitism between plants and viruses, and support the idea of manifesting a relationship of mutualism. Of course, the axiom about the placement of viruses as intracellular pathogens, which use the plant replication systems and cannot live outside the host, cannot be combated. However, published data tell us about certain plant performance in the water deficit and heat stress in the presence of viruses in host (Davis et al., 2015; Xu et al., 2008). At the same time, it is interesting that, in the offspring of plants infected with viruses, there were significant changes in metabolic profile, as well as modification in resistance to various factors (Bilichak et al., 2012; Luna et al., 2012). Remarks in which the abiotic factors determine resistance to biotic factors in a transgenerational plan are also known (Slaughter et al., 2012).

Evaluation of the response of a range of genotypes - varieties, spontaneous forms and genotypes with genes resistant to virus, to the action of heat or drought in order to establish the stress status in plants, as well as in the descendants of virus infected plants, is the aim of our research.

### Materials and methods

**First experiment.** 11 genotypes were included: varieties (Mary Gratefully, Venet, Flacara, Jacota, Anatolie, Prestij, Tomis, Mihaela), spontaneous forms (*Solanum pimpinellifolium* L., *S. cheesmaniae*), genotype with TMV resistance genes (cultivar Rufina, Tm-1/Tm-2<sup>2</sup>).

**Second experiment.** The study included the descendants of the fourth generation from plants infected with Tomato Aspermy Virus (TAV) or Tobacco Mosaic Virus (TMV), 5 tomato genotypes: *S. pimpinellifolium*, Craigella TM2 (Tm-2<sup>2</sup>/Tm-2<sup>2</sup>), Craigella TM1 (Tm-1/Tm-1) 2 populations Nr. 88 and 73 of cv. Rufina, susceptible cv. Elvira. Seeds obtained from non-infected plants served as control variant. Through the virological methods was established that the seeds of the experimental variants (control, TAV and TMV) were free of viral infection.

The development of experiments for the determination of heat resistance based on the radicle growth reaction to action with short-term thermal shock (42°C, for 6 hours) was performed according to the described method (Ивакин, 1979). The evaluation of drought stress resistance was performed based



on methodological recommendations (Гончарова, 1981). In these traits the seeds germinate in optimal temperature. After 72 hours of imbibition, water stress with a sucrose solution of 6.5% (5 atm) is applied to some of the Petri dishes, and some of them are kept in optimal conditions.

Statistical data processing, significance of differences according to average values based on the t-test, was performed using the STATGRAPHICS 18 software package. Diagrams of distribution of average values and calculations of indices of growth intensity, heat and drought resistance were performed using Excel.

**Results and discussion**

The variation of the radicle length, in dynamics for the variants exposed to stress as well as those maintained in optimal conditions, determines the intensity of its growth. The comparative index of the ratio of root length enlarging between 2 measurements under stress and optimal conditions is the basis for determining the resistance.

**The reaction of tomato genotypes to heat and drought stresses** (first experiment). Evaluation of a large spectrum of genotypes – varieties, spontaneous forms, cultivar with TMV resistance genes, by the reaction of tomato sporophyte to heat stress showed that out of 11 analyzed genotypes, 3 expressed a very good resistance ( $\geq 85\%$ ), 7 genotypes a medium resistance (61-80%) and 1 low genotype  $< 60\%$ . At the same time, we find that spontaneous forms are in the class with medium resistance to stress, and the genotypes with high values of resistance proved to have very good indices of productivity. The same genotypes exposed to drought stress expressed a bit another distributions. In this way the genotypes with better performance to cope with the drought or heat stress could be identified. Two genotypes with better performance to heat stress, Tomis and Mary Gratefully, expressed good results for drought too (Fig. 1 and Fig. 2).

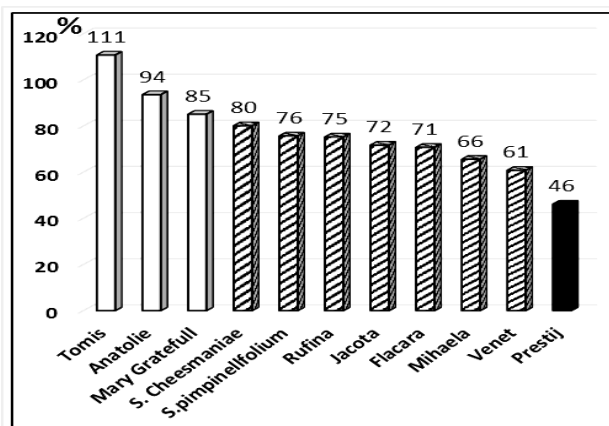


Fig. 1. Heat resistance

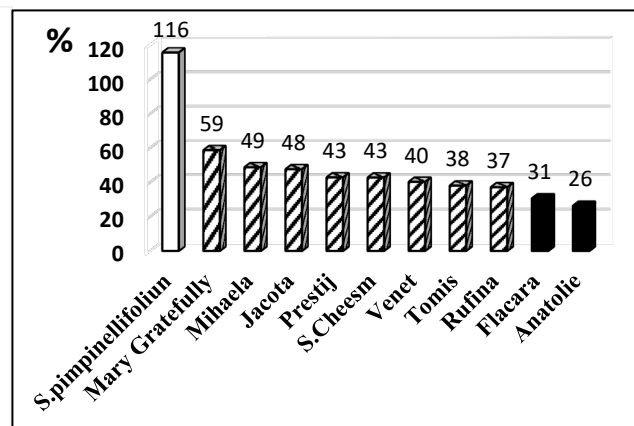


Fig. 2. Drought resistance

Note: black colons - low, shaded - medium and white - high resistance classes.

The better results for resistance indices are explained by the less differences in radicle growth between 2 records in case of optimal and stress conditions as it is in Tomis, Mary Gratefully, *S. pimpinellifolium* and Rufina, as well as the worse resistance indices in Venet and Mihaela, in case of big differences of radicle growth (Fig. 1 and Fig. 3). The values of radicle growth displayed the values of  $K_1$  and  $K_2$  coefficients under stress and optimal conditions that directly influence resistance. For example, in optimal condition for Mary Gratefully these coefficients were  $K_2$ -1.76 and  $K_1$  – 1.50, and resistance indices are 85.2 %, and for Venet  $K_2$  – 2.08 and  $K_1$  – 1.27 and resistance indices is 60.85% (Fig. 1).

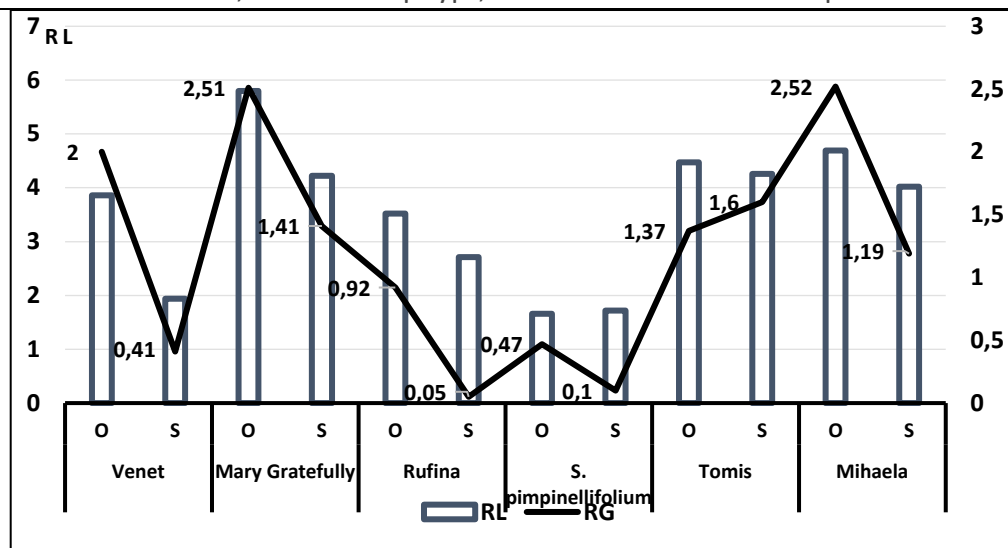


Fig. 3. Radicle Length (RL-left scale) and Radicle Growth (RG-right scale) between 2 records (72 and 120 hours) under optimal (O) and heat stress (S), cm.

**The reaction of virus infected tomato descendants to heat and drought stresses** (second experiment). Analyses of biomorphologic parameters of seedling in optimal conditions (72 hours) established higher indices for germination rate and root length in case of variants from plants infected with TAV or TMV, for 4 genotypes included in each study. The same variants after 120 hours showed a differentiated reaction, depending on genotype-virus combination. Therefore, for *S. pimpinellifolium*, in both TAV and TMV descendants, the middle values of radicle length were significantly higher than in control one. The same situation has been attested in case of TMV descendants of Rufina and Craigella TM1 genotypes. In contrary, in case of Craigella TM2 of TMV variants, the values were significantly lower. In case of all TAV and TMV variants exposed to heat stress, in almost of cases the lower values for radicle length were attested compared to optimal.

So, although the radicle length indicated higher values in TAV and TMV variants of the *S. pimpinellifolium*, the growth intensity between records in case of heat stress is higher for the variants from healthy plants, and the resistance to high temperature is expressed by 62, 45 and 55 %, respectively for control, TAV and TMV (Fig. 4 and Fig. 5). Thus, in most of cases, resistance to heat is lower in variants from virus-infected plants compared to offspring of healthy ones, except for the TAV variant of Craigella TM1 genotype.

The evaluation of the ratio of the radicle length in the total length of the seedling at 120 hours after water immersion established that the heat stress changes the ratio of radicle / plant lengths, and this response is differentiated according to genotype-virus combination. For example, in optimal conditions, the length of the root represented 60, 60 and 76% of the total length of the seedling, for

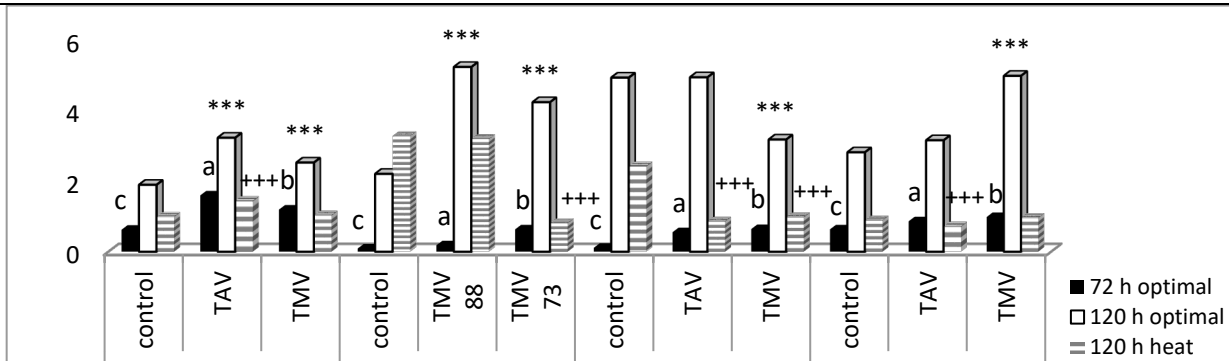


Fig. 4 Values of radicle length after 72 hours (optimal condition) and 120 hours (optimal and heat stress), cm.

Different letters - significant for TAV and TMV variants related to control one in optimal condition, 72 hours,  $P \leq 0.05$ .

\*\*\*, +++ - significant for optimal variants of TAV or TMV related to control, 120 h, and under heat stress related to optimal, respectively.  $P \leq 0.001$ .

Craigella TM1 variants- control, TAV and TMV, respectively, and in case of heat stress the value of this index was - 52, 67 and 53 % respectively (Fig. 6). At the same time, in the case of the *S. pimpinellifolium*, the differences in ratio were evident and represented for optimal conditions 40, 57 and 53% for control, TAV and TMV variants, and for heat stress less differentiated - 53, 58 and 57 %, respectively. So, we find that, in a genotype-virus specific manner, the length of the radicle can represent from 40 to 76 % of the length of the seedling, which is close to the limits established in other research (Penaloza, Duran, 2015), however the heat stress significantly changes this ratio depending on both the origin of the seeds and the genotype. This may be due to a differentiated response either at the level of meristems in the area of radicle or hypocotyl – root junction, as well as by changing the differentiation of cells in the elongation area.

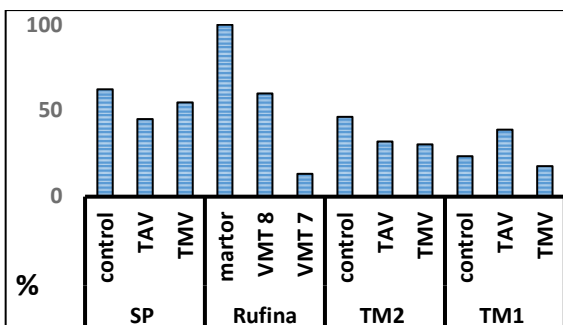


Fig. 5. Values of resistance indices to heat, %

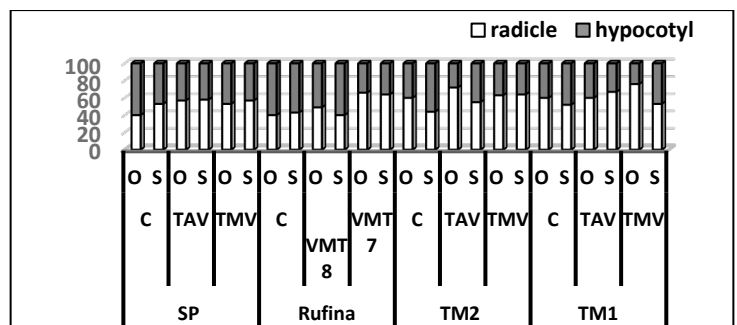


Fig. 6. The ratio of radicle and hypocotyl in the plant's length under Optimal -and heat Stress conditions, %

The drought stress has a specific reaction depending on genotype-virus combination, as well as in case of heat. For variants of TAV and TMV descendants of Elvira genotype the enlarging of radicle between 2 records has negative values reported to non infected ones in both optimal or drought stress (Fig. 7). In the same time for both TAV or TMV variants of *S. pimpinellifolium*, enlarging of radicle was attested compared to non infected. Craigella TM2 and Craigella TM1 genotypes expressed a differentiated reaction depending on genotype-virus combination.

Материалы III международной научной конференции  
 «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия

14–15 сентября 2021 г.

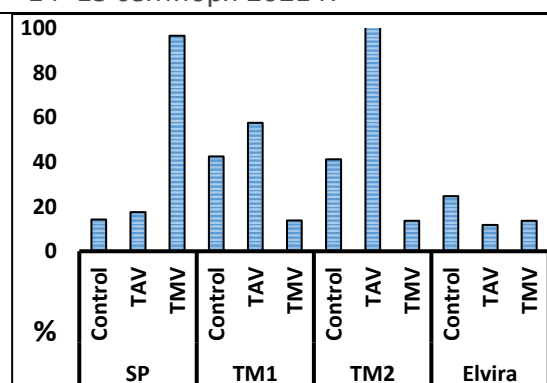
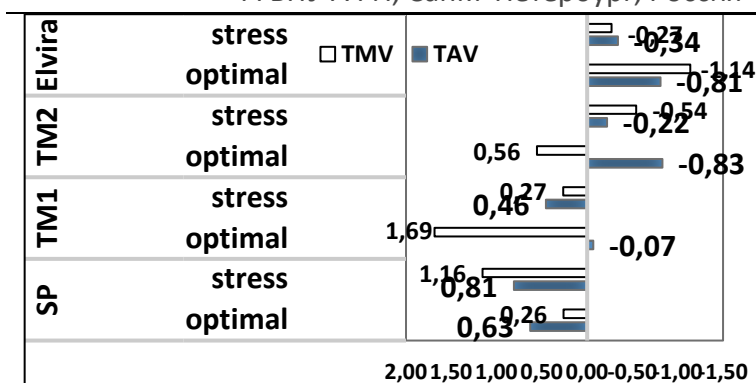


Fig. 7. Increase of radicle length between 2 records related to non infected descendants, cm.

Fig. 8. Values of resistance indices to drought, %.

The values of drought resistance indices were lower in TAV and TMV variants related to control for Elvira genotype. By the way, higher values of resistance indices were attested in case of TAV variants of both Craigella TM1 and TM2, and in case of TMV variant of *S. pimpinellifolium*. There are reports that plants possess the ability to maintain a memory of stress exposure throughout their ontogenesis and even transmit it faithfully to the following generation (Bilichak, Kovalchuk, 2016). Some of the features of transgenerational memory include elevated genome instability, a higher tolerance to stress. As well as cross tolerance of abiotic and biotic stresses was attested (Slaughter et al., 2012).

The analysis of variance established a significant contribution of all analyzed factors – genotype, virus, drought stress, as well as their interaction on radicle length (Table 1). The highest contribution was established for the drought stress factor (21.4 %), followed by genotype and virus (3.01 and 0.85 %). In case of interaction of the nominated factors, there is a higher contribution of genotype-virus combination (5.38 %), followed by the combination of drought stress-virus (3.36 %) and mixed interaction of genotype-drought stress-virus (2.81 %). The same trend of share the factors contribution was attested in case of heat stress (data not shown).

Table 1. Variance analysis for radicle length

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value	Contribution, %
Main effects						
A: Genotype	113.814	3	37.9379	35.31	0.0000	3.01
B: Drought stress	809.559	1	809.559	753.49	0.0000	21.42
C: Virus	32.3291	2	16.1645	15.04	0.0000	0.86
Interactions						
AB	61.7033	3	20.5678	19.14	0.0000	1.63
AC	203.425	6	33.9042	31.56	0.0000	5.38
BC	127.005	2	63.5025	59.10	0.0000	3.36
ABC	106.091	6	17.6819	16.46	0.0000	2.81
Residual	2269.17	2112	1.07442			60.04
Total (Corrected)	3779.22	2135				

## Conclusions

The reaction of a wide range of genotypes – varieties, genotypes with TMV resistance genes and spontaneous forms, was evaluated to heat and drought stresses. An extensive variability was established for resistance indices: high, medium and low.

It was established a specific transgenerational contribution of viral infection on radicles biomorphologic indices in case of optimal conditions. Exposure of the same variants to heat or drought stresses usually led to the expression of lower indices related to the control, according to the intensity of radicle growth and resistance to abiotic stress factors, although, in some genotype-virus-factor combinations better indices of resistance were attested.

### Acknowledgements

This research was funded by the National Agency for Research and Development (project 20.80009.7007.04 "Biotechnologies and genetical processes for evaluation, conservation and exploitation of agrobiodiversity").

### References

1. Bilichak A., Ilnystkyy Y., Hollunder J., Kovalchuk I. The progeny of *Arabidopsis thaliana* plants exposed to salt exhibit changes in DNA methylation, histone modifications and gene expression. // PLoS ONE. 2012. Vol. 7(1). e30515. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030515>.
2. Bilichak A., Kovalchuk I. Transgenerational response to stress in plants and its application for breeding. // Journal of Experimental Botany. 2016. Vol. 67 (7). P. 2081–2092. // DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erw066>.
3. Davis T. S., Bosque-Pérez N. A., Popova I., Eigenbrode S. D. Evidence for additive effects of virus infection and water availability on phytohormone induction in a staple crop. // Frontiers in Ecology and Evolution. 2015. Vol. 3. P. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00114>.
4. Luna E., Bruce T. J. A., Roberts M. R., Flors V., & Ton J. Next-generation systemic acquired resistance. // Plant physiology. 2011. Vol. 158(2). P. 844–853. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.111.191593>.
5. Penaloza P., Duran J. Association between biometric characteristics of tomato seeds and seedling growth and development. // Electron. J. Biotechnol. 2015, Vol. 18(4). P. 267-272. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejbt.2015.04.003>.
6. Slaughter A., Daniel X., Flors V. et al. Descendants of primed *Arabidopsis* plants exhibit resistance to biotic stress. // Plant Physiol. 2012. Vol. 158(2). P. 835–843. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.111.191593>.
7. Xu P., Chen F., Mannas J. P., Feldman T. et al. Virus infection improves drought tolerance. // New Phytologist. 2008. Vol. 180(4). P. 911–921. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02627.x>.
8. Гончарова Э.А. Методические указания. Сортовая и индивидуальная оценка засухоустойчивости овощных растений на разных этапах развития (томаты, перцы). Л., 1981. 13 с.
9. Ивакин А.П. Определение жаростойкости овощных культур по ростовой реакции проростков после прогревания. // Физиология растений. 1981. Т. 28. Вып. 2, С. 444-447.

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЖАРОСТОЙКОСТИ И ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ У РАЗЛИЧНЫХ ГЕНОТИПОВ ТОМАТОВ

Л. МЭРЫЙ, Л. АНДРОНИК, С. СМЕРЯ, Л. КИТРОСАН

*Институт генетики, физиологии и защиты растений, ул. Пэдурий 20, Кишинев 2002, Р.  
Молдова*

**Аннотация.** Потенциал жаростойкости и засухоустойчивости у томатов оценивали по способности роста корешков. Одновременно определили влияние факторов абиотического стресса на параметры корешков у потомков растений от инфицированных вирусом аспермии томатов (ВАТ) или вирусом табачной мозаики (ВТМ). Был установлен эффект модуляции, связанный с реакцией генотипов в случае потомков растений, инфицированных ВАТ или ВТМ. Таким образом, в оптимальных условиях потомства от вирус инфицированных растений, проявляли очевидные различия по длине корня, а также по интенсивности роста через 72 и 120 часов по сравнению с контролем. Те же варианты, обработанные тепловым или водном стрессом, показали специфический ответ. Обычно потомства от инфицированных растений представляли более низкие значения, чем контрольные растения, и только в определенных комбинациях генотип-вирус-абиотический стресс были зарегистрированы более высокие значения. Установлена дифференцированная реакция генотипов на тепловой или водный стресс, что позволяет разделить их на разные группы устойчивости - высокую, среднюю и низкую.

**Ключевые слова.** Тепловой стресс, водный стресс, вирусные инфекции, томаты.

## ВОЗМОЖНОСТИ СОКРАЩЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ГЕНОТИПОВ ВИНОГРАДА В КОНТЕКСТЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Е.Г. АЛЕКСАНДРОВ

*Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений,  
Кишинев, Республика Молдова, e\_alexandrov@mail.ru*

**Аннотация.** Изменение климата заставляет человечество пересмотреть свои принципы ведения земледелия, заставляет создать генотипы растений, которые будут развиваться и обеспечивать повышенную продуктивность в новых климатических условиях. Каждому генотипу свойствен определенный способ реагирования на факторы окружающей среды, которые регулируются генетическим кодом. У организмов в процессе развития сформировались определенные качества, которые позволяют индивидуально реагировать на климатические условия. Одна из главных задач устойчивого развития виноградно-винодельческого сектора состоит в том, чтобы получить качественные производные продукты, с использованием минимальных ресурсов, в условиях высокой экономической эффективности и использования технологических приемов, которые способствуют снижению энергетической зависимости. Винодельческие производные продукты высокого качества можно получить в случае соблюдения трех главных факторов, а именно: генотип (сорт), место расположение виноградника (климатические условия) и технология (выращивания и переработки).

**Ключевые слова.** Виноград, генотип, изменение климата, технология.

### Введение

Изменение климатических факторов – это процесс, который влечет за собой несоизмеримые последствия. Повышение температуры всего на полградуса, на развитие биоразнообразия пагубно сказывается [3, 4]. В результате чего начинается процесс опустынивания, который начался много лет назад. Этот процесс запустился давно и его последствия мы наблюдаем особенно в южных регионах, где дефицит влаги в почве и воздухе очень ощущается и негативно сказывается, особенно на сельскохозяйственные культуры. Одно из решений задач это орошение, но, к сожалению, этого недостаточно. Лишь орошение, проблему не решает. При применении техники орошении пытаемся восполнить объём влажности почвы на корневом уровне. То есть, выращивание сельскохозяйственных культур, требует использование высокоэнергетических прием культивирования растений и окупаемость таких производных продуктов очень велика. В этом случае есть только одно решение, состоящее из двух компонентов. Прежде всего, необходимо создать генотипы растений, устойчивые к климатическим факторам среды, и пересмотреть приемы выращивания сельскохозяйственных растений. К примеру: в апреле кукурузу сеять уже нежелательно, потому что в июле засуха, надо в марте сеять, а может в феврале, чтобы до засухи растения успели пройти примерно все этапы развития, и чтобы к этому моменту растение было уже подготовлено. Мы больше не можем себе позволить выращивать генотипы многолетних растений, которые обладают слабой устойчивостью к жаре, повышенным недостатком влаги в почве, воздухе и т.д. Это важная и колоссальная проблема не только на местном уровне, но и в мировом масштабе.

Одна из главных задач устойчивого развития земледелия состоит в том, чтобы получить качественные производные продукты, с использованием минимальных ресурсов, в условиях высокой экономической эффективности и использования технологических приемов, которые способствуют снижению энергетической зависимости [1].

### Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования послужила Коллекция винограда Института Генетики, Физиологии и Защиты Растений, которая включает 150 внутривидовых и межвидовых, привитых и ризогенных генотипов винограда, а также и приемы выращивания.

### Результаты и обсуждение

В условиях энергетического кризиса, когда экономия энергии представляет главную цель экономического прогресса, необходимо обеспечить высокий урожай при использовании минимальных ресурсов. В тоже время, необходимо создать генотипы растений, которые имели бы большой фотосинтетический коэффициент использования солнечной энергии и новые экономные приемы культивирования.

Одним из критериев, по которому можно определить производительность сельскохозяйственной экосистемы, это энергоэффективность. В результате применения технологии выращивания растений расходуется определенное количество энергии, которое выражается в рабочей силе, топливе, удобрениях, химических препаратов для защиты и т.д., а также солнечная энергия, необходимая для фотосинтетической активности, которая в конечном итоге преобразуется в биохимическую энергию, выражаемая в урожай. Основная роль в процессе использования солнечного света принадлежит генотипу. В зависимости от критерия воздействия используемой энергии различают следующие виды: *прямая* и *косвенная* энергия и *пассивная* энергия. Прямая энергия — это энергия, используемая в результате применения технологии выращивания для поддержания единицы площади или получения определенного объема продукта. Косвенная энергия заключается в использовании энергии для производства удобрений, химических препаратов и других материалов, необходимых для процесса выращивания растительных культур. Пассивная энергия — это энергия, потребляемая в процессе производства основных средств. Учитывая энергетический коэффициент, необходимый для производства урожая, и энергетический эквивалент полученного урожая, позволяет определить степень преобразования солнечной энергии в химическую энергию и снизить уровень потребления энергии. Расчет энергетического коэффициента генотипов растений позволяет определять наиболее эффективные генотипы растений, тем самым, снижая потребление энергии и повышая энергетическую ценность полученных производных продуктов. Сравнивая эквивалент потребляемой энергии полученной продукции с эквивалентом энергии, необходимой для выращивания урожая, мы получаем энергоэффективность [2, 4–6].

Для обеспечения высокого и качественного урожая в условиях экономической и энергетической повышенной эффективности, а, также принимая во внимание технологии выращивания растений, в первую очередь необходимо учитывать технологические приемы, которые потребляют большой объем энергии, а именно производство посадочного материала, защита растений, орошение и обработка почвы.

Учитывая функциональность генотипов, используемых в технике скрещивания винограда, по отношению к изменению климатических факторам, в результате можно получить генотипы растений, дающие возможность упростить процесс селекции винограда, обеспечивая тем самым преодоление межвидовыми ризогенными генотипами барьера климатических изменений, способствуя эффективному и стабильному функционированию винодельческого сектора. В результате скрещивания генотипов *Vitis vinifera* L. ( $2n=38$ ) с *Muscadinia rotundifolia* Michx. ( $2n=40$ ) были получены и отобраны межвидовые ризогенные генотипы винограда с ценными свойствами, что позволяет расширить северный ареал выращивания винограда ризогенными генотипами, а также сокращение химических обработок, которые будут способствовать получению органических продуктов и сокращения коэффициента энергетической зависимости.



Межвидовые генотипы *V.vinifera* x *M.rotundifolia* с ранним периодом созревания гроздей могут быть размножены черенкованием, тем самым получая ризогенный посадочный материал, что будет способствовать снижению затрат по созданию и содержанию виноградников и тем самым снижая уровень энергозависимости. Эти генотипы были зарегистрированы и запатентованы в Республике Молдова и, согласно агрологическим и технологическим качествам, «Малена», «Нистрянэ» и «Алгумакс» соответствуют столовым сортам, а «Августина», «Александрина» и «Аметист» - техническим сортам.

Техника формирования виноградного куста определяет габитус растения, в данном случае, образуя горизонтальный, одно- или двуплечий одноярусный куст, с одним или двумя стволами высотой 70-80 см., с плодовыми звеньями в вертикальном положении. Схема посадки: между рядами - 3,0 м. и вдоль ряда от растения до растения - 1,5 м. Система опоры – вертикальная шпалера с прямостоячими плодовыми звеньями, высота столба - 2,0 м., с тремя уровнями (первый ярус - одна проволока, второй и третий ярус - по две проволоки, на расстоянии толщины столба). Применение упомянутых межвидовых генотипов позволит расширить ареал выращивания ризогенного винограда у северной границы ареала [1].

Современные требования винодельческой отрасли диктуют необходимость создания новых сортов винограда со стабильным потенциалом урожайности, высоким качеством винограда и производных продуктов, адаптированным к новым условиям в контексте изменения климата. В результате внедрения ризогенных генотипов винограда можно будет создать экологические виноградники, которым на международном уровне уделяется особое внимание.

Климатические изменения отрицательно сказываются на качество и урожайность сельскохозяйственных культур, а в случае непринятия мер, аграрный сектор понесет существенный ущерб.

#### **Выводы**

1. Устойчивое развитие земледелия состоит в том, чтобы обеспечить общество с качественными производными продуктами, с использованием минимальных ресурсов, в условиях высокой экономической эффективности и использования технологических приемов, которые способствуют снижению энергетической зависимости.
2. Необходимо создать новые сорта винограда со стабильным потенциалом урожайности, высоким качеством гроздей и производных продуктов, адаптированным к новым условиям в контексте изменения климата.

#### **Список литературы / References**

1. Alexandrov E., Botnari V., Gaina B. Soiuri interspecifice rizogene de viță-de-vie. Particularități de cultivare. Tip. „Print-Caro”, Chișinău, 2020. 99 pag.
2. Georgescu Magdalena, Dejeu L., Ionescu P. Ecofiziologia viței-de-vie. Edit. Ceres, București, 1991. 136 pag.
3. Programul național de acțiuni pentru combaterea deertificării. HGRM nr. 367 din 13.04.2000. Monitorul Oficial Nr. 46-49 art. 470
4. Strategia Republicii Moldova de adaptare la schimbarea climei până în anul 2020 și a Planului de acțiuni pentru implementarea acesteia. HGRM nr. 1009 din 10.12.2014
5. Амирджанов А.Г. Солнечная радиация и продуктивность винограда. Ленинград. Гидрометеоздат, 1980. 280 с.
6. Мищенко З.А. Учет микроклимата при размещении виноградников и садов. Кишинев «Штиинца», 1986. 103 с.

**THE POSSIBILITY OF REDUCING THE ENERGY DEPENDENCE OF GRAPEVINE GENOTYPES IN THE  
CONTEXT OF CLIMATE CHANGE**

E. ALEXANDROV

*Institute of Genetics, Physiology and Plants Protection, Chisinau, Republic of Moldova,  
e\_alexandrov@mail.ru*

**Abstract.** Climate change is forcing humanity to reconsider its principles of farming, forcing the creation of plant genotypes that will develop and provide increased productivity in new climatic conditions. Each genotype has a specific way of responding to environmental factors that are regulated by the genetic code. In the process of development, organisms have formed certain qualities that allow them to individually respond to climatic conditions. One of the main tasks of sustainable development of the wine and wine sector is to obtain high-quality derivatives, using minimal resources, in conditions of high economic efficiency and the use of technological methods that help reduce energy dependence. High quality wine derivatives can be obtained if three main factors are observed, namely: genotype (variety), location of the vineyard (climatic conditions) and technology (cultivation and processing).

**Keywords:** grapevine, genotype, climate change, technology.

**ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР *BRASSICA RAPA* L. ПО УСТОЙЧИВОСТИ К КАПУСТНОЙ МОЛИ И КАПУСТНОЙ СОВКЕ**

А.М. АРТЕМЬЕВА, А.Б. КУРИНА

ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** Изучены пищевые предпочтения чешуекрылых насекомых – основных вредителей капустных культур капустной моли и капустной совки с использованием 100 образцов шести овощных культур *Brassica rapa* мировой коллекции ВИР, выращенных на инфекционном фоне в Ленинградской области РФ. Выявлена высокая вариабельность устойчивости культур вида к чешуекрылым насекомым от полной восприимчивости до устойчивости, определена в среднем высокая степень комплексной устойчивости пекинской капусты. Найдены источники комплексной устойчивости к насекомым, преимущественно среди полукочанных сортотипов пекинской капусты и российских и скандинавских сортов корнеплодной репы. Высоко восприимчивые образцы относятся главным образом к культурам с высоким содержанием биологически активных соединений, ценных для питания.

**Ключевые слова.** *Brassica rapa*, генофонд, устойчивость, капустная моль, капустная совка.

**Введение**

В условиях повсеместного расширения поражения листогрызущими вредителями посевов капустных культур, с учетом требований минимизации пестицидного загрязнения окружающей среды, необходимы фундаментальные знания закономерностей накопления различными культурами биологически активных веществ с защитными свойствами, для разработки стратегии создания новых сортов овощных культур семейства капустные с комплексной устойчивостью к насекомым-вредителям.

Устойчивость растений капустных культур к повреждению вредителями должна закладываться в генотип на самых ранних этапах селекционного процесса (Пивоваров и др., 2006; Войтенкова, 2011; Маслова и др., 2011, 2016).

Актуальность настоящего исследования связана с изучением высокой вариабельности степени устойчивости (толерантности) широкого генетического разнообразия образцов овощных капустных культур высоко экономически значимого вида *Brassica rapa* L.

**Объекты и методы исследования**

Материал для изучения включал 100 образцов капустных культур вида репа *Brassica rapa* L., относящихся к пяти подвидам, шести культурам – пекинскую (40 образцов), китайскую (21 обр.), розеточную (7 обр.), пурпурную (1 обр.), японскую капусты (5 обр.), листовую (6 обр.) и корнеплодную репу (20 обр.) – то есть репрезентативную выборку из мировой коллекции ВИР, включающей более 1600 образцов различного происхождения и статуса. Количество образцов каждой культуры в выборке зависит от существующего естественного разнообразия морфотипов культуры. Набор включает главным образом образцы современной селекции, описанные по морфологическим и агрономическим признакам в Пушкинских лабораториях ВИР и выделенные в качестве источников продуктивности и качества, различного происхождения: из России, Нидерландов, Швеции, Франции, Китая, Кореи, Японии, Вьетнама, Таиланда, Казахстана, Киргизии, Таджикистана, США, то есть из стран, где развиты потребление культур вида и ведется их селекция.

Изучение степени устойчивости / восприимчивости к повреждению капустной молью и капустной совкой в естественных условиях выбранных для проекта образцов коллекции капустных культур сделано в ходе полевого выращивания в провокационные для повреждения вредителями сроки в Пушкинских лабораториях ВИР (Северо-запад, Санкт-Петербург, 59 ° 43 ' )

с.ш.) в 2021 г. по методике ФГБНУ ВИЗР, при посеве в двух повторениях по 20 растений в повторении. Оценка ущерба проводилась три раза в неделю, окончательная оценка - при полной технической зрелости растений. Изучение устойчивости образцов при искусственном заражении вредителями проведено в тепличных условиях Пушкинских лабораторий ВИР по методике РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева.

Использовали следующую балльную шкалу оценки устойчивости / восприимчивости: 0 – не поражен, 1 – очень слабое поражение (до 5% листовой поверхности), 2 – слабое (6-20%), 3 – среднее (21-40%), 4 – выше среднего (более 41%), 5 – сильное (сохранены только жилки).

### Результаты и обсуждение

Среди чешуекрылых вредителей наиболее опасными в настоящее время для всех капустных культур и рапса в России являются универсальный вредитель капустная совка *Mamestra brassicae*, бабочка сем. совок, и специализированный вредитель капустная моль *Plutella xylostella*, бабочка из семейства серпокрылые моли (*Plutellidae*). Капустная моль портит внешний вид растения, но капустная совка очень сильно повреждает листовую аппарат, вызывая в том числе полную потерю урожая. Наибольший уровень устойчивости вплоть до полной резистентности к капустной совке среди культур вида капуста огородная был найден у листовой капусты.

Результаты многолетних наблюдений за поражением около 1000 образцов мировой коллекции капустных культур ВИР болезнями и вредителями в естественных условиях Ленинградской области и проблемы защиты растений от комплекса вредителей отражены в работах Е.Б. Белых и др. (2013) и Е.Л. Гасич (2013).

Среди культур *B. гара* в условиях Ленинградской области самый высокий уровень устойчивости к капустной совке был ранее нами определен у образцов пекинской капусты (*B. гара* ssp. *pekinensis*). В меньшей степени, но еще высокой резистентностью отличалась японская капуста мизуна (*B. гара* ssp. *nipposinica*) и корнеплодная репа (*B. гара* ssp. *гара*), средний уровень устойчивости отмечен у пурпурной капусты цикайтай (*B. гара* ssp. *chinensis* var. *purpurea*), средний и ниже среднего у форм розеточной капусты татсой (*B. гара* subsp. *parinosa*) и листовой репы (*B. гара* ssp. *гара*). Очень слабую устойчивость и восприимчивость наблюдали у китайской капусты пакчой (*B. гара* ssp. *chinensis*).

В 2021 году заселенность личинками старших возрастов капустной моли в естественных условиях составляла 2-5 на 70-100% растений образца, капустной совки – 2-3 на 40-50% растений.

В настоящей работе определен уровень конгруэнтности между естественным и искусственным заражением растений различных культур насекомыми-вредителями. Средняя по культуре степень поражения капустной молью составила у пекинской капусты 2,35 и 2,19 балла при естественном и искусственном заражении соответственно, китайской капусты – 2,94 и 2,17, розеточной капусты – 3,33 и 2,43, пурпурной – 3 и 3, японской капусты – 3 и 2,5, листовой репы – 3,5 и 2,17, корнеплодной репы – 2,65 и 2,1 балла. Средняя степень поражения капустной совкой по каждой изученной культуре: пекинская капуста – 2,10 и 2,11 балла, китайская капуста – 2,36 и 1,21, розеточная капуста – 2,9 и 1,07, пурпурная капуста – 2 и 1,5, японская капуста – 2,6 и 1,7, листовая репа – 2,83 и 2,75, корнеплодная репа – 2,75 и 2,14 балла.

Таким образом, степень поражения вредителями в среднем по каждой культуре вида колебалась от слабой до средней, при этом поврежденность растений капустной молью была выше, чем капустной совкой. В большинстве случаев степень поражения растений на естественном фоне была выше, чем на искусственном фоне, что связано, вероятно, с очень благоприятными для роста растений условиями теплицы, где был устроен инфекционный фон.

В условиях естественного заражения капустной молью в среднем наиболее устойчива оказалась пекинская капуста (слабая степень поражения), несколько менее корнеплодная репа, что согласуется с нашими предварительными данными. Средняя степень поражения молью отмечена у китайской, пурпурной и японской капуст, выше средней степени – у розеточной капусты и листовой репы. В среднем неустойчивые к поражению молью культуры отличаются высоким содержанием органических кислот, фенольных соединений, пигментов хлорофиллов и каротиноидов (Артемьева, Соловьева, 2018).

В то же время вариабельность степени устойчивости к поражению капустной молью внутри культуры была очень высокой, особенно на естественном фоне: у пекинской и китайской капусты и листовой репы от очень слабого поражения до выше среднего (1-1,5 – 4 балла), у розеточной капусты от очень слабого до сильного (1-5 баллов), у японской капусты от слабого до среднего (1,5-3 балла), у корнеплодной репы от слабого до сильного (1,5-5 баллов).

Выделены образцы с высокой устойчивостью к поражению личинками капустной моли, морфологически различные, в том числе без опушения: пекинской капусты Nagumaki Shin Santousai (к-270, Япония), Udzi M70 (к-398, Япония), IT 104056 (к-672, Корея); корнеплодной репы Круглый местный (к-1050, Россия), Репа листовая на силос (к-1121, Финляндия). Самая высокая восприимчивость отмечена у образца пекинской капусты с очень нежными светло-зелеными листьями Хибинская (к-36, Россия), китайской длинночерешковой капусты Nikanme Taisai (к-374, Япония), розеточной капусты №95-4 (к-541, Китай), листовой репы Uzuki Komatsuna (к-215, Япония), корнеплодной репы Hinona (к-1422, США). Последний образец также неустойчив к повреждению капустной мухой.

Различия между культурами по устойчивости к капустной совке были очень невелики, но самую высокую устойчивость также показала пекинская капуста, а самую высокую поражаемость – розеточная капуста и репа, листовая и корнеплодная. Высокую устойчивость к капустной совке показали образцы пекинской капусты к-296 (Эквадор), Spring Sun 60 F1 (к-405, Япония), к-385 (Вьетнам), корнеплодной репы к-1401 (Таджикистан). Высокая восприимчивость к поражению капустной совкой установлена у японских образцов репы: листовой Goseki Late (к-242, Япония), корнеплодной Shogoin daimaru kabu (к-1411, Япония) и Hinona (к-1422).

Выделены образцы культур *B.gara* с высокой комплексной устойчивостью к листогрызущим вредителям: пекинской капусты Хасинбечу (к-247, Корея), Ju Zhu (к-292, Китай), Маруба Санто (к-329, Япония), Shantung Tropical Round (к-406, Япония), Nakata Chirimen (к-440, Япония), Raioh 90 F1 (вр.1558, Япония), принадлежащие преимущественно полукочаным сортотипам; китайской капусты Местный (к-195, Китай) с темно-зелеными листьями; корнеплодной репы Палитра (к-1398, Россия), Golden Ball (к-1494, Финляндия).

## **Выводы**

Изучены пищевые предпочтения чешуекрылых насекомых – основных вредителей капустных культур капустной моли и капустной совки с использованием 100 образцов из пяти подвидов/шести культур *B. gara*, выращенных на естественном и искусственном инфекционных фонах в Ленинградской области РФ. Выявлена высокая вариабельность устойчивости овощных культур вида к чешуекрылым насекомым, определена ботаническая приуроченность устойчивости среди культур и типов сортов – преимущественно среди полукочаных сортотипов пекинской капусты и российских и скандинавских сортов корнеплодной репы; выделены источники комплексной устойчивости к насекомым пекинской и китайской капусты и корнеплодной репы. Четких морфологических особенностей и географической приуроченности

устойчивости установить не удалось. По всей видимости, устойчивость обусловлена содержанием специфических компонентов биохимического состава растений.

#### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке гранта ННИО\_а Конкурс инициативных научных проектов, проводимых совместно РФФИ и «Немецким научно-исследовательским сообществом» № 21-516-12001 «Функциональный анализ продуктов распада глюкозинолатов в связи с устойчивостью к вредителям *Brassica rapa* L.»

#### **Список литературы / References**

1. Артемьева А.М., Соловьева А.Е. Генетическое разнообразие и биохимическая ценность капустных овощных растений рода *Brassica* L. Вестник Новосибирского ГАУ. 2018. №4 (49). С. 50-61
2. Белых Е.Б., Иванова Г.П., Артемьева А.М. Проблемы защиты овощных культур сем. Brassicaceae от комплекса вредителей // В сборнике: Фитосанитарная оптимизация агроэкосистем. Материалы 3-го Всероссийского съезда по защите растений в 3-х томах. Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ВИЗР). 2013. С. 136-138.
3. Войтенкова Л.И. Создание линий для получения гетерозисных гибридов капусты белокочанной в Приморском крае. // Сб.н.тр. по овощеводству и бахчеводству. ВНИИО, М. 2011.С. 14–17.
4. Гасич Е.Л., Хлопунова Л.Б., Артемьева А.М., Ганнибал Ф.Б., Левитин М.М. Оценка коллекции капусты огородной *Brassica oleracea* L. по устойчивости к болезням в Северо-западном регионе России // В сборнике: Фитосанитарная оптимизация агроэкосистем. Материалы III Всероссийского съезда по защите растений в трех томах. 2013. С. 386-389.
5. Маслова А.А., Ушаков А.А., Старцев В.И., Бондарева Л.Л. Селекция капустных культур на устойчивость к вредителям // Овощи России. 2011. № 3 (12). С. 38-42.
6. Маслова А.А., Ушаков А.А., Старцев В.И., Бондарева Л.Л. Оценка и отбор инбредных линий капусты белокочанной на комплексную устойчивость к болезням и вредителям // Вестник защиты растений. 2016. № 3(89). С. 104-105.
7. Пивоваров В.Ф., Старцев В.И. Капуста, её виды и разновидности. М.: ВНИИССОК, 2006. 192с.

#### **GENETIC DIVERSITY OF BRASSICA RAPA L. VEGETABLE CROPS ON RESISTANCE TO CABBAGE MOTH AND CABBAGE SCOOP**

A.M. ARTEMYEVA, A.B. KURINA

*FSBSI FRC All-Russian Institute of Plant Genetic Resources on the name of N.I. Vavilov (VIR),  
St-Petersburg, Russian Federation*

**Abstract.** The food preferences of lepidopteran insects, the main pests of brassicas, cabbage moth and cabbage scoop have been studied using 100 accessions of six *Brassica rapa* vegetable crops from the VIR world wide collection, grown under infectious conditions in the Leningrad region of the Russian Federation. High variability of resistance of crops of the species to Lepidoptera insects from full susceptibility to resistance was revealed, on average high degree of complex resistance in Chinese cabbage was determined. The sources of complex resistance to insects, mainly among semi-headed cultivars of Chinese cabbage and Russian and Scandinavian cultivars of root turnip were found. Highly susceptible accessions belong mainly to crops with a high content of biologically active compounds, valuable for human nutrition.

**Keywords.** *Brassica rapa*, gene pool, resistance, cabbage moth, cabbage scoop.

## МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГРИБКОВЫХ ПАТОГЕНОВ В СЕМЕНАХ ТОМАТА

Г.Г. БЕЛОУСОВА

Институт генетики, физиологии и защиты растений, Кишинев, Республика Молдова,  
belousovagalina@mail.ru

**Аннотация.** Томат (*Lycopersicon esculentum* Mill.) является овощной культурой и возделывается во всем мире. Она относится к семейству пасленовых Solanaceae и включает более 3000 видов. Ограничительным фактором в общедоступности томата являются болезни. Первоначальный путь распространения болезней происходит через семена. Грибковые патогены могут передаваться, находясь на поверхности снаружи или внутри семени. Для определения инфицированности были отобраны здоровые семена, без явных внешних признаков заражения. Для исключения поверхностной инфекции семена томата были обработаны 5% хлорной известью. Из каждого семени (вес семени составляет около 4 мг) выделена ДНК с применением 2% SDS буфера. Образцы ДНК протестированы в nested PCR (polymerase chain reaction) с применением характерных праймеров для родов и видов грибковых патогенов. Изучено инфицирование трех сортов семян томата Prestij, Mary Gratefully, Tomiș фитопатогенами *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.*, *Myrothecium roridum*. Тестирование патогенов проводили с использованием молекулярных методов, в частности, nested PCR. В проанализированных сортах были обнаружены вышеперечисленные патогены. Инфицирование семян патогенами *Fusarium spp.* преобладало над *Alternaria spp.* *Myrothecium roridum* присутствовал только в одном сорте Tomiș. Больше всего выявлено патогенного заражения в семенах томата сорта Tomiș. Обнаружено одновременное инфицирование одного образца томата двумя патогенами. Патогены *Alternaria spp.* и *Myrothecium roridum*, а также *Alternaria spp.* и *Fusarium spp.* совместно заражали семена томата сорта Tomiș. В исследованной ДНК семян сорта Prestij также установлено инфицирование одного образца сразу двумя патогенами *Alternaria spp.* и *Fusarium spp.* Семена томата сорта Mary Gratefully были менее всех других подвержены заражению грибковыми патогенами. Тестированные ДНК томата трех сортов молекулярными методами позволило точно охарактеризовать патогенное инфицирование семян. Фитомолекулярный мониторинг семян может быть рекомендован для характеристики семенного материала с целью профилактики грибковых заболеваний томата и для выявления латентных инфекций.

**Ключевые слова.** *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.*, *Myrothecium roridum.*, nested polymerase chain reactions.

### Введение

Более 200 различных патогенных заболеваний поражает томат. Грибковые патогены растений являются одними из основных биотических факторов, вызывающих опустошительные болезни сельскохозяйственных культур (Doehlemann et al., 2017). Фитопатогенная микрофлора отрицательно влияет на энергетический потенциал семян. Уменьшает всхожесть, инфицирует почву и вызывает значительное снижение урожая. В последнее время эта культура признана моделью взаимодействия растений с патогенами (Arie et al., 2007). Первоначальный путь распространения болезней происходит через семена. Перемещение семян способствует патогенному инфицированию семенного материала. При гистологических исследованиях установлено, что *A. alternata* присутствует в перикарпии, а *Fusarium oxysporum* и *Alternaria solani* выявлены в семенной оболочке, семядолях и эмбриональной части рассады томатных растений.

### Объекты и методы исследования

Для исследования были использованы семена томата селекции Института генетики, физиологии, защиты растений Республики Молдова. Работа была направлена на выявление внутреннего заражения семян грибковыми патогенами *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.* *Myr.ror* с помощью молекулярно-генетических методов. Промытые семена помещали в стерильную чашку Петри с влажной двухслойной фильтровальной бумагой и оставляли до прорастания. Было отобрано по 9-12 семян. Из каждого была выделена ДНК. Образцы ДНК были протестированы в nested PCR с применением специфичных праймеров для родов и видов грибковых патогенов. Nested PCR

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

способствовал специфичности и точности нашего исследования. Температура отжига для всех праймеров в первом раунде была 61<sup>0</sup>, во втором 60<sup>0</sup> (Белоусова Г.Г.,2018). Условия амплификации и дизайн праймеров представлены в таблице 1.

Таблица 1. Нуклеотидная последовательность ДНК праймеров фитопатогенов и условия амплификации nested PCR

Название Фитопатогена	Номер праймера	Раунд / Праймер	Нуклеотидная последовательность ДНК праймеров	Кол-во циклов
<i>Alternaria spp.</i>	1	1/ ac 1/ ac	fr.GTCGGTAGTGACGCTTCTCC rev.AAGATGAGGTGGTTGCGGTT	27
<i>Alternaria spp.</i>	2	2/ ac 2/ ac	fr.GTGTCTGGGTTGGTGTCCAT rev.ACGGCCAGCATCTGTGAAG	28
<i>Alternaria alternata</i>	3	1/ Aa 1/ Aa	fr.GGCCATCCAAGTTGCGAAAAC rev.ACACCCATAACGAACATGGGG	30
	4	2/ Aa 2/Aa	fr.TCTGTGGTTCGCAGAATGCAG rev.GGCGTCAGCAGAGGGGAG	34
<i>Fusarium spp.</i>	5	1/fc 1/fc	fr.GACCGGTCACTTGATCTACCAG rev.ACATACCAATGACGGTGACATAGT	29
<i>Fusarium spp</i>	6	2/fc 2/fc	fr.CTACCAGTGCGGTGGTATCG rev.ATGGTGATACCACGCTCACG	32
<i>Fusarium spp</i>	7	1/ fc 1/ fc	fr.CTACCAGTGCGGTGGTATC rev. ACATACCAATGACGGTGACATAGT	36
<i>Fusarium spp</i>	8	2/ fc 2/ fc	fr.CCATCGAGAAGTTCGAGAAGGTT rev.CCCAGGCGTACTTGAAGGAA	33
<i>Myrothecium roridum</i>	9	1/Myr.ror 1/Myr.ror	fr.ACTCCCAAACCTTTGTGAACC rev.TGGGGTGTTTTACGGCATGG	30
<i>Myrothecium roridum</i>	10	2/Myr.ror 2/Myr.ror	fr.TGTCTTTAGTGGTTTTCTCCTCTGA rev.GAGACCGCCACTGAATTTCCG	34

### Результаты и обсуждение

Для выявления *Alternaria spp.* методом nested PCR на ДНК, выделенной из семян томата сорта Prestij, в первом раунде использовали пару праймеров №1, а для второго раунда была использована пара праймеров № 2 (таблица 1). Результаты исследования представлены на рис. 1. На электрофореграмме, в образце 4, наблюдаем амплификон в 145 п. о., характерный для этой пары праймеров.

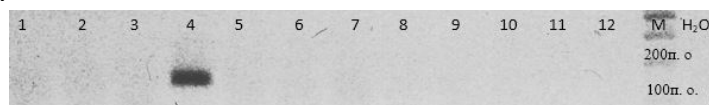


Рис. 1. Электрофореграмма продуктов nested PCR на ДНК семян томата сорта Prestij с использованием специфических праймеров к *Alternaria spp.* – дорожки: № 1-12, К – контроль (H<sub>2</sub>O), М – маркер 1kb DNA Ladder.



В этих же образцах ДНК семян с помощью nested PCR выявлены фитопатогены *Fusarium spp.* - это образцы 4 и 9. В nested PCR были взяты праймеры для первого раунда №5, для второго раунда-№6 (таблица 1). На электрофореграмме (рис. 2) ампликон для *Fusarium spp.* соответствует ожидаемому - 372п.о.



Рис. 2. Электрофореграмма продуктов nested PCR на ДНК из семян томата сорта Prestij с использованием специфических праймеров к *Fusarium spp.* – дорожки № 1-12. К- контроль (H<sub>2</sub>O), М – маркер 1kb DNA Ladder.

Тестирование ДНК семян томата сорта Prestij молекулярными методами позволило определить наличие *Alternaria spp.* в 4-ом образце, фитопатогены *Fusarium spp.* содержались в двух образцах - 4, 9. Двойное заражение *A. alternata*, так и *Fusarium spp.* выявлено в образце 4. *Myr.ror* в тестированных образцах не был выявлен.

Исследования по выявлению патогенов *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.*, *Myr.ror*. в образцах ДНК семян томата сорта Mary Gratefully показали заражённость фитопатогенами *Fusarium spp.* Четыре образца, а именно 3, 5, 9, 11 были инфицированы этими патогенами. В nested PCR для определения фузариума были взяты праймеры для первого раунда №7, для второго раунда-№8 (таблица 1). На электрофореграмме (рис. 3.) наблюдаем ампликон в 300 п. о., характерный для данной пары праймеров.

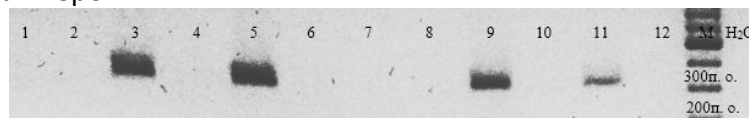


Рис. 3. Электрофореграмма продуктов nested PCR на ДНК из семян томата сорта Mary Gratefully с использованием специфических праймеров к *Fusarium spp.* – дорожки 1-12. К- контроль (H<sub>2</sub>O), М – маркер 1kb DNA Ladder.

В nested PCR протестированы 9 образцов ДНК семян томата сорта Tomiş. При совместном определении патогенов *Alternaria spp.* и *Myr.ror* выявлены фитопатогены: образец 3 заражен *Myr.ror*, образцы ДНК - 2, 3, 6, 9 поражены *Alternaria spp.* Двойное инфицирование выявлено в третьем образце ДНК патогенами *Alternaria spp.* и *Myr.ror*. Для определения *Alternaria spp.* в первом раунде была использована пара праймеров №1, во втором раунде пара №2 (таблица 1). Для выявления *Myr.ror* в первом раунде была использована пара праймеров №9, во втором раунде пара №10 (таблица 1). На электрофореграмме (рис. 4.) ампликон в 300 п.о. в образце 3, характерный для *Myr.ror*. Для фитопатогенов рода альтернария на электрофореграмме (рис. 4.) наблюдаем ампликон у в 145п.о., характерный для *Alternaria spp.*

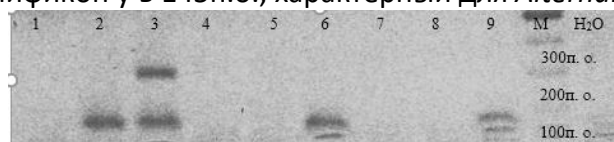


Рис. 4. Электрофореграмма продуктов nested PCR на ДНК из семян томата сорта Tomiş с использованием специфических праймеров к *Alternaria spp.*, *Myr.ror* – дорожки 1-9. К- контроль (H<sub>2</sub>O), М – маркер 1kb DNA Ladder.

Образцы, показавшие наличие *Alternaria spp.* в исследованном сорте Tomiş, проверили на видовые патогены *A.solani* и *A.alternata*. *A.solani* не выявлена ни в одном из исследованных образцов. *A.alternata* определена в двух. Для установления инфицированности семян

патогенами *Fusarium spp.* в первом раунде были использованы пара праймеров №7, во втором праймеры №8 (таблица 1). В образцах 1, 2, 4, 9 выявлена ампликон в 300 п. о., характерный для этой пары праймеров, указывающая на присутствие патогенов рода *Fusarium*. Семена томата сорта *Tomış* были инфицированы тремя патогенами *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.* и *Myr.ror.*

### Выводы

Молекулярно-генетический анализ позволил выявить инфицирование семян томата и наличие конкретных патогенов. Патогены *Fusarium spp* идентифицированы в семенах томата *Prestij*, *Mary Gratefully*, *Tomış*; *Alternaria spp.* в семенах *Prestij* и *Tomış*; *Myrothecium roridum* присутствовал только в семенах *Tomış*. *A.alternata* определена в семенах *Tomış*. Показано одновременное присутствие двух патогенов в одном семени томата. Тестирование ДНК молекулярными методами позволяет точно характеризовать патогенное заражение семян.

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.11, финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию, Республики Молдовы. Автор выражает признательность Надежде Ильиничне Михне за предоставление семян томатных растений.

### Список литературы / References

1. Doehlemann G., Ökmen B., Zhu W. and Sharon A., Microbiol. Spectr.5 (1), 1-23, FUNK-0023-2016. doi: 10.1128/microbiolspec.FUNK-0023-2016
2. Arie T., Takahashi H., Kodama M., Teraoka T., Plant Biotechnology, 2007,24, 135–147
3. Белоусова Г.Г., Шубина В.Э., Международная научно-практическая конференция «Биологический метод защиты растений: достижения и перспективы» 2018 г., 49-55.

### MOLECULAR IDENTIFICATION OF FUNGAL PATHOGENS IN TOMATO SEEDS

G.G. BELOUSOVA

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Republic of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova, belousovagalina@mail.ru*

**Abstract.** The tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) is a worldwide cultivated vegetable crop. It belongs to the *Solanaceae* family that includes over 3,000 species. Diseases are a limiting factor in the general availability of tomato. The original route of spread of disease is through seeds. Fungal pathogens can be transmitted from the surface or inside the seed. To determine the infection, healthy seeds were selected, without obvious external signs of infection. To exclude superficial infection, tomato seeds were treated with 5% bleach. DNA was isolated from each seed (seed weight is about 4 mg) using 2% SDS buffer. DNA samples were tested via nested-PCR (polymerase chain reaction) using specific primers for different the fungal genera and species. The infection of three varieties of tomato seeds *Prestij*, *Mary Gratefully*, *Tomis* with *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.*, *Myrothecium roridum* phytopathogens was studied. Pathogen testing was performed using molecular methods, in particular, nested-PCR. The pathogens listed above were found in the analyzed varieties. Seed infection with *Fusarium spp.* pathogens. prevailed over *Alternaria spp.*. *Myrothecium roridum* was present in samples of only one cultivar - *Tomış*. Most pathogenic infection was detected in the seeds of tomato cultivar *Tomış*. Simultaneous infection of one tomato sample with two pathogens was found. Pathogens *Alternaria spp.* and *Myrothecium roridum* as well as *Alternaria spp.* and *Fusarium spp.* jointly inoculated tomato seeds of the variety *Tomış*. In the studied seed DNA samples of cv. *Prestij*, infection of one sample with two pathogens - *Alternaria spp.* and *Fusarium spp.* was also established. *Mary Gratefully* tomato seeds were the least susceptible to infection with fungal pathogens. The tested DNA of three varieties of tomato by molecular methods made it possible to accurately characterize the pathogenic infection of seeds. Molecular monitoring of phytopathogens can be recommended for the evaluation of seed material in order to prevent fungal diseases of tomato and to detect latent infections.

**Keywords.** *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.*, *Myrothecium roridum.*, nested polymerase chain reactions.

**НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА РАСТЕНИЙ К ФОТОИНГИБИРОВАНИЮ**О.Н. БУДАГОВСКАЯ<sup>1,2</sup>, А.В. БУДАГОВСКИЙ<sup>1,2</sup><sup>1</sup> ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И.В.Мичурина» (ФГБНУ ФНЦ), Мичуринск, [info@fnc-mich.ru](mailto:info@fnc-mich.ru);<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ), Мичуринск, [Budagovsky@mail.ru](mailto:Budagovsky@mail.ru)

**Аннотация.** Разработан экспресс-метод для определения устойчивости растений к световому повреждению, не требующий специализированной аппаратуры. Он основан на использовании техники и технологии регистрации параметров медленной индукции флуоресценции хлорофилла, при этом измерения проводятся дважды в одной и той же зоне листа с фиксированной темновой паузой между ними. В этом случае световой поток, возбуждающий флуоресценцию, используется и как фотоингибирующий фактор. Оптимизированы плотность мощности, длительность световых циклов и темновой паузы, позволяющие в течение 2-3 минут судить об устойчивости ФСА растений к избыточному свету.

**Ключевые слова.** Флуоресценция хлорофилла, фотоингибирование, диагностика, растения.

**Введение**

Свет является одним из важнейших факторов жизнедеятельности растений: фотосинтез, фоторегуляторные реакции, многие морфогенетические процессы успешно протекают лишь при наличии света определенного количественного (интенсивность) и качественного (спектр) состава (Hart, 1988). Однако избыточное освещение приводит к ингибированию фотосинтеза и последующей деградации хлорофилла. Известные методы оценки степени фотоокислительного повреждения заключаются в экспонировании листьев растений в течение определенного времени (от десятков минут до нескольких суток) интенсивным белым светом (плотностью мощности свыше 400 Вт/м<sup>2</sup>) и последующим измерении спектров поглощения (Стриж, Неверов, 2007; Мерзляк и др., 2003) или флуоресценции (Лепедуш и др, 2005; Murata et al., 2007). При достаточно больших энергозатратах, необходимых для того, чтобы на базе ламп накаливания сформировать потоки нужной интенсивности, этот подход требует громоздкого оборудования и длительного времени на проведение эксперимента. Помимо этого, по своей сути измерения носят повреждающий характер, объекты нельзя использовать повторно. Практически невозможны и нецелесообразны исследования устойчивости к фотоповреждению целых растений в процессе вегетации для анализа реакции ФСА на изменение условий обитания. В связи с этим целью настоящей работы было усовершенствование метода оценки устойчивости растений к фотоингибированию, основанное на использовании техники и технологии регистрации параметров медленной фазы индукции флуоресценции хлорофилла (МИФ), при этом измерения проводятся дважды в одной и той же зоне листа с фиксированной темновой паузой между ними. В этом случае световой поток, возбуждающий флуоресценцию, используется также и как фотоингибирующий фактор, а изменение параметров медленной индукции флуоресценции - как диагностические критерии.

**Объекты и методы исследования**

Эксперименты проводили на растениях яблони (*Malus domestica*), смородины черной (*Rubus nigrum* L.), цисуса ромболистного (*Cissus quadrangu laris.*) на высечках или целых листьях с отделением и без отделения их от побега. Для измерений использовали средние зоны листьев, между крупными жилками. Отделенные листья или высечки помещали в чашки Петри на увлажненную фильтровальную бумагу. Перед каждым измерением проводили темновую адаптацию объекта не менее 15 минут при освещённости менее 40 лк. Модификацию ФСА осуществляли погружением листьев на 10 минут в воду определенной температуры. Объекты

между обработкой и измерением проходили не менее чем 30 минутную адаптацию при комнатной температуре (+21°C).

Параметры медленной индукции флуоресценции хлорофилла измеряли с помощью хлорофилл-флуориметра авторской конструкции (Будаговская и др., 2011), дополненного функциями плавного регулирования интенсивности зондирующего излучения и циклической засветки. Флуоресценция возбуждалась синим светодиодом (465±12 нм), площадь освещаемого участка составляла 6,4 мм<sup>2</sup>. Плотность мощности излучения задавали током светодиода в диапазоне от 100 до 2400 Вт/м<sup>2</sup>. Длительность световых циклов засветки и темновой паузы между ними в диапазоне от 15 до 600 секунд обеспечивала специальная электронная схема управления излучателем. Регистрировали амплитуду и скорость тушения флуоресценции в ходе индукции флуоресценции (Fm-Ft и Vt соответственно).

Повторность измерений 6-8 кратная. В таблицах представлены средние арифметические и их стандартные ошибки, на графиках – типовые результаты.

### Результаты и обсуждение

Первый этап исследований заключался в определении оптимальной интенсивности зондирующего потока с тем, чтобы обеспечить минимальную длительность регистрации параметров МИФ без потери информативности. Для этого использовали листья цисуса ромболистного с высоким уровнем фотосинтетической активности (не менее 0,75 усл.ед.) и проводили оценку амплитуды и скорости тушения флуоресценции при различной интенсивности возбуждения и длительности регистрации (засветки). Выявлено, что плотность мощности должна лежать в пределах от 600 до 1600 Вт/м<sup>2</sup> - в этом случае допустимо сокращение длительности регистрации параметров МИФ до 45-90 секунд вместо типовых 300-360 секунд (рис. 1) Увеличение интенсивности засветки выше заданного уровня приводит к необратимым процессам фотодеструктивного повреждения фотосинтезирующего аппарата, особенно при низких значениях фотосинтетической активности.

Задачей второго этапа исследований являлась оптимизация соотношения длительностей светового (фотоингибирующего) и темнового (восстановительного) цикла измерений. Она проходила с использованием листьев смородины черной и яблони, имеющих различный уровень фотосинтетической активности при плотностях мощности зондирующего потока в рамках выявленного выше диапазона. В качестве критерия оптимизации использовали процент восстановления амплитуды тушения флуоресценции (оптимум-50-60%).

Установлено, что в зависимости от интенсивности излучения возбуждения флуоресценции возможны различные комбинации длительностей засветки и темновой паузы, при этом использование плотности мощности свыше 800 Вт/м<sup>2</sup> при длительности засветки более 30 секунд приводит к необходимости значительного увеличения темновой паузы (более 10 минут) даже для светолюбивых листьев яблони с высоким уровнем фотосинтетической активности. Для получения оптимальной схемы измерений (с длительностью световых циклов около 60 секунд и продолжительностью темновой паузы не более 120 секунд) необходимо ограничиться плотностью мощности 500-600 Вт/м<sup>2</sup>.

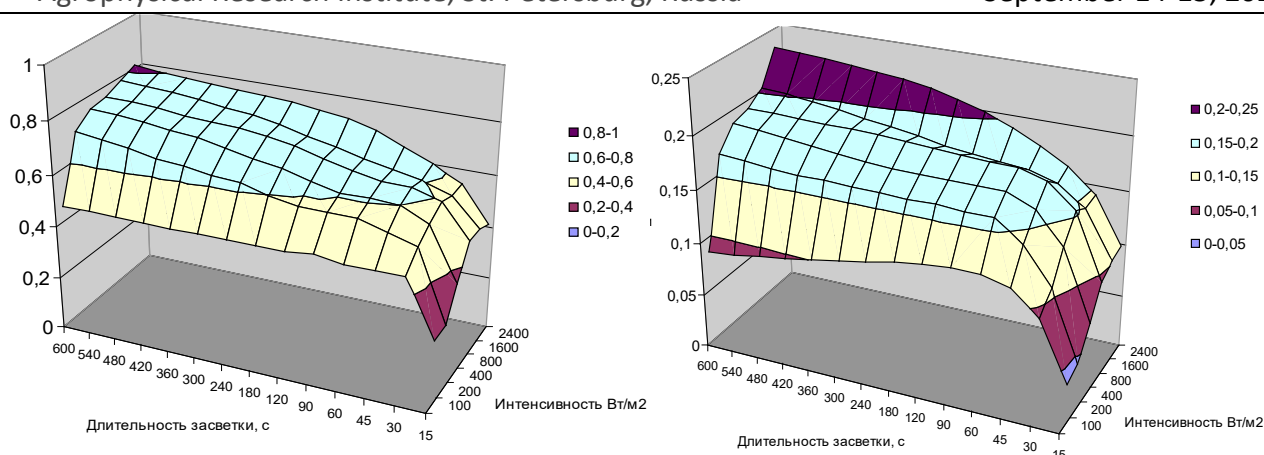


Рис. 1. Зависимость амплитуды относительного тушения  $(F_m - F_t)/F_m$  (левый график) и скорости тушения флуоресценции  $V_t$  (правый график) от интенсивности и длительности засветки, возбуждающей флуоресценцию

Оценку функционального состояния растений с использованием нового приема можно продемонстрировать на примере листьев смородины черной, прошедших модификацию состояния фотосистемы - 2 кратковременной тепловой обработкой  $+20^{\circ}\text{C}$  (контроль);  $+40^{\circ}\text{C}$  и  $+54^{\circ}\text{C}$  в течение 15 минут. Через 30 минут пребывания в темноте после температурного воздействия листья подвергали двукратной циклической засветке (длина волны зондирующего излучения 465 нм, плотность мощности 600 Вт/м<sup>2</sup>, длительность засветок 60 секунд, длительность темновой паузы 60 секунд) и по формуле определяли коэффициент устойчивости к фотоингибированию  $K_{уфи}$ :

$$K_{уфи} = 100 \cdot (F_m^2 - F_{t=60}^2) : (F_m^1 - F_{t=60}^1), \%$$

где  $F_m^1$ ,  $F_m^2$  - максимальный уровень флуоресценции первого и второго цикла измерений соответственно;  $F_{t=60}^1$ ,  $F_{t=60}^2$  - уровень флуоресценции на 60-й секунде засветки первого и второго циклов измерений соответственно.

Типичные качественные кривые (рис. 2) позволяют продемонстрировать следующие особенности реакции кривых МИФХ на циклическую засветку в зависимости от состояния фотосинтезирующего аппарата:

- для варианта «А» ( $+20^{\circ}\text{C}$  - контрольные объекты с высоким функциональным состоянием ФСА) характерно более чем 50 % восстановление кривой МИФ. При этом следует отметить, что относительная амплитуда спада интенсивности ФХ, которая используется для определения уровня фотосинтетической активности, снижается менее чем на 10 % (рис. 2А);

- для варианта «В» (листья, подвергшиеся температурой обработке  $+40^{\circ}\text{C}$ ), характерно незначительное изменение формы кривой и параметров МИФХ первого цикла засветки по сравнению с контролем. И только при повторном возбуждении МИФХ выявляются последствия теплового воздействия на ФСА, которое выражается в почти двукратном снижении  $K_{уфи}$  - до 25-36%. В то же время уровень относительного спада МИФ первого цикла наблюдается на уровне контроля, а в результате второго цикла засветки уменьшается на 24-32 % (рис. 2В);

- для варианта «С» (объекты с низким функциональным состоянием ФСА в результате обработки субкритической температурой  $+54^{\circ}\text{C}$ ) свойственна значительная модификация кривых МИФХ: и скорость и амплитуда тушения флуоресценции в первом цикле засветки существенно меньше, чем у вариантов «А» и «В». После темновой адаптации, в результате второго цикла засветки, уровень относительного спада МИФ уменьшается более чем в 3 раза, а показатель устойчивости к фотоингибированию ( $K_{уфи}$ ) падает до уровня 8-19%.

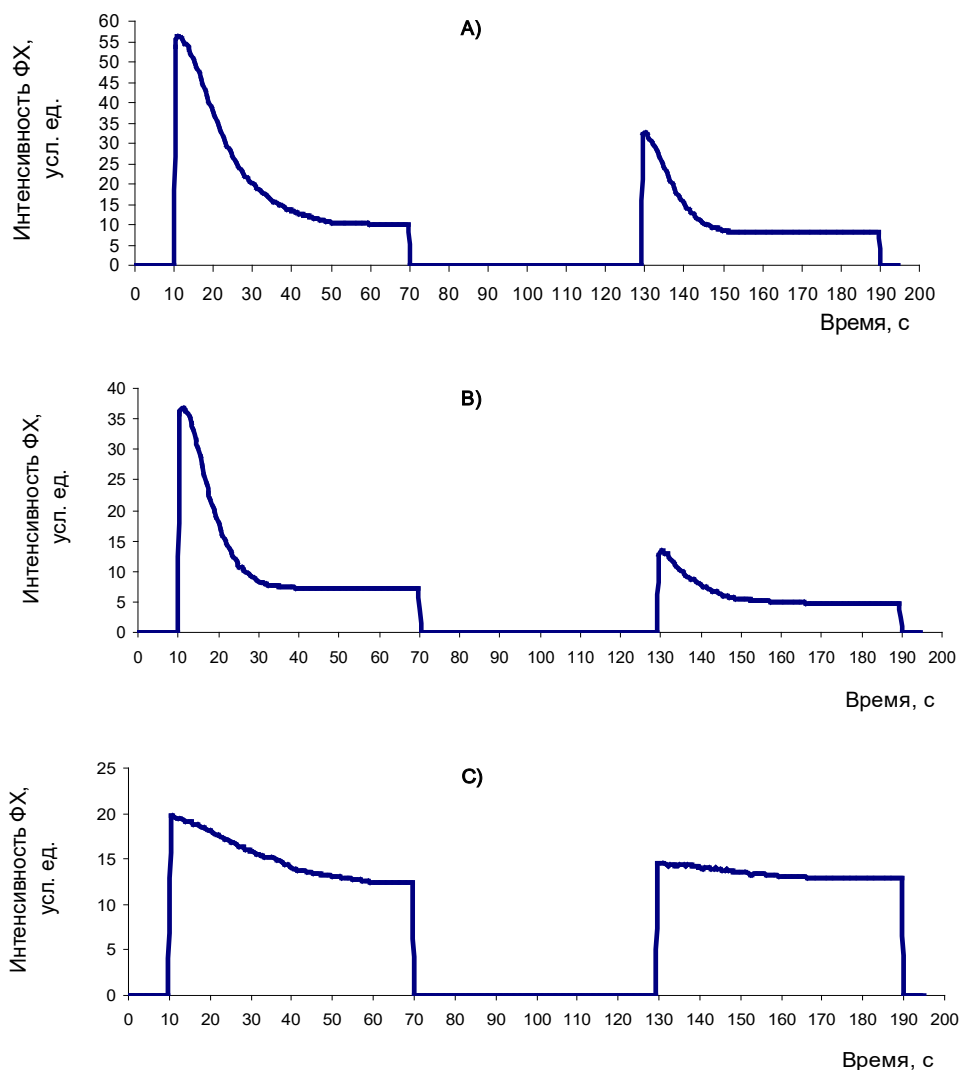


Рис. 2. Типовые кривые МИФ в процессе циклических измерений на примере листьев смородины черной после 15 мин тепловой обработки: А) +20 °С; В) +40 °С; С) +54 °С

## Выводы

Таким образом, предлагаемый метод позволяет в рамках единой оптической схемы регистрации параметров МИФ, за один цикл измерений в течение нескольких минут количественно оценивать функциональное состояние растений по критериям, отражающим уровень фотосинтетической активности и устойчивость к фотоингибированию. На аналогичные оценки с помощью типовых методик и оборудования затрачивается несколько часов. Отличительной особенностью метода является высокая чувствительность диагностики на самых ранних этапах повреждения фотосистемы-2. Возможные аспекты практического применения - отбор устойчивых к фотоповреждению сортов, что особенно актуально для растений второго яруса (смородина и другие ягодные культуры), экспресс-оценка смещения уровня окислительно-восстановительного баланса фотосинтезирующих тканей, сравнительная оценка адаптационных и репарационных способностей ФСА к действию повреждающих факторов.

**Список литературы / References**

1. Hart J.W. Light and plant grow. London: Unvin Hyman Ltd, 1988. 205 с.
2. Лепедуш Х., Вильевач М., Цезар В., Любешич Н. Оценка функционального состояния фотосинтетического аппарата у хвои ели с признаками хлороза на слабом и сильном свете по изменению флуоресценции хлорофилла *in vivo* // Физиология растений. 2005. Т.52, № 2. С. 191-197.
3. Мерзляк, М.Н. Гительсон А.А., Чивкунова О.Б., Соловченко А.Е., Погосян С.И. Использование спектроскопии отражения в анализе пигментов высших растений // Физиология растений. 2003. Т. 50, № 5. С. 785 – 792.
4. Murata N., Takahashi S., Nishiyama Y., Allakhverdiev S.I. Photoinhibition of photosystem II under environmental stress // Biochem. Biophys. Acta. 2007. V.1767. P.414-421. DOI: 10.1016/j.bbabi.2006.11.019
5. Стриж И. Г., Неверов К. В. Фотоингибирование фотосистемы II *in vitro*. Спектральный и кинетический анализ // Физиология растений. 2007. Т. 54. №. 4. С. 499-510 DOI: 10.1134/S1021443707040024.
6. Будаговская О.Н., Будаговский А.В., Будаговский И.А., Гончаров С.А. Портативный лазерный прибор для оценки устойчивости растений к фотоингибированию и фотодеструкции // Приборы и техника эксперимента. 2011. №1. С. 163-164.

**A NEW METHOD FOR DETERMINING THE RESISTANCE OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF PLANTS TO PHOTOINHIBITION**

O. N. BUDAGOVSKAYA<sup>1,2</sup>, A. V. BUDAGOVSKY<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> I. V. Michurin Federal Research Center, Russia, [info@fnc-mich.ru](mailto:info@fnc-mich.ru);

<sup>2</sup> Michurinsk State Agrarian University, Russia, [Budagovsky@mail.ru](mailto:Budagovsky@mail.ru)

**Abstract.** An express method for determining the resistance of plants to light damage, which does not require specialized equipment, has been developed. It is based on the use of the technique and technology of recording the parameters of slow induction of chlorophyll fluorescence, while the measurements are carried out twice in the same area of the sheet with a fixed dark pause between them. In this case, the light flux that excites the fluorescence is also used as a photoinhibiting factor. According to the results of three-factor and two-factor experiments, the power density, the duration of light cycles and the dark pause were optimized, allowing for 2-3 minutes to judge the stability of the FSA of plants to excess light.

**Keywords.** Chlorophyll fluorescence, photoinhibition, diagnostics, plants.

## ВЛИЯНИЕ КОГЕРЕНТНОСТИ СВЕТА НА ФОТОРЕГУЛЯТОРНЫЕ ПРОЦЕССЫ КЛЕТОК БАКТЕРИЙ

А.В. БУДАГОВСКИЙ<sup>1,2</sup>, О.Н. БУДАГОВСКАЯ<sup>1,2</sup>, М.В. МАСЛОВА<sup>1</sup>, Е.В. ГРОШЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», г. Мичуринск, Россия

<sup>2</sup> ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина», г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** Рассмотрено влияние когерентности света на фоторегуляторные процессы в клетках. Проанализированы методические ошибки, приведшие к отрицанию такой возможности. Показана необходимость количественной оценки статистических свойств излучения в фотобиологических экспериментах. На бактерии *Pseudomonas fluorescens* Migula экспериментально установлено, что прямая и обратная фотоконверсии фитохрома более активно проходят, когда объём когерентности поля световой волны превышает размер облучаемых клеток.

**Ключевые слова.** Фоторегуляторные процессы, пространственная и временная когерентность света, бактерия *Pseudomonas fluorescens*, фитохром В, фотоконверсия, фотоиндуцированный эффект.

### Введение

В конце шестидесятых годов прошлого века было показано, что кратковременное воздействие низкоинтенсивного лазерного излучения способно существенно повысить функциональную активность различных организмов: от бактерии до человека. Обнаруженный эффект нашёл практическое применение в биотехнологии, медицине и сельском хозяйстве, но его механизм так и не получил должного научного объяснения. Наиболее дискуссионным оказался вопрос о влиянии когерентности света на фоторегуляторные процессы в клетках. Чтобы доказать нереальность этого приводят три основных аргумента:

1. В природе нет естественных источников когерентного излучения.
2. В живых организмах отсутствуют процессы, нуждающиеся именно в когерентном свете.
3. Когерентное и некогерентное излучение даёт сопоставимый фотостимуляционный эффект.

Несмотря на свою популярность подобные утверждения ошибочны. Способность биологических систем генерировать когерентные фотоны была теоретически обоснована и экспериментально показана F.A. Popp, K. Li, R. P. Vajrai (Popp, 1984; Popp, 1988; Popp, 1993; Vajrai, 2003). Такие потоки света имеют очень низкую интенсивность – единицы, десятки квантов в секунду с поверхности клетки, но в силу своей когерентности могут быть различимы на фоне более мощной стохастической помехи, которой является естественный свет. Это свойство используется живыми организмами для осуществления регуляторных функций, в частности, нехимической межклеточной коммуникации (Budagovskii, 2001; Cifra, 2010; Majumdar, 2017). Современные исследования позволили установить, что квантовая когерентность проявляется в различных биологических процессах: фотосинтезе, проницаемости биомембран, миграции экситонов в реакционных центрах и др. (Panitchayangkoon, 2010; Scholes, 2017; Vaziri, 2010; Lloyd, 2011), то есть имеет широкое распространение в живой природе.

Под руководством Т.Й. Кару (лаборатории лазерной биомедицины ИПЛИТ РАН) была проведена серия экспериментов, в которых сравнивали действие лазерных и тепловых источников света. В первом случае излучение называли когерентным, а во втором – некогерентным. При одинаковых энергетических параметрах был получен сопоставимый фотостимуляционный эффект, из чего сделан вывод о несущественности статистических свойств света для фоторегуляторных процессов (Кару, 1982; Лобко, 1985). Такие аргументы высказывают весьма часто, например, (Гамалея, 1988; Клебанов, 2006; Smith, 2005), но это не делает их достоверными т.к. они базируются на серьёзных методических ошибках. Что бы сделать параметры излучения как можно более близкими, из широкого спектра теплового источника вырезали узкую линию с максимумом на длине волны генерации лазера. Для этого использовали различные



монохроматоры со своими линейными апертурами. В результате полученный световой пучок приобретал сравнительно высокую пространственно-временную когерентность, которой, судя по результатам, было достаточно для развития такого же фотостимуляционного эффекта, что и в случае лазеров.

В фотобиологических исследованиях необходимо отказаться от качественного, умозрительного описания статистических свойств применяемого излучения: «когерентное» - «некогерентное», а давать им корректную количественную оценку. Тем более что некогерентного излучения в природе не существует (Гудмен, 1988). С учётом этого нами были проведены эксперименты на представителях трёх царств живой природы: бактериях, грибах и растениях. Во всех случаях выполнялась одна и та же закономерность: наибольший фотоиндуцированный эффект наблюдали при выполнении условия  $L_{coh} \cdot r_{cor} > D$ , где  $L_{coh}$  - длина когерентности,  $r_{cor}$  - радиус корреляции,  $D$  - эффективный размер клеток, то есть, когда клетка полностью помещалась в объёме когерентности поля световой волны (Budagovsky, 1985). Данное соотношение остаётся справедливым как в случае изменения временной (Будаговский, 2015), так и пространственной когерентности (Budagovsky, 2016). Последнее особенно важно, т.к. перестройка пространственной когерентности не влияет на ширину спектральной линии квазимонохроматического пучка. На растительных организмах было установлено, что статистические свойства излучения влияют напрямую (Будаговский, 2015; Budagovsky, 2021) и обратную (Budagovsky, 2021) фотоконверсии фитохрома В (phyB). Целью данной работы являлось установление влияния когерентности света красной и дальней красной областей спектра на фотоиндуцированную реакцию бактериальных клеток.

### **Объекты и методы исследования**

Биологической моделью служила бактерия *Pseudomonas fluorescens* Migula, клетки которой имеют форму палочек длиной 2-4 мкм. Для культивирования использовали картофельно-глюкозную жидкую питательную среду. В неё высевали суспензию бактериальных клеток. Биологический материал разливали по стерильным стеклянным флаконам объёмом 30 мл. После 30 минутной темновой выдержки часть флаконов через боковую поверхность обрабатывали на вращающемся столике в течение 60 с квазимонохроматическим светом. Необлученные (контрольные) образцы выставляли на естественный свет (400 лк).

Источником излучения служила высокотемпературная лампа накаливания, снабжённая тепловым фильтром, сменными интерференционными фильтрами и перестраиваемой апертурной диафрагмой. Для прямой фотоконверсии использовали фильтры с максимумом пропускания  $\lambda_{max} = 633$  нм (красный диапазон), с шириной спектральных линий  $\Delta\lambda = 3$  нм и  $\Delta\lambda = 66$  нм. В экспериментах с обратной фотоконверсией применяли фильтры с  $\lambda_{max} = 730$  нм (дальний красный диапазон),  $\Delta\lambda = 5$  нм и  $\Delta\lambda = 52$  нм. Спектральные измерения проводили на спектрофотометре Analytik Jena Specord 250 Plus (Германия) и спектрометре ASP-150T (Россия) с точностью 0,5 нм и по ним рассчитывали длину когерентности квазимонохроматических пучков по формуле  $L_{coh} = \lambda_{max}^2 / \Delta\lambda$ . Применённые светофильтры позволили получить длину когерентности 134 и 6 мкм в красном диапазоне и 107 и 10 мкм в дальнем красном диапазоне. За светофильтрами в центре пучка устанавливали круглую апертурную диафрагму, определяющую угловые размеры теплового источника света. Такая оптическая схема формировала квазимонохроматическую пространственно-ограниченную волну со сравнительно равномерным распределением интенсивности по фронту. В этом случае модуль нормированной поперечной корреляционной функции поля между двумя точками  $r_1, r_2$  можно представить как:  $\gamma(s) = 2 |J_1(kas/z) / (kas/z)|$ , где  $J_1(kas/z)$  - функция Бесселя,  $k = 2\pi/\lambda$  - волновое число,  $2a$  – апертура

источника,  $s = |r_1 - r_2|$ ,  $z$  - удаление от источника излучения до объекта. Радиус корреляции определяли на уровне  $\gamma(s) = 0,88$ , который соответствует аргументу функции Бесселя  $kas/z = 1$ . Тогда  $r_{cor} = 0,16\lambda z/a$  и он будет охватывать область с высокой корреляцией фотонов  $0,88 < \gamma(s) < 1$ . В красном диапазоне были получены радиусы корреляции поля 3,9 и 1,3 мкм, а дальний красный 4,8 и 1,6 мкм.

Применение частотных и пространственных фильтров позволило получить от теплового источника квазимонохроматические пучки света со сравнительно высокой (ВК) или низкой (НК) когерентностью, при этом в случае НК радиус корреляции для красного и дальнего красного световых потоков был меньше размера клетки. Спектральные диапазоны пучков соответствовали областям возбуждения прямой или обратной фотоконверсии рhуВ.

Интенсивность излучения регистрировали измерителем лазерного излучения VEGA ("Ophir", Израиль) и калориметрического измерителя ИМО-2Н («Эталон», Россия). Во всех экспериментах её устанавливали на уровне 2 Вт/м<sup>2</sup> с ошибкой не более 4 %. После облучения, в течение 24 часов бактерии культивировали в шейкере-инкубаторе при температуре 35°C и 140 оборотов в минуту. Подсчет клеток проводили путем микроскопирования при увеличении  $\times 640$ . Их количество определяли в поле зрения микроскопа площадью 0,06 мм<sup>2</sup>. В каждом варианте опыта проведено не менее 54 измерений. На графике и гистограммах указаны средние значения и ошибки среднего.

### Результаты и обсуждение

Клетки *P. fluorescens* независимо облучали красным или дальним красным светом. Реакция бактерий на квазимонохроматический свет с высокой или низкой когерентностью достоверно ( $\alpha < 0,001$ ) различалась. Кратковременное (60 с) воздействие красного высоко когерентного света в 2 раза увеличило количество клеток в сравнении с вариантом без облучения. Это может говорить о значительном повышении концентрации активной формы фитохрома Pfr. В варианте с низкой когерентностью количество клеток возросло только на 18 % (рис.), т.е. конформационная перестройка рhуВ проходила медленнее и стимуляционный эффект был существенно ниже. Аналогичный результат получен и в дальнем красном диапазоне. При высокой корреляции фотонов обратная фотоконверсия фитохрома Pfr→Pr более выражена, чем при низкой. В целом для красного и дальнего красного света фотоиндуцированный эффект наиболее заметен в вариантах опыта ВК, отвечающих условию  $L_{coh} U r_{cor} > D$ .

### Выводы

Когерентность излучения влияет на прямую и обратную фотоконверсии рhу В клеток бактерии *P. fluorescens*. Этот результат согласуется с полученными ранее данными по влиянию статистических свойств излучения на фотоиндуцированную реакцию растений (Будаговский, 2015; Budagovsky, 2016; Budagovsky, 2021), что свидетельствует о биологической общности наблюдаемого явления. Изменяя объём когерентности поля в определённых спектральных диапазонах, можно управлять функциональной активностью клеток. Обнаруженный эффект заставляет шире рассматривать фотофизическую фазу фоторегуляторных процессов, не ограничиваясь поглощением фотонов хромофорными центрами белков.

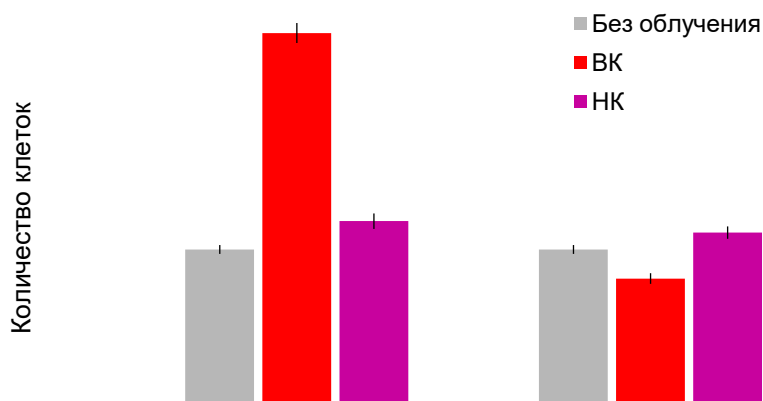


Рис. Влияние когерентности света на прямую и обратную фотоконверсию фитохрома В у бактерии *P. fluorescens*. Длительность облучения 60 с.  
BK – высокая когерентность, НК – низкая когерентность

#### Список литературы / References

- Будаговский А. В., Соловых Н. В., Будаговская О. Н., Будаговский И. А. Реакция клеток на воздействие квазимонохроматического света различной когерентности // Квантовая электроника. 2015. Т. 45. №. 4. С. 351-357.
- Гамалея Н.Ф., Шишко Е.Д., Яниш Ю.В. Чувствительность неритинальных клеток животных и человека к видимому свету // Молекулярные механизмы биологического действия оптического излучения. М.: Наука, 1988. С. 189-198.
- Гудмен Дж. Статистическая оптика. М.: Мир, 1988. 528 с.
- Кару Т. Й., Календо Г. С., Летохов В. С., Лобко В. В. Зависимость биологического действия низкоинтенсивного видимого света на клетки HeLa от когерентности, дозы, длины волны и режима облучения // Квантовая электроника. 1982. Т. 9. С. 1761-1767.
- Клебанов Г.И., Шураева Н.Ю., Чичук Т.В., Осипов А.Н., Владимиров Ю.А. Сравнительное исследование влияния излучения лазера и светодиодов на перекисное окисление липидов раневого экссудата крыс // Биофизика. 2006. Т. 51. №. 2. С. 332-339.
- Лобко В.В. Кару Т.Й., Летохов В.С. Биофизика. 1985. Вып. 2. С. 366.
- Vajpai R. P. Quantum coherence of biophotons and living systems // Indian journal of experimental biology. 2003. Vol. 41. P. 514–27. DOI: <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/17068>
- Budagovskii A.V., Turovtseva N.M., Budagovskii I.A. Coherent electromagnetic fields in the remote intercellular interaction // Biofizika. 2001. Vol. 46. N 5. P. 894-900.
- Budagovsky A.V. Principles of action of coherent electromagnetic fields upon living organisms // Biophotonics. M.: Bioinform Services Co. 1995. P. 233-255.
- Budagovsky A. V., Solovykh N. V., Budagovskaya O. N., & Budagovsky I. A. Influence of far-red light coherence on the functional state of plants // Physical Review E. 2021. Vol.103. N.1. P.012411. DOI: 10.1103/PHYSREVE.103.012411
- Cifra Michal, Fields Jeremy Z., Farhadi Ashkan. Electromagnetic cellular interactions, Progress in Biophysics and Molecular Biology. 2010. DOI: 10.1016/j.pbiomolbio.2010.07.003
- Budagovsky A. V., Solovykh N. V., Yankovskaya M. B. et al. Effect of spatial coherence of light on the photoregulation processes in cells // Physical Review E. 2016. Vol. 94, 012411. P. 1-5. DOI: 10.1103/PHYSREVE.94.012411

- Lloyd S. Quantum coherence in biological systems // *Journal of Physics: Conference Series*. 2011. Vol. 302. P. 012037. DOI: 10.1088/1742-6596/302/1/012037
- Majumdar, S., Pal, S. Bacterial intelligence: imitation games, time-sharing, and long-range quantum coherence // *Cell Commun. Signal*. 2017. Vol. 11. P. 281–284. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12079-017-0394-6>
- Panitchayangkoon, G., Hayes, D., Fransted, K. A., Caram, J. R., Harel, E., Wen, J., & Engel, G. S. Long-lived quantum coherence in photosynthetic complexes at physiological temperature // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2010. Vol. 107. N. 29. P. 12766-12770.
- Popp, F., Li, K. Hyperbolic relaxation as a sufficient condition of a fully coherent ergodic field. *Int J // Theor Phys*. 1993. Vol.32. P. 1573–1583. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00672857>
- Popp, F.-., Li, K.H., Mei, W.P. et al. Physical aspects of biophotons // *Experientia*. 1988. Vol. 44. P. 576–585. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01953305>
- Popp, F.A., Nagl, W., Li, K.H. et al. Biophoton emission // *Cell Biophysics* 1984. Vol. 6. P. 33–52. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02788579>
- Scholes, G., Fleming, G., Chen, L. et al. Using coherence to enhance function in chemical and biophysical systems // *Nature*. 2017. Vol. 543. P. 647–656. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature21425>
- Smith, K.C. Laser (and LED) Therapy is Phototherapy // *Photomedicine and Laser Therapy*. 2005. Vol. 23. P. 78–80. DOI: <https://doi.org/10.1089/pho.2005.23.78>
- Vaziri Alipasha, B Plenio Martin. Quantum coherence in ion channels: resonances, transport and verification // *New J. Phys*. 2010. Vol.12 085001. DOI: 10.1088/1367-2630/12/8/085001

#### EFFECTS OF LIGHT COHERENCE ON PHOTOREGULATORY PROCESSES OF BACTERIA CELLS

A.V. BUDAGOVSKIY<sup>1,2</sup>, O.N. BUDAGOVSKAYA<sup>1,2</sup>, M.V. MASLOVA<sup>1</sup>, E.V. GROSHEVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Michurinsk State Agrarian University, Russia, Budagovsky@mail.ru*

<sup>2</sup> *I. V. Michurin Federal Research Center, Russia, info@fnc-mich.ru*

**Abstract.** The influence of light coherence on photoregulatory processes in cells is considered. Methodological errors that led to the denial of such a possibility are analyzed. The need for a quantitative assessment of the statistical properties of radiation in photobiological experiments is shown. It has been experimentally established in the bacterium *Pseudomonas fluorescens* that the forward and reverse photoconversions of phytochrome are more active when the volume of coherence of the light wave field exceeds the size of the irradiated cells.

**Keywords.** Photoregulatory processes, spatial and temporal coherence of light, bacterium *Pseudomonas fluorescens*, phytochrome B, photoconversion, photoinduced effect.

## ЗИМОСТОЙКОСТЬ ГИБРИДОВ F<sub>1</sub> ЛАВАНДЫ УЗКОЛИСТНОЙ

В.И. БУТНАРАШ, М.М. ГОНЧАРЮК, Л.А. КОТЕЛЯ, З.К. БАЛМУШ, Н.В. ИРЕКЕАНУ

Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений,  
Республика Молдова, Кишинев [butnarasvioleta@rambler.ru](mailto:butnarasvioleta@rambler.ru)

**Аннотация.** Были изучены 304 гибридов F<sub>1</sub> *Lavandula angustifolia* Mill. Материнскими формами послужили 5 генотипов: французского (Fr.5, Fr.8), украинского (Cr.26, Cr.13) и молдавского происхождения (VM-10). Целью данных исследований, было определить зимостойкость и отобрать гибриды лаванды устойчивые к низким зимним температурам. Выделились 150 гибридов *Lavandula angustifolia* Mill. с высокой зимостойкостью (5 баллов) и 63 гибридов, которые относятся к группе вышесредней зимостойкостью (4,0 - 4,5 баллов). Наиболее зимостойкими являются гибриды, принадлежащие к материнской форме Fr.8.

**Ключевые слова.** *Lavandula angustifolia* Mill., гибрид F<sub>1</sub>, материнские формы, зимостойкость.

### Введение

В Республике Молдова культивируется лаванда узколистная – *L. angustifolia* Mill. Лаванда узколистная в нашей стране может выдерживать низкие температуры от - 15°C до - 30°C при снежном покрове 40-50 см. Молодые сеянцы лаванды с 4-5 парами листочков переносят заморозки до 5-7°C (Gonseariuc, 2008, Буюкли, 1969, Гавришин, Мустяцэ, Оренштейн 1985, Мустяцэ, 1988).

В настоящее время в Республике Молдова площади под плантации лаванды составляют около 1000 га. Для дальнейшего успешного увеличения лавандовых плантаций с возрастающим потребностью в лавандовом сырье, можно удовлетворить, выведением новых продуктивных сортов и гибридов, генетически устойчивых к местным климатическим условиям. Лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.) является наиболее «чувствительной» культурой к изменению климатических параметров. Отрицательное влияние на эту культуру имеют низкие зимние температуры. Именно это обстоятельство объясняет наличие существенных колебаний на урожай соцветий и выход эфирного масла лаванды. Известно, что именно в соцветиях идет накопление и синтез эфирного масла лаванды (Ботноренко, Бутнараш, Котеля, 2008, Богданова, 2009, Машанова, 1978).

Цель данных исследований было определить зимостойкость у гибридов, и отобрать гибриды F<sub>1</sub> устойчивые к низким зимним температурам и сравнить с материнскими формами.

### Объекты и методы исследования

Биологическим материалом послужили 304 гибридов F<sub>1</sub> *L. angustifolia*. Материнскими формами для изученных гибридов послужили французские генотипы (Fr.-1, Fr.5, Fr.8), украинские сорта Крымчанка (Cr.-13, Cr.-26) и молдавский сорт Vis Magic-10 (VM-10). Эксперименты проводились на опытном поле Института Генетики, Физиологии и Защиты Растений. Каждому гибриду был присвоен порядковый номер. Исследования начали проводить на второй год вегетации после пересадки, когда молодые растения сформировали кусты и различия между гибридами по количественным и морфологическим признакам стали более заметными (Романенко, 1977)

Для определения зимостойкости проводили подсчет вымерзших скелетных ветвей и побегов на кусте (Методика, 1972; Методические указания, 1982; Романенко, 1977).

Учет растений проводили по пятибалльной шкале, в баллах по следующей измерения:

5 балла — зимостойкость высокая, подмерзание скелетных веток и побегов нет. Растение хорошо развито.

4 балла — зимостойкость выше средней, подмерзли только верхушки побегов и единичные скелетные ветви. Нормальное развитие растения.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

3 балла — зимостойкость средняя, вымерзло до 25% скелетных ветвей и побегов от общего их количества на растение. Растение развито удолитворительно.

2 балла — зимостойкость нижесредней, вымерзло до 50% ветвей и побегов. Растение ослаблено. Отрастание и появление цветоносов не выровнено.

1 балл — зимостойкость низкая, вымерзло до 75% ветвей и побегов. Растение развевается очень медленно или в течение вегетационного периода погибает.

### Результаты и обсуждение

Ежегодно, во время исследований в фазе появления цветоносов определяли зимостойкость гибридов. У гибридов лаванды в 2020 году высокая зимостойкость (5 баллов) была определена у 150 гибридов F<sub>1</sub> (Табл. 1.). Шестьдесят три гибридов F<sub>1</sub> представляют группу с вышесредней зимостойкостью (4,0-4,5 баллов). Средняя зимостойкостью от 3,0 до 3,5 баллов была установлена у 48 гибридов F<sub>1</sub> и нижесредней группы (2 балла) - 12 гибридов лаванды.

Определив зимостойкость у гибридов F<sub>1</sub>, было установлено, что количество гибридов и степень зимостойкости зависит от материнской формы (Табл. 1).

Таблица 1. Зимостойкость гибридов F<sub>1</sub> в соотношении к материнским формам (2020).

Материнские формы	Количество гибридов, зимостойкость			
	высокая 5 балла	вышесредняя 4 балла	средняя 3 балла	нижесредняя 2 балла
Fr.1	25	9	8	2
Fr.8	77	39	11	4
Fr.5	4	3	6	2
Cr.26	2	-	1	1
Cr.13	57	27	15	2
VM-10	10	6	1	1

Из данной таблицы видно, что наиболее зимостойкими гибридами являются гибриды, принадлежащие к материнской форме Fr.8. Так к данной материнской форме принадлежит наибольшее количество гибридов (131) с высокой зимостойкостью — 77 гибридов, с вышесредней зимостойкостью 39 гибрида и 11 гибридов со средней зимостойкостью, у 4-х растений ослаблены, отрастание и появление цветоносов не выровнено и относится к группе нижесредней.

У 101 гибридов, относящихся к материнским формам Cr.13 высокая зимостойкость выявлена у 57 гибридов подмерзание скелетных веток и побегов нет. Растения хорошо развиты. Большая часть гибридов, принадлежащих к материнским формам Fr.1, Fr.8, Cr.13 и VM-10 имеют зимостойкость вышесреднюю (5 баллов) и среднюю (4 баллов).

Помимо зимостойкости гибридов F<sub>1</sub>, была определена и зимостойкость у материнских форм (Рис. 1.). Высокую зимостойкость в 5 баллов показала материнская форма Fr.8 и Cr.13. У материнских форм Fr.1 и Fr.5, была установлена вышесредняя зимостойкость в 4 балла. Со средней зимостойкостью (3 балла) было определено материнские формы Cr.26 и VM-10.



Рис. 1. Зимостойкость материнских форм

Сравнивая гибриды с материнскими формами, был сделан вывод, что материнские формы влияют на зимостойкость гибридов. Поэтому количество гибридов с различной степенью зимостойкости неодинаково. Наибольшее количество гибридов с высокой и вышесредней зимостойкостью было определено у материнской формы Fr.8 (116 гибридов) и Cr.13 (84 гибридов). Материнские формы Cr.13 (17 гибридов), Fr.8 (15 гибридов) и Fr.1 (10 гибридов) имеют наименьшее количество гибридов со средней и низесредней зимостойкостью.

Среди изученных генотипов лаванды было выявлено только 12 гибридов с зимостойкостью низесредней, где вымерзло до 50% ветвей и побегов. Растение лаванды были ослаблены, отрастание цветоносов не выровнено.

### Выводы

1. Выделились 150 гибридов с высокой зимостойкостью (5 баллов) и 63 гибридов, которые представляют группу выше средней зимостойкостью (4,0-4,5 баллов).
2. Наиболее зимостойкими являются гибриды, принадлежащие к материнской форме Fr.8.
3. Высокая зимостойкость среди материнских (5 баллов) была установлена у формы Fr.8 и Cr.13. Материнские формы Fr.1 и VM-10 имеют зимостойкость вышесреднюю в 4 балла.

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы **20.80009.5107.07** «Снижение последствий изменения климата путем создания, внедрения сортов лекарственных и ароматических растений, устойчивых к засухе, морозам, болезням и обеспечивающие устойчивое развитие сельского хозяйства, гарантируя высококачественное сырьё, предназначенного для парфюмерной, косметической, фармацевтикой и пищевой промышленности», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.

---

### Список литературы / References

- Ботноренко П., Бутнараш В., Котеля Л., Машковцева С., Тимчук С. Селекция лаванды на эфиромасличность. В: Интродукция нетрадиционных и редких растений. VII-я международная научно-практическая конференция. Мичуринск. Изд-во. Научоград. Р.Ф. 2008. с. 187-189.
- Богданова Л. Качественно новые сорта эфирносов. В: Агромир: проблемы и решения. Информационное издание. 2009. №50 (412) с.6.
- Буюкли М. Лаванда и ее культура в СССР. Картя Молдовеняска. Кишинев. 1969. 326 с.
- Гавришин Ю. А., Мустяцэ Г. И., Оренштейн З.А. Технология закладки плантаций лаванды семенами. В: Масличные культуры, 1985, № 2, с. 258-259.
- Маскунова В. А., Романенко Л. Г. Изучение зимостойкости клонов лаванды в предгорной зоне Северного Кавказа. В: Труды ВНИИЭМКА, 1978, с. 22-27.
- Машанова Н. С. Некоторые итоги и проблемы интродукции и селекции эфиромасличных культур. В: Интродукция и селекция эфиромасличных культур. Ялта, 1978, с. 5-28.
- Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М.: ГСБ АН СССР, 1972. 135 с.
- Методические указания по оценке погодных и климатических условий применительно к возделыванию эфиромасличных культур. М., 1982. 64 с.
- Романенко Л. Г. Лаванда. Селекция эфиромасличных культур: метод. указ. Симферополь: ВНИИЭМК, 1977. 64 с.
- Мустяцэ Г. И. Возделывание ароматических растений. Кишинев: Штиинца, 1988. С. 5-21.
- Gonceariuc M. Lavanda. În: Plante medicinale și aromatice cultivate. Ch., Ed. UASM, 2008, p. 99-120.

### WINTER RESISTANCE OF HYBRIDS F<sub>1</sub> THE LAVANDULA ANGUSTIFOLIA MILL

V. BUTNARAS, M. GONCEARIUC, L. COTELEA, Z. BALMUS, N. URECHEANU

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection*

**Abstract.** A number of 304 F<sub>1</sub> hybrids of *Lavandula angustifolia* Mill. were studied 5 genotypes of different origins served as maternal forms: french (Fr. 5, Fr. 8), ukrainian (Cr.26, Cr.13) and moldovan origin (VM-10). The aim of the research was to determine winter hardiness and select the most resistant lavender hybrids to low temperatures. 150 hybrids of *Lavandula angustifolia* Mill were highlighted with a high winter hardiness (5 points) and 63 hybrids belonging to the group with an above average resistance (4.0-4.5 points). It has been demonstrated that the most resistant to wintering conditions are hybrids that come from the maternal form Fr.8.

**Keywords.** *Lavandula angustifolia* Mill, hybrids, maternal forms, winter resistance.



**ОЦЕНКА САМООПЫЛЕННЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ ПО ТОЛЕРАНТНОСТИ К ЗАСУХЕ**

Е.Н. БЫЛИЧ

*Институт генетики физиологии и защиты растений (ИГФЗР); Кишинев, Молдова, bylici.alena@mail.ru*

**Аннотация.** В работе представлены результаты оценки пяти среднепоздних и четырех поздних инбредных линий кукурузы по толерантности к засухе. Образцы коллекции тестировали в поле в естественных условиях. Критерием устойчивости служили генотипические различия образцов по таким параметрам как высота растений, количество листьев и продуктивных початков, вес початка, урожай зерна с м<sup>2</sup> делянки. В группе среднепоздних линий количество продуктивных растений составляло в среднем 50%. Отмечена положительная корреляция этого показателя с весом початков и урожаем зерна, отрицательная с высотой растений. В группе поздних линий количество продуктивных растений составляло в среднем 43%. Выявлена положительная корреляция этого показателя с массой початков и зерна, а также высотой растений. В результате сравнительного анализа параметров урожайности после воздействия засухи выделено три линии кукурузы, которые пополнят специализированную коллекцию.

**Ключевые слова.** Инбредные линии, засухоустойчивость, корреляция.

**Введение**

Одним из основных путей внедрения достижений генетики в селекцию является выявление наследования количественных полигенных признаков, в первую очередь признаков продуктивности. Изучение взаимодействий между количественными признаками играет большую роль в селекционной работе, так как эти связи (корреляции) могут быть использованы при отборе желаемых генотипов. Взаимосвязь признаков - необходимое условие существования любого организма. Система генетического контроля количественных признаков у кукурузы имеет сложную наследственную основу, поэтому при подборе исходного материала для создания самоопыленных линий и гибридов кукурузы очень важно учитывать взаимосвязи основных параметров растений [4, 5].

Основной задачей исследований было проведение биометрического анализа основных количественных признаков инбредных линий кукурузы, а также оценка адаптивных реакций генотипов в климатических условиях 2020 года. Проводили комплексное изучение образцов коллекции по основным количественным признакам элементов структуры урожая с определением корреляционных связей. В результате оценки устойчивые генотипы пополнят специализированную коллекцию кукурузы.

**Объекты и методы исследования**

Материалом для исследования служили пять среднепоздних самоопыленных линий кукурузы (МАН2462, МАН2460, МАН2457, МАН2453, МАН2446) и четыре поздние линии (МАН2455, МАН125, МАН2458, МАН2426), входящие в состав коллекции лаборатории Генетических ресурсов растений ИГФЗР.

Высеянные линии изучали в поле, без полива, в климатических условиях 2020 года. Использовали традиционную для данной культуры схему посева и агротехнику. Морфологические и биологические параметры характеризовали согласно классификатору для данной культуры [1]. Биометрические измерения включали в себя определение высоты растений и высоты прикрепления початка, количества листьев, числа продуктивных початков, веса початка, урожая зерна в пересчете на м<sup>2</sup> площади. Учеты и наблюдения проводились согласно методике полевых опытов с кукурузой [3].

Полевая оценка образцов коллекции по засухоустойчивости была проведена в условиях, повышенного температурного режима и значительного дефицита влаги, отмечавшиеся на

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

территории Молдовы в период июль–август 2020 года. Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), характеризующий степень увлажнения территории, в среднем по республике в июле составил 0,5, в августе - 0,2, что соответствует сильной и очень сильной засухе. По состоянию на 28 июля запасы продуктивной влаги под кукурузой в метровом слое почвы были низкими и составляли в основном 10-65 мм (15-60% нормы) [6].

Полевые исследования проводились согласно рекомендациям [2], для обработки данных использовали компьютерные пакеты программ Microsoft Office и др.

### Результаты и обсуждение

По результатам многолетнего тестирования образцов кукурузы в экологических экспериментах на устойчивость к биотическим и абиотическим факторам, формируются специализированные коллекции. Особенностью воздействия лимитирующего фактора в учетный год являлось отсутствие запаса весенней влаги и наступления жары и засухи в период прохождения растениями генеративной фазы. Эти условия в большей степени повлияли на формирование початков и зерен, и в меньшей на накопление вегетативной массы растений.

Необходимо отметить, что высота растений варьировала у среднепоздних линий от 126 см (МАН 2457) до 163 см (МАН2455, МАН2458) со средним показателем - 148 см (таблица 1). Высота прикрепления продуктивного початка положительно коррелировала с высотой растений при значении  $r=0,66$ . Количество листьев на растение варьировало в пределах 9-11 при среднем значении 10,2 для пяти линий. Была выявлена сопряженность этого признака с высотой растений при значении коэффициента  $r=0,56$ .

Таблица 1. Биометрические показатели среднепоздних линий кукурузы.

Линия	Период вегет., дни	Высота растений, см.	Высота прикрепления початка, см.	Кол-во листьев/растение, шт.	Кол-во початков / растение, шт.	Вес початка, г.	Масса зерна/м <sup>2</sup> , г.
МАН2462	110	137,6±1,3	37,3±0,9*	9,3±0,1	0,2±0,1	3,0±1,3*	12,1
МАН2460	110	157,5±1,2	51,2±0,8	10,2±0,2	0,25±0,1*	6,1±1,3*	24,5
МАН2457	105	126,8±1,2*	51,1±1,8	10,2±0,3	0,8±0,1*	55,3±1,8*	220,1
МАН2453	110	162,5±0,8*	80,2±1,1	11,3±0,1	0,75±0,1*	73,5±1,9	289,1
МАН2446	105	156,8±0,9	90,1±0,8*	10,1±0,2	0,5±0,1	14,7±1,1	54,2
Ср. зн-е	111,1	148,2	62,0±1,1	10,2±0,2	0,5±0,1	30,5±1,4	120,0

\*Отличия от среднего значения достоверны на 5%

При сборе урожая учитывали количество продуктивных початков на растении. Этот показатель варьировал у среднепоздних линий от 0,2 (МАН2462) до 0,8 (МАН2457) при среднем значении 0,5 (50 % растений формировали продуктивный початок).

Статистический анализ данных по признаку вес початка выявил генотипические различия при очень низком значении среднего по пяти линиям (30,5 г). Не высокий уровень признака от 3,0 г (МАН2462) до 73,5 г (МАН2453) был следствием негативного эффекта засухи. При этом наблюдалась его отрицательная зависимость с высотой растений ( $r= - 0,1$ ) и положительная корреляция с количеством продуктивных початков ( $r=0,92$ ).

Урожай зерна в пересчете на квадратный метр, в среднем по группе составил 120 г. Наименьшими показателями характеризовались линии МАН2462 и МАН2460. Как наиболее продуктивные были выделены линии МАН2457 и МАН2453. Высокий уровень корреляции этого

показателя отмечали с весом початка ( $r=0,92$ ), а также с количеством продуктивных початков ( $r=0,92$ ).

Сравнительный анализ в группе поздних линий показал, что высота растений варьировала от 154 см (МАН2457) до 163 см (МАН2455, МАН2458) со средним значением 148 см (таблица 1). Высота прикрепления продуктивного початка положительно коррелировала с высотой растений при значении  $r=0,66$ . По количеству листьев на растении генотипы различались в пределах 10 - 11 при среднем значении 10,7. Была выявлена сопряженность этого признака с высотой растений при значении коэффициента  $r=0,53$ .

Во время уборки урожая было отмечено наличие продуктивных початков в среднем у 43% растений (таблица 2). Минимальное количество (20%) сформированных початков выявлено у линии МАН2458. Существенно выше среднего значения (70%) этот показатель был зафиксирован для генотипа МАН2455.

Таблица 2. Биометрические показатели поздних линий кукурузы

Линия	Период вегетации, дни	Высота растений, см.	Высота прикрепления початка, см.	Количество листьев/растение, шт.	Количество початков /растение, шт.	Вес початка, г.	Масса зерна/м <sup>2</sup> , г.
МАН2455	115	163,3±0,8	85,2±1,3	10,5±0,1	0,7±0,1*	66,7±2,1*	260,3*
МАН125	115	157,7±2,8	97,1±1,9*	10,5±0,1	0,3±0,1	18,7±1,7	70,4*
МАН2458	115	163,1±0,9	54,2±1,8*	11,2±0,1*	0,2±0,1*	9,6±2,1*	38,3*
МАН2426	115	154,4±1,2	71,3±1,3	10,5±0,1	0,5±0,1	31,0±1,6	121,1
Ср. зн-е	111,1	159,6±1,3	77,0±1,3	10,7±0,1	0,43±0,1	25,5±1,8	122,5

\*Отличия от среднего значения достоверны на 5%

Уровень изменчивости веса початка в группе поздних линий составлял от 9,6 г (МАН 2458) до 66,7 г (МАН2455), при его среднем значении по всем линиям 25,5 г. Отмечали положительную корреляцию этого параметра с количеством продуктивных початков ( $r=0,97$ ).

Урожай зерна с делянки (м<sup>2</sup>) в этой группе составил в среднем 122,5 г. Наименьшими показателями характеризовались линии МАН125 и МАН2458. Как наиболее продуктивный, в условиях дефицита влаги, выделен генотип МАН2455. Отмечали не высокую положительную корреляцию массы семян на м<sup>2</sup> с высотой растений ( $r=0,25$ ) и очень тесную взаимосвязь с количеством и весом початков ( $r=0,97$ ;  $r=0,99$ , соответственно).

## Выводы

Таким образом, в естественных условиях 2020 года была проведена полевая оценка на засухоустойчивость девяти инбредных линий кукурузы. Продолжительная атмосферная и почвенная засуха способствовали выявлению генотипических различий по основным биометрическим показателям растений.

В группе среднепоздних линий количество продуктивных растений в среднем составило 50%. Выявлена положительная корреляция этого показателя с весом початков ( $r=0,92$ ) и отрицательная с высотой растений ( $r=-0,1$ ).

В группе поздних линий количество продуктивных растений в среднем составило 43%. Выявлена положительная корреляция этого показателя с весом початков ( $r=0,97$ ) и высотой растений ( $r=0,25$ ).

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

В результате сравнительного анализа компонент продуктивности после воздействия лимитирующих факторов, были выделены три инбредной линии кукурузы, которые могут служить донорами устойчивости к жаре и засухе.

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.11 «Длительное сохранение генетических ресурсов растений в геномном банке с использованием методов молекулярной биологии в тестировании состояния здоровья растительной зародышевой плазмы», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.

### Список литературы / References

1. Descriptors List species *Zea mays* L. 1986. Praha, 43 p.
2. Доспехов Б.А. 1973. Методика полевого опыта. Москва, 335 с.
3. Методические рекомендации по проведению опытов с кукурузой. // Днепропетровск: ВНИИ кукурузы, 1980, С. 36.
4. Супрунов, А.И. Создание новых линий кукурузы для селекции среднеспелых и среднепоздних гибридов кукурузы / А.И. Супрунов, Н.Ф. Лавренчук, М.В. Чумак // Кукуруза и сорго. – 2005. -№2. – С. 13-14.
5. Kumar, S. Targeting of traits through assessment of interrelationship and path analysis between yield and yield components for Grain Yield Improvement in single cross hybrids of maize / S. Kumar, M.T. Reddy, K.H. Reddy, P. Sudhakar, // International journal of applied biology and pharmaceutical technology, 3 (2), 2011 – P.123-129. 209. Kumari, J.
6. Serviciul Hidrometeorologic de Stat. Caracterizarea condițiilor meteorologice și agrometeorologice din anul 2020. Chișinău, 2020, <http://www.meteo.md/images/uploads/clima/2020>.

### EVALUATION OF SELF-POLLINATED MAIZE LINES FOR DROUGHT TOLERANCE

E.N. BALICI

*Institute of Genetics, Plant Physiology and Plant Protection, Chisinau, Moldova, bylici.alena@mail.ru*

**Abstract.** The paper presents the results of assessing five mid-late and four late inbred lines of maize for drought tolerance. Samples of the collection were tested in the field in vivo. The criterion of resistance was the genotypic differences of the samples in terms of such parameters as plant height, number of leaves and productive ears, ear weight, grain yield per square meter of plot. In the group of mid-late inbred lines, the number of productive plants averaged 50%. There was a positive correlation of this indicator with the weight of the ears, and negative with the height of the plants. In the group of late lines, the number of productive plants averaged 43%. A positive correlation of this indicator with the weight of ears and plant height was revealed. As a result of a comparative analysis of yield parameters after exposure to drought, three lines of maize were identified, which will replenish the specialized collection.

**Keywords.** Inbred lines, drought tolerance, correlation.

## ПЦР-ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБКОВ РОДА *PENICILLIUM* В СЕМЕНАХ ПЕРЦА СЛАДКОГО И БАКЛАЖАНА

А.В. ДЯГИЛЕВА, Л.Г. ТУМАНОВА, В.А. МИТИН

Институт генетики, физиологии и защиты растений, Молдова, Кишинев,  
*angela.deaghileva@igfpp.md*

**Аннотация** В исследовании представлены результаты молекулярной диагностики грибов рода *Penicillium* в семенах нескольких сортов перца сладкого и баклажана местной селекции. Анализ проводился на основе двустадийной ПЦР с использованием праймеров для выявления видов *Penicillium*: *P. chrisogenum*, *P. expansum*, *P. citrinum*, *P. verrucosum*, *P. griseofulvum*, *P. brevicompactum*. Во всех изученных генотипах были обнаружены *P. chrisogenum*, *P. citrinum*, в отдельных - *P. expansum*.

**Ключевые слова.** *Penicillium* spp., *Capsicum annuum*, *Solanum melongena*, ПЦР.

### Введение

Микромицеты превосходят по численности все другие виды патогенов, оказывающие серьезное воздействие на сельскохозяйственное производство из-за их способности вызывать болезни культурных растений, которые приводят к значительным потерям урожая. Плесневые грибки, в частности, являются одним из важнейших биотических факторов, сдерживающих производство семян во всем мире. Их присутствие в семенном материале может привести к существенному снижению всхожести, ослаблению сопротивляемости к другим болезням, распространению патогенов на новые территории при перемещении через международные границы, как следствие - появлению новых штаммов или физиологических рас (Tsedaley B., 2015).

Грибки рода *Penicillium* чаще всего поражают семена и плоды различных культур в послеуборочный период, особенно при длительном хранении. С трофической точки зрения, виды рода - сапротрофы и слабые паразиты растений. Однако, плесневение семян и плодов вызываемое *Penicillium* spp. относится к серьезным болезням хранения, так как может привести к катастрофическим потерям урожая и, что особо важно, загрязнению продукции вторичными метаболитами – микотоксинами (Sharfun-Nahar et al., 2004, Frimpong et al., 2019). Многие виды *Penicillium* являются токсикогенными, подавляющими прорастание семян и последующее развитие растений (Habib et al., 2007, Vankudoth et al., 2014). Самыми распространенными и вредоносными являются виды: *P. chrisogenum*, *P. expansum*, *P. citrinum*, *P. verrucosum*, *P. griseofulvum*.

Цель данной работы – идентификация грибов рода *Penicillium* в семенах перца сладкого (*Capsicum annuum*) и баклажана (*Solanum melongena*) различных сроков хранения. Молекулярный анализ проведен посредством двустадийной ПЦР и набора праймеров, разработанных для видоспецифичных областей генома *Penicillium*.

### Объекты и методы исследования

В исследовании были использованы семена нескольких сортов перца сладкого (1) и баклажана (2) различных сроков хранения: 1 - 'Филдеш', 'Каолин', 'Эксчелент' (2011, 2020); 2 – 'Рада', 'Магда' (2011, 2018). Выделение суммарной ДНК проводили СТАВ-методом из 300 мг растительного материала (<https://www.iso.org>).

Для идентификации *Penicillium* spp. был осуществлен дизайн праймеров на основе специфичных для каждого вида последовательностей гена бета-тубулина представленных в базе данных GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>), посредством программы Primer-BLAST. ПЦР проводилась в 25 µl реакционной смеси, содержащей 66 mM трис-HCl (pH-8.4), 16 mM (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 2 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.1% Tween 20, 7% глицерина, 100 мкг/ml BSA (Bovine Serum Albumin), по 0.2mM

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

каждого из dNTP, по 5 pM праймера и 0,2 единицы Taq-полимеразы (Thermo Fisher Scientific), 10 нг ДНК. В качестве молекулярного маркера использовался 100 kb DNA ladder (Thermo Fisher Scientific).

Первый раунд двустадийной ПЦР включал: 1 цикл при 95 °С (денатурация) в течение 3 мин, 60 °С (отжиг) - 1 мин, 72 °С (элонгация) - 1 мин, затем 29 циклов: 95 °С – 1 мин, 60 °С - 1 мин, 72 °С - 1 мин. Условия второго раунда: 95 °С - 1 мин, 60 °С - 1 мин, 72 °С - 1 мин (30 циклов).

Продукты амплификации разделяли в 1,5% агарозном геле при 6 В/см в TBE буфере (рН 8,0) с бромидом этидия, визуализировали в УФ (302 нм) и фотографировали.

### Результаты и обсуждение

Первоначально было выяснено, какие образцы семян заражены грибами рода *Penicillium*. Для этой цели в двустадийной ПЦР были использованы праймеры созданные на основе неспецифичных участков последовательности генома пенициллиума характерных для всех видов, использованных в работе. Результат молекулярного анализа показал присутствие ДНК патогенов во всех генотипах баклажана и перца. Далее была проведена молекулярная идентификация различных видов *Penicillium* с использованием специфических праймеров для выявления *P. chrisogenum*, *P. expansum*, *P. citrinum*, *P. verrucosum*, *P. griseofulvum*, *P. brevicompactum*. Результаты ПЦР-анализа ДНК семян перца и баклажана видового состава грибов рода *Penicillium* представлены в таблице:

**Таблица.** Видовой состав грибов рода *Penicillium* в семенах перца сладкого и баклажана различных сроков хранения.

Генотип	Перец сладкий						Баклажан			
	2011			2020			2011		2018	
	Ф	К	Э	Ф	К	Э	Р	М	Р	М
<i>Penicillium</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. chrisogenum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. expansum</i>	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+
<i>P. citrinum</i>	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. verrucosum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. griseofulvum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. brevicompactum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ф - 'Филдеш', К - 'Каолин', Э - 'Эксчелент', Р - 'Рада', М - 'Магда'

Молекулярная идентификация *Penicillium* spp. показала, что все генотипы перца и баклажана инфицированы *P. chrisogenum*. В результате проведения двустадийной ПЦР с использованием праймеров для выявления *P. chrisogenum* во втором раунде синтезируется фрагмент длиной 250 п.о. Пример синтеза данного фрагмента показан на рис. 1.

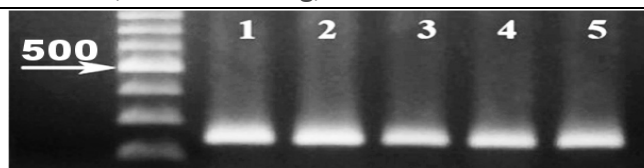


Рисунок 1. Электрофореграмма результатов двустадийной ПЦР с использованием специфических праймеров для определения *P. chrisogenum*.  
1. 'Филдеш', 2. 'Каолин', 3. 'Эксчелент', 4. Рада, 5. Магда.

*P. citrinum* был обнаружен в семенах перца 2011 года только у сорта 'Каолин'. Во всех семенах перца 2020 года, баклажана 2011 и 2018 гг. обнаружен *P. citrinum*. Пример синтеза фрагмента длиной 248 п.о. при использовании специфических праймеров показан на рис. 2.

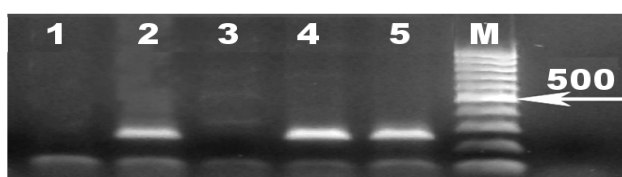


Рисунок 2. Электрофореграмма результатов двустадийной ПЦР с использованием специфических праймеров для определения *P. citrinum*.  
1. 'Филдеш', 2. 'Каолин', 3. 'Эксчелент', 4. Рада, 5. Магда.

*P. expansum* был выявлен в семенах перца в единичном случае у сорта 'Каолин' (2011 год), а в семенах баклажана – во всех генотипах. Пример синтеза фрагмента длиной 363 п.о., как результат действия специфической пары праймеров для обнаружения *P. expansum* во втором раунде двустадийной ПЦР, показан на рисунке 3.

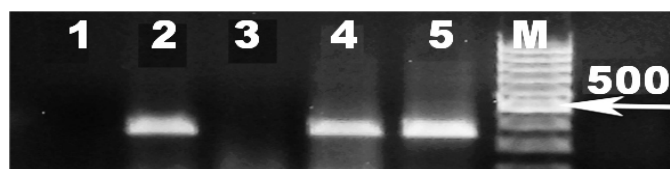


Рисунок 3. Электрофореграмма результатов двустадийной ПЦР с использованием специфических праймеров для определения *P. expansum*.  
1. 'Филдеш', 2. 'Каолин', 3. 'Эксчелент', 4. Рада, 5. Магда.

## Выводы

Проведена молекулярная идентификация посредством двустадийной ПЦР грибков рода *Penicillium* в семенах перца сладкого и баклажана различных сроков хранения. Во всех изученных генотипах баклажана обнаружены *P. chrisogenum*, *P. expansum*, *P. citrinum*. Семена перца сладкого 2011 и 2020 годов заражены *P. chrisogenum*. *P. citrinum* идентифицирован в семенах перца 2011 года только у сорта 'Каолин' и во всех генотипах перца 2020 года. *P. expansum* обнаружен только у сорта 'Каолин' 2011 года. ДНК видов пенициллиума - *P. verrucosum*, *P. griseofulvum*, *P. brevicompactum* в исследованных образцах семян отсутствует.

## Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.11 «Длительное сохранение генетических ресурсов растений в геномном банке с использованием

методов молекулярной биологии в тестировании состояния здоровья растительной зародышевой плазмы», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию Республики Молдовы.

### Список литературы / References

- Frimpong G., Adekunle A., Ogundipe O., Solanki M. Identification and Toxigenic Potential of Fungi Isolated from Capsicum Peppers // Microorganisms. 2019. Vol. 7(9). 303. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms7090303>
- Habib A., Shahbar T.S., Ghazanfar M.U., Ali S. et al. Location of Seed-borne Mycoflora of Eggplant (*Solanum melongena*) in different Seed Components and Impact on Seed Germinability // International Journal of Agriculture and Biology. 2007. Vol. 9. No. 3. P. 514-516.
- ISO 21571:2005(en) Foodstuffs – Methods of analysis for the detection of genetically modified organisms and derived products – Nucleic acid extraction [Online]. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:21571:ed-1:v1:en>
- NCBI: National Center for Biotechnology Information. U.S. National Library of Medicine. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>
- Sharfun-Nahar A., Mushtaq M. and Pathan I. Seed-borne mycoflora of *Capsicum annuum* imported from India // Pakistan Journal of Botany. 2004. Vol. 36(1). P. 191-197.
- Tsedaley B. Review on Seed Health Tests and Detection Methods of Seedborne Diseases // Journal of Biology, Agriculture and Healthcare. 2015. Vol. 5. No. 5. P. 176-184.
- Vankudoth Koteswara Rao, Sivadevuni Girisham, Solipuram Madhusudhan Reddy. Influence of different species of *Penicillium* and their culture filtrates on seed germination and seedling growth of sorghum // Journal of Biochemical Technology. 2014. Vol. 5(4). P. 382-387.

### PCR IDENTIFICATION OF MOLD FUNGI OF THE GENUS *PENICILLIUM* IN SWEET PEPPER AND EGGPLANT SEEDS

A.V. DIAGHILEVA, L.G. TUMANOVA, V.A. MITIN

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Moldova, Chisinau,*  
*angela.deaghileva@igfpp.md*

**Abstract.** The study presents the results of molecular diagnostics of fungi of the genus *Penicillium* in the seeds of several varieties of sweet pepper and eggplant of local selection. The analysis was carried out on the basis of two-stage PCR using primers to identify *Penicillium* species: *P. chrysogenum*, *P. expansum*, *P. citrinum*, *P. verrucosum*, *P. griseofulvum*, *P. brevicompactum*. *P. chrysogenum* and *P. citrinum* were found in all studied genotypes, and *P. expansum* in some.

**Keywords.** *Penicillium* spp., *Capsicum annuum*, *Solanum melongena*, PCR.



**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ СВЕТОВОГО ДНЯ НА СОДЕРЖАНИЕ АНТОЦИАНОВ У КАПУСТНЫХ РАСТЕНИЙ ВИДА *BRASSICA RAPA* L.**

К. В. ЕГОРОВА, Н. Г. СИНЯВИНА, В. Е. ВЕРТЕБНЫЙ, Ю. В. ХОМЯКОВ, Ю. В. ЧЕСНОКОВ  
ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),  
Санкт-Петербург, [kseniia.v.egorova@gmail.com](mailto:kseniia.v.egorova@gmail.com)

**Аннотация.** Капустные (*Brassicaceae*) – семейство, объединяющее многие широко возделываемые сельскохозяйственные культуры с ценным биохимическим составом. Одним из компонентов биохимического состава растений являются антоцианы – вторичные метаболиты растений, водорастворимые растительные пигменты с доказанной антиоксидантной активностью. Цель настоящего исследования – изучение влияния длины светового дня (фотопериода) на содержание антоцианов у капустных культур. С использованием двух картирующих популяций удвоенных гаплоидов *Brassica rapa* L., выращенных в условиях регулируемой агроэкосистемы, было показано, что содержание антоцианов – варьируемый признак, на формирование которого оказывает влияние как генотип, так и факторы окружающей среды. Отмечен эффект общего увеличения содержания антоцианов с увеличением продолжительности светового дня.

**Ключевые слова.** Капустные культуры, *Brassica rapa* L., картирующие популяции удвоенных гаплоидов, регулируемые условия, фотопериод, антоцианы.

**Введение**

К роду *Brassica* (Капустные) относятся многие сельскохозяйственные культуры, распространенные по всему миру: **овощные** (белокочанная капуста, брокколи, цветная капуста, редька, репа, редис), **масличные** (масличный рапс, желтый масличный сарсон, горчица), **пряные** (горчица, хрен, васоби), **кормовые культуры** (рапс, турнепс) и др. Благодаря широкой распространенности представителей капустных, вопросы происхождения, эволюции, генетического разнообразия рода *Brassica* продолжают оставаться предметом интенсивного изучения с использованием различных методов молекулярно-генетического анализа (Артемьева и др., 2012; Артемьева и др., 2016; Favela-González, 2020). Следует отметить, что понимание механизмов генетического контроля хозяйственно ценных признаков необходимо для повышения эффективности и точности традиционной селекции (Collard et al., 2005; Чесноков, 2007).

Растения рода *Brassica* содержат различные фитонутриенты – биохимические соединения, необходимые для здорового питания человека, но при этом не считающиеся незаменимыми питательными веществами в отличие от белков, жиров, минералов и витаминов (Önder A., 2018). **Антоцианы** – вторичные метаболиты растений. Они принадлежат к семейству фитохимических веществ – флавоноидов, которые входят в состав ещё большей группы соединений, называемой полифенолы. Антоцианы – водорастворимые растительные пигменты. Одна из основных из функций антоцианов – привлечение насекомых-опылителей и распространителей семян яркоокрашенными цветками и плодами. Накапливаясь как в вегетативных, так и генеративных органах растений, они обуславливают красную, розовую, фиолетовую и синюю окраску. Также известно, что антоцианы выполняют в растениях структурные, защитные и сигнальные функции, определяют устойчивость к абиотическим и биотическим стрессам, участвуют в процессах дыхания и фотосинтеза (Запрометов, 1974; Бабак и др., 2020). Исследование механизмов накопления антоцианов в растительных тканях позволяет определить пути адаптации растений к неблагоприятным условиям среды и понять физиолого-биохимические механизмы их устойчивости.

Кроме того, благодаря высокой антиоксидантной активности антоцианы обладают противоопухолевой и кардиопротекторной функциями, что позволяет использовать богатые ими продукты в функциональном питании (Šamec, Salopek-Sondi, 2019).

Целью нашего исследования являлась оценка влияния фотопериода на содержание антоцианов в картирующих популяциях *B. rapa*, выращенных в контролируемых условиях регулируемой агроэкосистемы (РАЭС).

### **Объекты и методы исследования**

#### **Картирующие популяции удвоенных гаплоидов *Brassica rapa* L.**

В качестве инструмента для изучения количественных признаков у растений, в том числе и у капустных, могут использоваться картирующие популяции удвоенных гаплоидов (double haploid, DH). Все локусы линий удвоенных гаплоидов находятся в гомозиготном состоянии, поэтому они нуждаются только в однократном генотипировании и идеально подходят для анализа количественных признаков (Pink et al., 2008).

В работе использовались линии двух картирующих популяций удвоенных гаплоидов *Brassica rapa* L. из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР): 23 линии DH 30 и 45 линий DH 38.

**Популяция DH 30** – получена от скрещивания японской корнеплодной репы (Kaigyoku Hakata) и масличного желтого сарсона (YS-143).

**Популяция DH 38** – результат гибридизации листовой/черешковой китайской капусты (Nai Bai Cai) и масличного желтого сарсона (YS-143).

Картирующие популяции DH-линий созданы в лаборатории селекции растений Университета Вагенингена (Нидерланды) на основе значительно различающихся генотипически и фенотипически образцов, относящихся к разным ботаническим подвидам (Lou, 2007; Артемьева и др., 2012). Созданные на их основе популяции гомозиготных линий удвоенных гаплоидов дают представление о разнообразии капустных культур рода *B. rapa* по степени проявления основных хозяйственно ценных признаков.

#### **Условия регулируемой агроэкосистемы (РАЭС)**

Степень проявления количественных признаков существенно зависит от взаимодействия генотип-среда. Выращивание растений в светокультуре в условиях регулируемой агроэкосистемы (РАЭС) позволяет моделировать конкретные параметры окружающей среды (температура, освещение, влажность и др.) и выявить реакцию генотипа на действие определенных факторов среды (Кочетов и др., 2012; Панова и др., 2020).

Линии удвоенных гаплоидов *B. rapa* выращивали в условиях светокультуры при моделировании 12-часового и 14-часового фотопериода согласно ранее описанной методике (Егорова и др., 2020). Остальные параметры поддерживались на оптимальном уровне. Размер анализируемой выборки – 5 растений для каждой линии.

#### **Определение содержания антоцианов**

Для биохимического анализа отбирали свежие листья растений на стадии перехода к цветению (начало стеблевания). Метод определения антоцианов в растительной ткани основан на спектрофотометрическом определении экстракта антоцианов в 1% растворе хлористоводородной (соляной) кислоты (Ермаков, 1987; Чупахина, Масленников, 2004) при длине волны 510 нм, в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид (453 нм). Для внесения поправки на содержание зеленых пигментов одновременно определяется оптическая плотность полученных экстрактов при длине волны 657 нм (Mancinelli et al., 1983). Спектрофотометрический анализ проводился с использованием спектрофотометра ПЭ-3000УФ (ООО «Промэколаб»). Все данные приведены в пересчете на сырое вещество.

### Статистическая оценка полученных данных

Статистическую оценку полученных данных проводили путем вычисления основных описательных характеристик. Величину  $p < 0,05$  (вероятность ошибки 5%) считали приемлемой границей статистической значимости. Все значения рассчитывали с использованием компьютерного программного обеспечения Excel 2016.

### Результаты и обсуждение

В результате исследования был проведен анализ содержания растительных пигментов антоцианов у растений двух популяций удвоенных гаплоидов *Brassica rapa* L. (рисунок 1), выращенных в светокультуре в регулируемых условиях РАЭС. Проведена оценка влияния продолжительности светового дня на содержание антоцианов у капустных культур *B. rapa* (таблица, рисунок).

У линий популяции ДН 30 содержание антоцианов варьировало от 0,40 до 3,62 мг/100 г при выращивании на 12-часовом фотопериоде (среднее значение – 1,61 мг/100 г) и от 1,23 до 8,77 мг/100 г при 14-часовом фотопериоде (среднее значение – 3,79 мг/100 г). Степень варьирования признака достигала 52,9 % при выращивании на 12-часовом фотопериоде (таблица).

При оценке линий ДН 38 также показано увеличение содержания антоцианов с увеличением продолжительности длины светового дня. Содержание антоцианов в изученных образцах варьировало от 0,58 до 3,29 мг/100 г при выращивании на 12-часовом фотопериоде (среднее значение – 1,55 мг/100 г) и от 1,21 до 5,55 мг/100 г при 14-часовом фотопериоде (среднее значение – 3,42). Варьирование признака находилось в пределах от 29,4 % (14-часовой фотопериод) до 42,9% (12-часовой фотопериод).

В целом, выявлена значительная вариабельность содержания антоцианов между линиями внутри каждой популяции (рисунок, таблица), что согласуется с ранее опубликованными данными, где показана высокая степень варьирования биохимических признаков у изучаемых ДН-линий *B. rapa*. (Артемьева и др., 2012; Артемьева и др., 2015; Егорова и др., 2021).

Также в результате исследования были выделены гомозиготные линии удвоенных гаплоидов, которые отличались низким (ДН 30-6, ДН 30-97, ДН 38-76) и высоким (ДН 30-238, ДН 38-67, ДН 38-103) содержанием антоцианов независимо от условий выращивания (рисунок), что, вероятно, может объясняться их генотипическими особенностями.

Таблица. Статистическая обработка полученных данных по определению содержания антоцианов у ДН-линий *Brassica rapa* L.

	ДН 30		ДН 38	
	12 часов	14 часов	12 часов	14 часов
Среднее значение (мг/100 г)	1,61	3,79	1,55	3,42
Минимальное значение (мг/100 г)	0,40	1,23	0,58	1,21
Максимальное значение (мг/100 г)	3,62	8,77	3,29	5,55
Доверительный интервал ( $\alpha=0,05$ )	0,35	0,67	0,19	0,29
Стандартное отклонение	0,85	1,65	0,66	1,00
Коэффициент вариации (%)	52,95	43,51	42,88	29,37

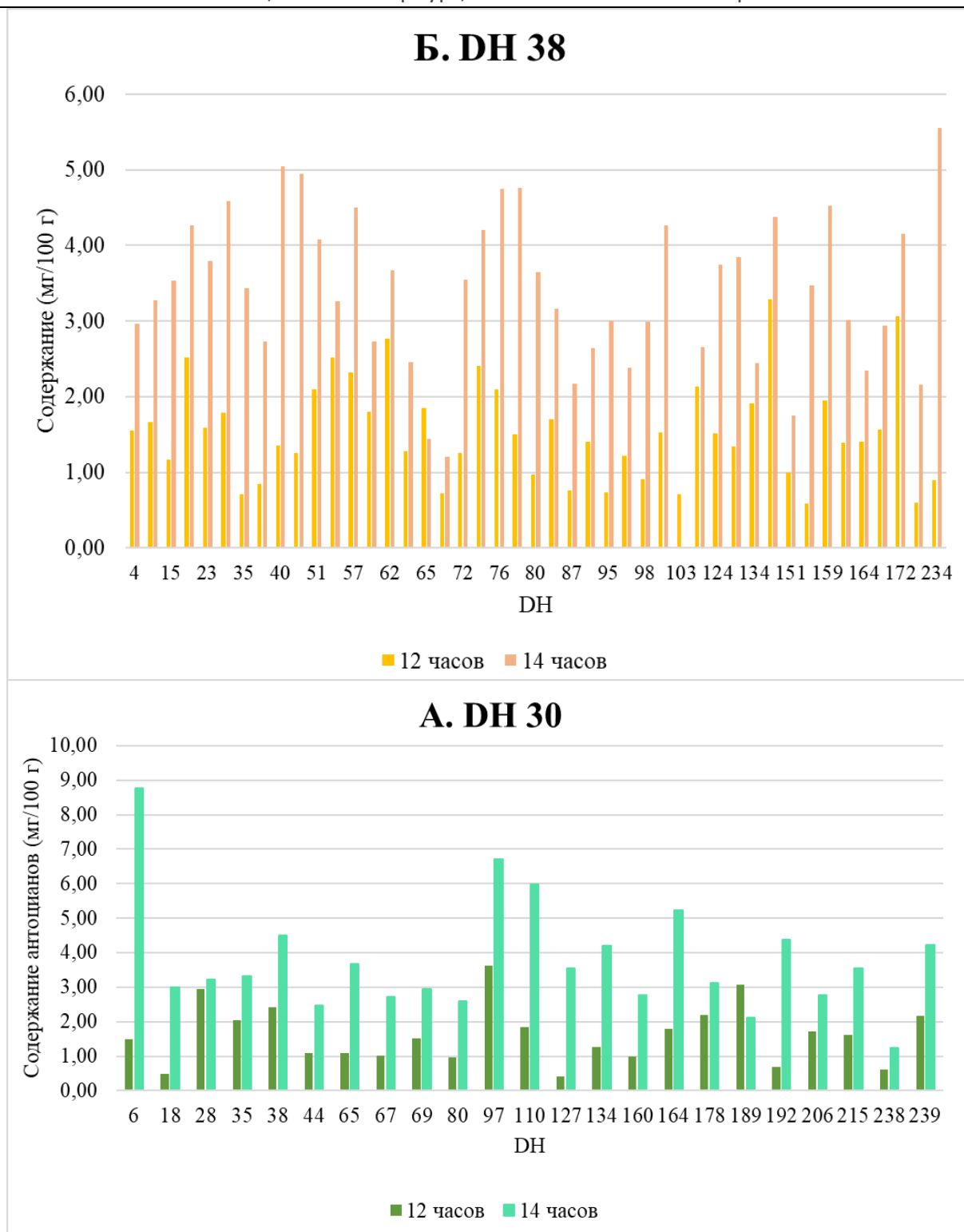


Рис. Содержание антоцианов у DH-линий *Brassica rapa* L.:  
А. Популяция DH 30; В. Популяция DH 38

Эффект общего увеличения содержания антоцианов в условиях более длительного фотопериода отмечен для обеих популяций. Вероятно, это связано тем, что увеличение продолжительности светового потока приводит к повышению уровня фотоокислительных процессов. Известно, ответная активация биосинтеза антоцианов в листьях растений может защитить

фотосинтетическую систему хлоропластов и ДНК растительной клетки от УФ-света и света высокой интенсивности за счет снижения уровня фотоингибирования в растительных тканях (Coley, Kursar, 1996; Neill, Gould, 2003).

Полученные данные могут использоваться для дальнейшего изучения влияния внешних факторов на проявление количественных признаков у капустных культур и в генетико-селекционной работе, в том числе для получения генотипов, линий, и сортов с ценным биохимическим составом и адаптированных к выращиванию в светокультуре.

### **Выводы**

Изучение популяций удвоенных гаплоидов *Brassica rapa L.* в условиях, различающихся по длине фотопериода, позволило оценить влияние длины светового дня на накопление растительных пигментов антоцианов.

Показана значительная степень варьирования содержания антоцианов в растениях.

Выделены ДН-линии с высоким и низким содержанием антоцианов независимо от светового режима, что может обуславливаться их генетическими особенностями.

Для обеих популяций выявлено увеличение биосинтеза антоцианов в условиях более длительного светового дня, что может являться результатом защитной реакцией клеток исследуемых растений на фотоокислительный стресс.

Полученные результаты вносят вклад в изучение влияния факторов окружающей среды на реализацию биохимических признаков у капустных растений и могут использоваться в генетико-селекционной работе, в том числе для получения генотипов, линий, и сортов с ценным биохимическим составом и адаптированных к выращиванию в светокультуре.

### **Список литературы / References**

- Артемьева А. М., Соловьева А. Е., Кочерина Н. В. и др. ДНК маркированные линии двойных гаплоидов *Brassica rapa L.* и идентифицированные QTL, контролирующие хозяйственно ценные признаки для использования в селекции листовых капустных культур // Каталог мировой коллекции ВИР. 2012. № 810. 174 с.
- Артемьева А. М., Соловьева А. Е., Кочерина Н. В. и др. Картирование хромосомных локусов, определяющих проявление морфологических и биохимических признаков качества у культур вида *Brassica rapa L.* // Физиология растений. 2016. №2 (63). С. 275-289.
- Бабак О. Г., Некрашевич Н. А., Никитинская Т. В. и др. Изучение полиморфизма генов Мyб-факторов на основе сравнительной геномики овощных пасленовых культур (томат, перец, баклажан) для поиска ДНК-маркеров, дифференцирующих образцы по накоплению антоцианов // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2020. № 6 (63). С. 721-729.
- Егорова К. В., Синявина Н. Г., Кочетов А. А., Чесноков Ю. В. Оценка селекционно значимых морфологических признаков в популяции удвоенных гаплоидов *Brassica rapa L.* в контролируемых условиях регулируемой агроэкосистемы // Овощи России. 2020. № 4. С. 28-31.
- Егорова К.В., Дубовицкая В.И., Хомяков Ю.В., Чесноков Ю.В. Изучение влияния фотопериода на содержание микроэлементов в капустных растениях рода *Brassica rapa L.* // Агрофизика. 2021. № 2. С. 37-44.
- Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. и др. Методы биохимического исследования растений. / Под ред. А.И. Ермакова. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение. 1987. 430 с.
- Запрометов М. Н. Основы биохимии фенольных соединений: учебное пособие. Высшая школа, 1974. С. 214.
- Кочетов А. А., Макарова Г. А., Мирская Г. В., Синявина Н. Г. Агрофизический подход к созданию новых форм культурных растений // Агрофизика. 2012. №1(5). С. 40-44.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

- Панова Г. Г., Удалова О. Р., Канаш Е. В и др. Основы физического моделирования «идеальных агроэкосистем» // Журнал технической физики. 2020. №. 10 (90). С. 1633-1639.
- Чесноков Ю. В., Косолапов В. М. Генетические ресурсы растений и ускорение селекционного процесса. 2016. 172 с.
- Чупахина Г. Н., Масленников П. В. Методы анализа витаминов. 2004. 36 с.
- Coley P. D., Kursar T. A. Causes and consequences of epiphyll colonization // Tropical forest plant ecophysiology. Springer, Boston, MA. 1996. P. 337-362.
- Collard, B.C.Y., Jahufer, M. Z. Z., Brouwer, J. B. et al. An introduction to markers, quantitative trait loci (QTL) mapping and marker-assisted selection for crop improvement: the basic concepts // Euphytica. 2005. Vol. 1 (142). P. 169-196. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-005-1681-5>
- Favela-González K. M., Hernández-Almanza A. Y., De la Fuente-Salcido N. M. The value of bioactive compounds of cruciferous vegetables (Brassica) as antimicrobials and antioxidants: A review // Journal of Food Biochemistry. 2020. Vol. 10 (44). P. e13414. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfbc.13414>
- Lou P., Zhao J., Kim J. S. et al. Quantitative trait loci for flowering time and morphological traits in multiple populations of *Brassica rapa* // Journal of Experimental Botany. 2007. Vol. 14 (58). P. 4005-4016. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erm255>
- Mancinelli A. L. The photoregulation of anthocyanin synthesis // Photomorphogenesis. Springer, Berlin, Heidelberg. 1983. P. 640-661.
- Neill S. O., Gould K. S. Anthocyanins in leaves: light attenuators or antioxidants? // Functional Plant Biology. 2003. Vol. 8 (30). P. 865-873. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP03118>
- Önder A. Coriander and its phytoconstituents for the beneficial effects // Potential of Essential Oils. 2018. 165 p.
- Pink D., Bailey L., McClement S. et al. Double haploids, markers and QTL analysis in vegetable brassicas // Euphytica. 2008. Vol. 2 (164). P. 509-514. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-008-9742-1>
- Šamec D., Salopek-Sondi B. Cruciferous (Brassicaceae) vegetables // Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements. Academic Press. 2019. P. 195-202. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812491-8.00027-8>

**STUDY OF THE INFLUENCE OF THE PHOTOPERIOD ON THE CONTENT OF ANTHOCYANES IN SPECIES  
*BRASSICA RAPA* L. CABBAGE PLANTS**

K. V. EGOROVA, N. G. SINYAVINA, V. E. VERTEBNIY, Yu. V. KHOMYAKOV, Yu. V. CHESNOKOV  
*Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, kseniia.v.egorova@gmail.com*

**Abstract.** Cabbage (*Brassicaceae*) is a family that unites many widely cultivated agricultural crops with a valuable biochemical composition. One of the components of the biochemical composition of plants are anthocyanins – secondary metabolites of plants, water-soluble plant pigments with proven antioxidant activity. The purpose of this investigation is to study the effect of daylight hours (photoperiod) on the anthocyanin content in cabbage crops. Using two mapping populations of *Brassica rapa* L. doubled haploids grown in a regulated agroecosystem, it was shown that the content of anthocyanins is a variable trait, the formation of which is influenced by both genotype and environmental factors. The effect of a general increase in the content of anthocyanins with an increase in the duration of daylight hours was noted.

**Keywords.** Cabbage crops, *Brassica rapa* L., mapping populations of doubled haploids, controlled conditions, photoperiod, anthocyanins.

## ИЗУЧЕНИЕ ГЕНОТИПИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КОЛЛЕКЦИИ МЯТЫ НЕМЕНТОЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Т. Г. ЖЕЛЕЗНЯК, Н. В. БАРАНОВА, З. Н. ВОРНИКУ

Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений,

г. Кишинёв, Республика Молдова, galinajelezneac@gmail.com

**Аннотация.** Приводятся результаты исследований генотипического разнообразия коллекции мяты нементольного направления по основным морфологическим и хозяйственно-полезным признакам. Объектом исследований были четыре сорта мяты формы *Menta spicata*: Линалоольная, Карвонная, Лавандовая и Бергамотная. Определяли урожай свежего сырья и сухого листа, содержание и сбор эфирного масла.

Наиболее продуктивными проявили себя сорта Линалоольная и Лавандовая, показав урожай подвяленного сырья – 3,60 т/га и 3,53 т/г. Наименьший показатель у сорта Карвонная 3,25 т/га. Сорт мяты Бергамотная показал средний результат, 3,28 т/га подвяленного сырья. Но сырье этого вида мяты особенно ценно своим пряно-цитрусовым бергамотным ароматом, содержащим немного пряные ноты.

По содержанию эфирного масла также лучшим был образец мяты Линалоольная, 1,167% в подвяленном сырье и 2,669% в сухих листьях. Сбор эфирного масла составил 42,0 кг/га и 27,4 кг/га соответственно. У следующего за ней образца мяты Карвонная эти показатели были на уровне 1,079% и 2,255% и 35,1 кг/га и 24,9 кг/га.

**Ключевые слова.** Мята нементольная, эфирное масло, показатели продуктивности.

### Введение

В современных условиях все более актуальной становится проблема поиска и расширения спектра натуральных продуктов, используемых в различных сферах жизнедеятельности человека. Эфиромасличные растения, занимая достаточно скромное место среди всех возделываемых сельскохозяйственных растений, тем не менее, представляют большую ценность в связи с высокой востребованностью продуктов их переработки (эфирных масел и отдельных их компонентов), для парфюмерно-косметического, фармацевтического, ликероводочного, пищевого производства. Основным и наиболее важным продуктом переработки сырья эфиромасличных растений, несомненно, являются эфирные масла.

Мята давно известное и широко применяемое лекарственное, пряно ароматическое и эфиромасличное растение, занимающее одно из ведущих мест в мировом производстве эфирного масла. В культуре выращиваются в большей степени формы видов *Mentha*, синтезирующие ментол – *Menta piperita* L. В последнее время получают распространение также сорта нементольных мят, синтезирующих эфирные масла с преимущественным содержанием в них карвона, линалоола, линалилацетата, цитрала - веществ с широким диапазоном внедрения в целебной практике, пищевой и парфюмерной индустрии. Эти натуральные соединения можно получать в значительных количествах из сырья мяты карвонных, линалоольных, линалилацетатных и цитральных видов [1, 2].

Линалоольная мята содержит до 70% линалоола, используется в парфюмерной, химико-фармацевтической и пищевой промышленности. Имеет приятный нежный аромат. Лавандовая мята используется в народной медицине как успокаивающее средство при различных нервных расстройствах. Карвонная мята содержит до 80% карвона, используется в парфюмерной, кондитерской и ликероводочной промышленности. В США широко используется для ароматизации жевательной резинки и зубных паст. Бергамотная мята линалоольно - линалилацетатного направления, эфирное масло которой содержит до 40% и 45% этих компонентов соответственно, а также цитраль, лимонен, геранил ацетат, предающий маслу приятный цитрусовый аромат.

Листья мяты входят в состав лечебных чаев Pasiune, Ceai energizant, Multifrukt, Чай для диабетиков, Утренняя заря, и др. производимых в Молдове фирмой Doctor Farm.

Для расширения ассортимента натуральных ароматизаторов и в связи с ежегодно изменяющимися погодными - климатическими условиями, обострившейся проблемой засухи в Молдове, актуальным является проведение исследований генотипического разнообразия коллекции мяты нементольного направления по основным морфологическим и хозяйственно-полезным признакам. Это позволит сохранить и выделить устойчивые к экстремальным факторам среды обитания перспективные для дальнейших исследований генотипы [3,4].

### **Объекты и методы исследования**

Исследования проводились на изолированном участке открытого грунта с возможностью осуществления полива. Представлены средние данные за три года наблюдений (2018-2020). Материалом для исследования послужили четыре формы *Menta spicata*.

Мята высаживалась рассадным способом по существующим методикам [5]. Высадка рассады осуществлялась в предварительно нарезанные на глубину 18-20 см борозды на расстоянии 12-15 см друг от друга, нормой 10 растений/м<sup>2</sup>. В период вегетации были проведены поливы и подкормки аммиачной селитрой N<sub>45</sub>. Урожай с делянок убирался вручную. Определяли общую продуктивность целых свежих и подвяленных растений, урожай сухого листа, соотношение его к общей массе сырья. Сбор эфирного масла определяли в подвяленном сырье и в сухих листьях. Содержание эфирного масла определяли в подвяленном сырье и в сухом листе методом гидродистилляции в аппаратах Гинзберга [6]

### **Результаты и обсуждение**

Объектом исследований были четыре сорта нементольной мяты: Линалоольная, Карвонная, Лавандовая и Бергамотная. Материал отбирался с плантаций предыдущего года поэтапно по сортам, по мере его отрастания на 10-15 см и был посажен в период с 9 по 12 мая. Спустя 10-14 дней рассада укоренилась, во второй декаде июня на ней сформировались побеги и во второй половине июля все исследуемые образцы мяты находились в стадии цветения. Уборка зеленой массы была произведена с 16 по 19 июля, при этом мята сорта Бергамотная оказалась самой поздней, ее убрали 30 июля (Рис. 1).

Период вегетации для сбора ароматического сырья мяты составил 66-72 дня, оказавшись самым продолжительным у сорта Бергамотная. При густоте стояния 8,6-9,8 растений/м<sup>2</sup>, их высота составила 42-60 см. Самой высокорослой была мята Карвонная, низкорослой Бергамотная (Рис. 2).

Основными ценными органами мяты, служащими сырьем для производства фито чаев, приправ и ароматизаторов, служат листья и соцветия, в которых содержится основное количество эфирного масла. Для их сохранения уборку мяты следует осуществлять до того, как нижние листья начнут опадать. Все исследованные образцы мяты были хорошо облиственны. Доля листьев в общем урожае сырья превышала 50% и составляла, в зависимости от образца, 57-69%.





Рис. 1. Коллекция мяты в период цветения.

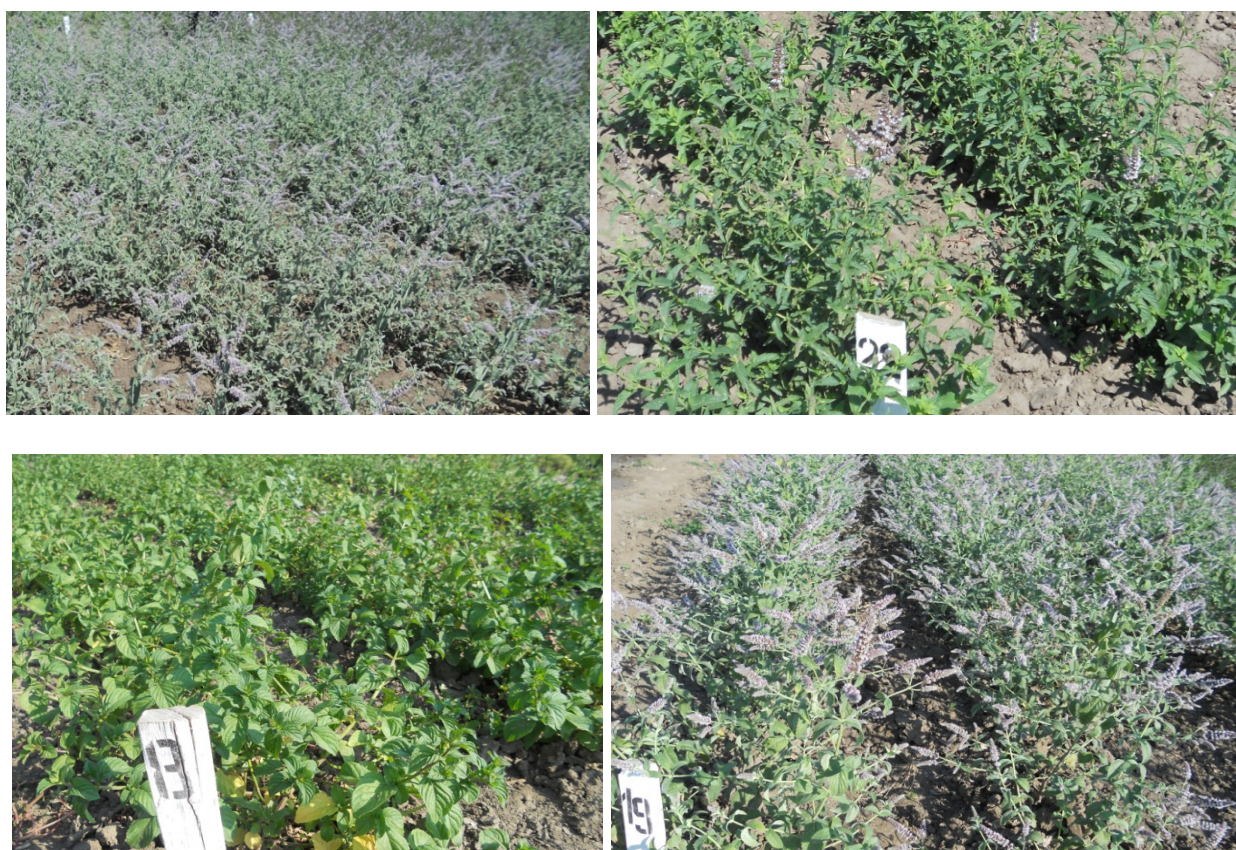


Рис. 2. Образцы мяты в период уборки: в верхнем ряду слева направо - Линалоольная и Карвонная; в нижнем ряду слева направо - Бергамотная и Лавандовая.

Характеризуя показатели продуктивности, следует отметить, что в отсутствии достаточного количества атмосферных осадков, искусственный полив, осуществляемый два-три раза за вегетационный период, обеспечил активное наращивание вегетативной массы растений мяты. По урожайности зеленой массы самым продуктивным был сорт Бергамотная 5,18т/га, так как густота стояния растений этого вида была наибольшей (9,8 растений/м<sup>2</sup>). Следующим по продуктивности был сорт Линалоольная (5,11 т/га). Два других сорта показали примерно одинаковый результат, менее пяти тонн – Лавандовая – 4,67 т/га и Карвонная 4,64 т/га. Влажность сырья при уборке была в пределах 66 – 71%.

Содержание эфирного масла в мяте определялся не в свежесобранном, а на следующий день в подвяленном сырье, влажностью 46–62% и пересчитывалось на стандартную 55% влажность.

Урожай подвяленного сырья, в зависимости от исходной влажности, на 29–32% ниже урожая зеленой массы и составляет 3,25 – 3,60 т/га. Лучшие результаты показали сорта Линалоольная и Лавандовая – 3,60 т/га и 3,53 т/га, наименьший показатель у сорта Карвонная 3,25 т/га. Сорт мяты Бергамотная, который был самым продуктивным по сбору зеленой массы, не сохранил свое лидерство из-за большой исходной влажности сырья, то есть наименьшего содержания сухого остатка, показав 3,28 т/га (Рис.3).

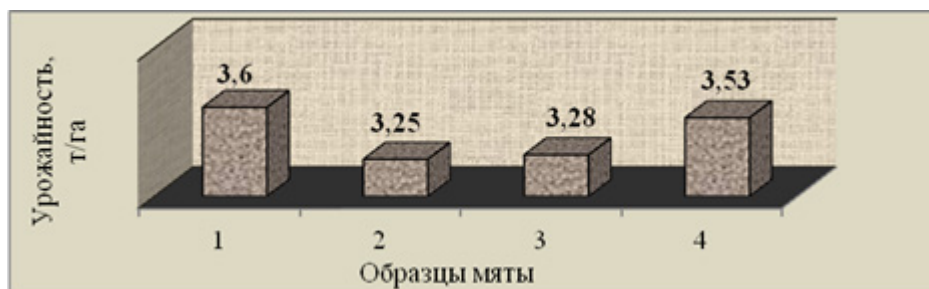


Рис. 3. Урожай подвяленного сырья мяты при влажности 14% за 2018–2020 годы, кг/га. Образцы мяты: 1 - Линалоольная, 2 - Карвонная, 3 - Бергамотная, 4 - Лавандовая.

Содержание эфирного масла в подвяленном сырье по сортам значительно отличается. Наиболее масличным показал себя сорт Линалоольная 1,167%, следующим с незначительным отставанием в 7% был образец Карвонная 1,079%. У двух других мят этот показатель был ниже единицы и составлял 0,917% у сорта Лавандовая и 0,639% у мяты Бергамотная, то есть на 22% и 46% ниже сорта Линалоольная.

При определении сбора эфирного масла в подвяленном сырье тенденция сохранилась и лучшей по этому показателю также была мята Линалоольная 42,01 кг/га, следующей за ней, с отставанием в 16%, мята Карвонная 35,07 кг/га, затем Лавандовая 32,37 кг/га, то есть на 23% меньше. Значительно отстал от лучшего образца (более чем в два раза) сорт мяты Бергамотная, показав сбор эфирного масла в 20,96 кг/га.

Содержание сухих листьев и соцветий в общей массе сырья является важным показателем, так как именно эти компоненты урожая служат сырьем для парфюмерной, пищевой и фармацевтической промышленности. Определялось соотношение сухих листьев, при влажности 14%, к урожаю зеленой массы. По этому показателю исследованные образцы продемонстрировали следующие величины: Карвонная 25,9%, Лавандовая 25,3%, Линалоольная 22,9% и Бергамотная 19,9%. По продуктивности сухих листьев лучший результат показала мята Карвонная 1,235 т/га, так как этот образец продемонстрировал наибольшее, из исследуемых образцов, содержание листьев по отношению к зеленой массе. Следующим с небольшим отставанием был сорт Линалоольная 1,187 т/га и Лавандовая 1,179 т/га. Самую низкую продуктивность показал сорт с низким содержанием сухих листьев в урожае зеленой массы, мята Бергамотная 776 кг/га, что составило лишь 63% от образца лидера по этому показателю. Но сырье мяты Бергамотная ценно своим неповторимым пряно-цитрусовым ароматом, включающим свежие и бальзамический оттенки.

Массовая доля эфирного масла в листьях мяты влажностью 14%, находилась в пределах 1,878 – 2,669%, и 2,266 – 3,106% в пересчете на абсолютно сухое вещество. Как и при определении содержания эфирного масла в подвяленном сырье, наиболее масличной была мята Линалоольная, продемонстрировав результат 2,669%. Следующим был сорт Карвонная, масличностью 2,255%, с отставанием в 15% и сорт Лавандовая, масличностью 1,949%, с

отставанием в 27%. Наименьший показатель масличности, как и в случае его определения в целом подвяленном сырье, показали листья мяты Бергамотная 1,878%, то есть 70% от наиболее масличной мяты (Рис. 4).



Рис. 4. Содержание эфирного масла в листьях мяты при 14% влажности в период 2018-2020 годов, %. Образцы мяты: 1-Линалоольная, 2- Карвонная, 3- Бергамотная, 4- Лавандовая.

При определении сбора эфирного масла в воздушно-сухих листьях тенденция сохранилась и самым продуктивным был самый высокомасличный сорт Линалоольная с результатом 27,4 кг/га. Затем следовал сорт Карвонная 24,9 кг/га, с отставанием в 10% и сорт Лавандовая, с отставанием в 17% (Рис.5). Самый низкий сбор эфирного масла показал низко масличный сорт Бергамотная 16,5 кг/га. то есть на 11 кг/га меньше, чем у мяты Линалоольная. Но эфирное масло мяты Бергамотная ценно своим неповторимым пряным бергамотным ароматом, с приятным свежим лимонным оттенком.



Рис. 5. Сбор эфирного масла в листьях мяты при 14% влажности за 2018 – 2020 годы, кг/га. Образцы мяты: 1-Линалоольная, 2- Карвонная, 3- Бергамотная, 4- Лавандовая.

Это происходит благодаря схожему компонентному составу эфирного масла мяты этого вида и бергамотового масла, включающему линалоол, линалил ацетат, лимонен, мирцен, геранил ацетат, кариофиллен и др. Листья мяты Бергамотной, входящие в композицию фито чаев, придают напиткам свежие цитрусовые, немного пряные ноты.

## Выводы

1. Климатические условия Республики Молдова пригодны для возделывания мяты только с условием возможности осуществления поливов в течение активного вегетационного периода.
2. В ходе проведения трехлетних исследований 2018 – 2020 годов, сравнительного анализа морфологических и хозяйственно – полезных признаков у четырех образцов мяты формы *Menta spicata*, синтезирующих эфирные масла с преимущественным содержанием в них карвона, линалоола, линалилацетата, цитраля, были выявлены высокопродуктивные образцы.
3. Наиболее продуктивными из исследуемых форм *Menta spicata* проявили себя сорта мяты Линалоольная и Лавандовая, показав урожай подвяленного сырья – 3,60 т/га и 3,53 т/г. Наименьший показатель у сорта Карвонная 3,25 т/га. Сорт мяты Бергамотная показал средний результат, 3,28 т/га подвяленного сырья, но оно особенно ценно своим пряно-цитрусовым

бергамотным ароматом, предающим напиткам с его содержащим неповторимые свежеситрусовые, немного пряные ноты.

4. По таким показателям продуктивности как массовая доля и сбор эфирного масла также лучшим был образец мяты Линалоольная, показав содержание эфирного масла 1,167% в подвяленном сырье и 2,669% в сухих листьях и сбор эфирного масла 42,0 кг/га и 27,4 кг/га соответственно. У следующего за ней образца мяты Карвонная эти показатели были на уровне 1,079% и 2,255% и 35,1 кг/га и 24,9 кг/га.

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.7007.04 «Биотехнологии и генетические способы выявления, сохранения и использования агробиоразнообразия», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.

### Список литературы / References

1. Musteață G. Plante aromatice și medicinale cultivate din familia Apiaceae. Chișinău: UASM. 2002. 76 p.
2. Musteață G., Brânzilă I., Roșca N., Baranova N., Vornicu Z. Surse genetice valoroase de mentă // Agrobiodiversitatea vegetală în Republica Moldova: evaluarea, conservarea și utilizarea. Materialele simpozionului național. Chișinău, 2008. P.283-289.
3. Мустяцэ, Г.И. Культура мяты перечной. Кишинев: Штиинца, 1985. -166 с.
4. Рошка Н.Д., Мустяцэ Г.И., Тимчук К.С., Баранова Н.В., Железняк Т. Г., Ворнику З.Н. Мята как источник разнообразия ароматического и фармацевтического сырья // Биоразнообразие и устойчивое развитие: Материалы Третьей международной научно-практической конференции, Симферополь, 2014. - С. 309-311.
5. Методика полевых опытов по агротехнике эфиромасличных культур (сборник научных трудов). 1972. Симферополь. 150 с.
6. Гинзберг, А.С., Упрощенный способ определения количества эфирного масла в эфирносоках. В: Химико-фармацевтическая промышленность. № 8-9, 1932. С. 326-329.

### STUDYING THE GENOTYPICAL DIVERSITY OF THE MINT COLLECTION OF NON-MENTHOL DIRECTION

T. G JELEZNIAC., N. V BARANOVA., Z. N. VORNIKU

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection (IGFPP) of Moldova, Chisinau, galinajelezneac@gmail.com*

**Abstract.** The results of studies of genotypic diversity of the collection of mint of non-menthol direction on the main morphological and economically useful traits are presented. The object of research was four varieties of mint form *Menta spicata*: Linalool, Karvonnaya, Lavender and Bergamotnaya. Determined the yield of fresh raw materials and dry leaves, the content and collection of essential oil.

The most productive were the varieties of mint Linaloololnaya and Lavender, showing the yield of dried raw materials - 3.60 t / ha and 3.53 t / g. The smallest indicator is in the Karvonnaya variety - 3.25 t/ha. The variety of Bergamotnaya mint showed an average result, 3.28 t/ha of dried raw materials. But it is especially prized for its spicy-citrus bergamot scent, which contains slightly spicy notes. In terms of essential oil content, the Linalool mint sample was also the best, 1.167% in dried raw materials and 2.669% in dry leaves. The collection of essential oil was 42.0 kg / ha and 27.4 kg / ha, respectively. In the next sample of Karvonnaya mint, these indicators were at the level of 1.079% and 2.255% and 35.1 kg / ha and 24.9 kg / ha.

**Keywords.** Mint non-menthol, essential oil, productivity indicators.

**ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИМ МИКРОУДОБРЕНИЕМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОРОСТКОВ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ К ЗАСОЛЕНИЮ ПОЧВЫ**Р.И. ЗАЙЦЕВА<sup>1</sup>, Л.М. АНИКИНА<sup>2</sup>, А.С. ФРИД<sup>1</sup>, Н.И. СОКОЛЕНКО<sup>3</sup>, Н.М. КОМАРОВ<sup>3</sup>, Г.Г. ПАНОВА<sup>2</sup><sup>1</sup>ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, [elrish@yandex.ru](mailto:elrish@yandex.ru);<sup>2</sup>ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),Санкт-Петербург, [gaiane@inbox.ru](mailto:gaiane@inbox.ru);<sup>3</sup>Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск Россия.

**Аннотация.** В целях разработки экологически безопасных технологий повышения адаптации растений к различным стрессовым условиям, исследовано влияние обработки семян сортов озимого ячменя двуручки Шторм и Валерий тестируемым кремнийсодержащим хелатным микроудобрением КХМ-Г на состояние растений при их выращивании на почве с различным уровнем засоления. Выявлены концентрации препарата КХМ-Г с положительным воздействием на выживаемость и биопродуктивность растений ячменя исследуемых сортов на ранних этапах роста и развития и их устойчивость к засолению почвы.

**Ключевые слова:** кремнийсодержащее микроудобрение КХМ-Г, озимый ячмень, солеустойчивость, засоление почвы, рост проростков, выживаемость, биопродуктивность.

**Введение**

Проблема поиска эффективных способов и средств повышения устойчивости сельскохозяйственных культур к засолению почвы является одной из приоритетных, особенно в аридных зонах (Удовенко, 1977; Ермаков, 2009; Shahid et al., 2018). Наряду с созданием сортов и гибридов, более адаптированных к условиям засоления почв, проводятся работы по разработке и изучению механизмов действия экологически безопасных агротехнологических средств повышения стрессоустойчивости растений. Они должны обладать необходимыми свойствами и проявлять функции осмотической регуляции, поддержания тургора клеток, преодоления окислительного стресса ROS (активные формы кислорода). К настоящему времени известна положительная полифункциональная роль гуминовых веществ в прямом и опосредованном действии на сельскохозяйственные культуры, обеспечивающих повышение структурированности почв, снижение доли свободных катионов металлов и их токсичности посредством связывания в составе органо-минеральных комплексов почв или в составе ГВ, выступающих в роли хелатирующих веществ и, одновременно, активаторов роста и развития растений (Кауа et al., 2018; Ali et al., 2020). Также показана положительная разнообразная роль синтетических регуляторов роста (Циркон, Ивин, Биосил, брасиностероиды, жасмоновая, салициловая кислоты, β-аминомасляная кислота и др.) в повышении стрессоустойчивости растений (Тютерев, 2015; Жижина с соавт., 2019), а также микробиологических препаратов (Байкал-М, и др.), обеспечивающих связывание солевых ионов в составе сидерофоров и улучшающих состояние растений (Liang et al., 2005; Vejan et al., 2016; Воеводина, Балакай, 2017; Shahid et al., 2018; Siyar et al., 2019). Наряду с этим показана важная роль селена и кремния в повышении устойчивости растений к стрессам различной природы, включая засоление почв. Выявленные механизмы повышения солеустойчивости культурных растений посредством обработки селенсодержащими препаратами: снижение накопления ионов Na<sup>+</sup> в клетках и органах растений за счет сверхэкспрессии Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>-антипорта, хелатирование и усиление антиоксидантной защитной системы растений, компартментализация Na<sup>+</sup>, регуляция экспрессии генов транспортеров ионов Na<sup>+</sup> и Cl<sup>-</sup>. Однако проявление устойчивости растений к засолению зависит также от природно-климатических условий, продолжительности солевого стресса, генетически обусловленного адаптивного потенциала растений и многого другого.

Сходные механизмы повышения устойчивости растений к засолению почв отмечаются и для кремнийсодержащих соединений (Bybordi, 2010). Было показано, что кремний снижает поглощение и транслокацию  $\text{Na}^+$ , улучшает водный статус растений (Romero-Arnada et al., 2006), повышает фотосинтетическую активность листьев (Shu, Liu, 2001), а также эффективно смягчает окислительный стресс, вызванный засолением, путем повышения активности антиоксидантных ферментов и поддержания повышенного количества соединений - антиоксидантов (Liang et al., 2005; Rios et al., 2017}, уменьшает негативный эффект специфических ионов путем активизации Н-АТФазы (Sheng et al., 2018). Осаждение кремния в клеточных стенках может способствовать улучшению переноса питательных веществ через мембрану (Диагностика..., 1988). Наряду с этим установленное под его влиянием повышение экспрессии генов аквапорина (PIP) взаимосвязано с увеличением гидравлической проводимости корней и поглощения воды растениями. Эффективность влияния кремния в условиях стресса во многом зависит от его формы и доступности для растений. Как известно, каталитическая активность комплексно связанных микроэлементов, включая кремний, возрастает в сотни и более раз. Это дает возможность снизить концентрацию действующего вещества в растворе для обработки растений и исключить избыточное накопление микроэлементов в растениях.

Разработанные в Агрофизическом институте кремнийсодержащие хелатные микроудобрения (КХМ, КХМ-Г, КХМ-А, представляют собой органо-минеральные композиции различного состава, в которых кремний представлен в виде водного раствора метасиликата или силиката натрия/калия (в расчете на содержание  $\text{SiO}_2$  не более 100 мг·л<sup>-1</sup> раствора), а в качестве хелатообразователя применены лимонная кислота или гуматы, выделенные оригинальным способом из верхового торфа низкой степени разложения, в сочетании с основными микроэлементами (Панова с соавт., 2012). В серии лабораторных, вегетационных и полевых экспериментов на широком спектре сельскохозяйственных культур нами показано, что созданные препараты КХМ-Г и КХМ-А обладают комплексом полезных свойств для растений, выполняя функции биостимуляторов, адаптогенов и фитопротекторов, и при некорневой обработке обеспечивают повышение устойчивости и продуктивности агрофитоценозов (Панова с соавт., 2012).

В данной работе нами впервые исследовалось влияние предпосевной обработки семян растворами кремнийсодержащих хелатных микроудобрений КХМ-Г на устойчивость растений на ранних этапах их развития к засолению почв.

### **Объекты и методы исследования**

В нашем исследовании были задействованы новые сорта озимого ячменя двуручки Валерий и Шторм, созданные в лаборатории отдаленной гибридизации Северо-Кавказского ФНАЦ. Они имеют селекционно-хозяйственные ценные признаки и адаптированы к почвенно-климатическим и агротехническим условиям Северо-Кавказского региона и наряду с целым рядом сортов внесены в Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (Комаров с соавт., 2014). Сорт Валерий по данным Госсортокмиссии обеспечил в 2019 г. максимальную урожайность в Ставропольском крае – 110, 8 ц/га. Максимальная урожайность сорта Шторм составила в 2018 г. – 88,9 ц/га. Оба сорта относятся к группе среднеспелых.

В серии лабораторных экспериментов оценивали реакцию этих сортов озимого ячменя на обработку семян тестируемыми кремнийсодержащими хелатными микроудобрениями КХМ-Г при последующем проращивании на почве с различным уровнем засоления. Использовалась почва горизонта  $A_1$  чернозёма обыкновенного (Ставропольский край), среднесуглинистая, содержание гумуса 3,1 %; рН-6,4; МГ 8,4%. Почву засоляли хлоридом и сульфатом натрия при

отношении мг-экв. анионов  $Cl^-/SO_4^{2-} = 0,5$  (хлоридно-сульфатный химизм). Степень засоления для четырех вариантов опыта в % составляла: 1,0; 1,25; 1,4 и 1,5 при  $W=27,5\pm 0,5\%$  и осмотическом давлении влаги (P): -14,2; -17,8; -19,0; -23,2 атм. Предельное  $P_0$  для прорастания семян обоих сортов близко к -30 атм.

Осмотическое давление почвенного раствора определяли криоскопическим методом с измерением понижения температуры замерзания термометром Бекмана с отсчетом до 0,01 °C в образцах почвы, подготовленных для посева, и в почвах после окончания опыта (табл. 1).

Давление рассчитывали по формуле:

$$H = \frac{L_j \Delta t}{Tg},$$

где H – высота столба воды в см, эквивалентная всасывающей силе; T – абсолютная температура в °C; g – гравитационное ускорение ( $981 \text{ эрг} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ );  $L_j$  – скрытая теплота замерзания воды в почве ( $3,336 \cdot 10^9 \text{ эрг} \cdot \text{г}^{-1}$ );  $\Delta$  – истинная величина понижения точки замерзания воды в почве [6].

**Таблица 1.** Показатели засоления почвы в вариантах опыта с обработкой семян озимого ячменя кремнийсодержащим микроудобрением КХМ-Г

Внесено солей г/100 г почвы (%)	Состав солей: NaCl (1)+ Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (2) г/100 г почвы	Влажность почвы, %		Понижение точки замерзания, °C		Осмотическое давление почвенного раствора, -P, атм	
		заданная	в конце опыта	до посева	в конце опыта	до посева	после срезки растений
1,0	0,36 + 0,64	27,9	24,73	-1,10	-1,23	-13,3	-14,8
1,25	0,45 + 0,80	27,9	25,42	-1,47	-1,56	-17,7	-18,8
1,5	0,54 + 0,96	27,7	26,26	-1,92	-1,92	-23,1	-23,1
1,75	0,63 + 1,12	27,9	26,75	-2,13	-2,13	-25,7	-25,7

Обработка семян проводилась растворами КХМ-Г в трех концентрациях: 0,002%, 0,004%, 0,008 % и осуществлялась посредством перемешивания в растворах в течение 5 минут. Контролем служили семена растений, обработанных аналогичным образом  $H_2O_{\text{дист}}$ . После обработки семена высушивали. После этого семена каждого варианта обработки высевали в четыре стеклянных емкости в слой почвы 3–4 см с указанной степенью засоления и выращивали проростки во влажных эксикаторах при комнатной температуре на протяжении 14 суток (ячмень сорта Шторм) и 21 день (ячмень сорта Валерий). По окончании эксперимента измеряли высоту растений, определяли сырую и сухую биомассу, сухое вещество в срезанных растениях в вариантах опыта согласно методикам [2]. Статистическую обработку данных проводили с применением программ Excel 2010. Определяли средние значения изучаемых показателей, доверительные интервалы. Достоверность различий между вариантами оценивали методами параметрической (t-критерий Стьюдента) статистики с использованием метода дисперсионного анализа.

### Результаты и обсуждение

**Влияние фактора засоления на растения.** Оценка влияния факторов воздействия на семена и проростки растений озимого ячменя двух сортов свидетельствует о более значимом действии степени засоления почвы по сравнению с обработкой КХМ-Г (табл. 2, 3). Так, на примере сырой биомассы показано, что в общей сумме квадратов отклонений признака, принятой за единицу, доля влияния фактора 1 (засоления) составила 0,90763, фактора 2 (обработки семян растворами КХМ-Г) 0,05075 и ошибки – 0,019075. По F-критерию действие засоления на снижение биомассы

значимо на 5%-ном уровне значимости (вероятность 95%). Действие обработки семян растворами КХМ-Г в определенных концентрациях на увеличение биомассы значимо на 10%-ном уровне (вероятность 90%). С возрастанием уровня засоления почвы у контрольных растений озимого ячменя сорта Шторм, обработанных дистиллированной водой, снижается выживаемость на 11-33%, судя по процентной доли нормально проросших семян; наблюдается достоверное снижение высоты проростков (на 15-61%) и их сырой массы (на 16-48%) с максимально негативным эффектом при самом высоком уровне засоления (табл. 2). Практически при всех уровнях засоления, кроме 1,4%, наблюдается и достоверное снижение сухой массы проростков (на 17-28%). С увеличением уровня засоленности с 1,4 до 1,5 возрастает процентное содержание сухого вещества в надземной части растений, что косвенно указывает на уменьшение оводненности тканей растений в условиях засоления почвы.

У проростков озимого ячменя сорта Валерий также наблюдается достоверное снижение биометрических показателей проростков (на 61-62%), сырой массы (на 54-61%), сухой массы (на 52-58%) и тенденция к увеличению процентного содержания сухого вещества в растениях под действием засоления почвы (табл. 3).

**Влияние обработки семян препаратом КХМ-Г на растения в условиях засоления.** Анализ влияния предпосевной обработки семян кремнийсодержащими хелатными микроудобрениями на их всхожесть и ростовые характеристики проростков при выращивании на почве с различным уровнем засоления показал сортовые различия в реакции растений (табл. 2, 3). Так, озимый ячмень сорта Валерий показал более высокую отзывчивость на обработку семян растворами КХМ-Г по сравнению с озимым ячменем сорта Шторм. Обработка семян ячменя сорта Валерий растворами КХМ-Г во всех используемых концентрациях приводила к уменьшению негативного эффекта высоких уровней засоления на высоту проростков – в контрольных стрессовых вариантах высота растений снижалась на 61-62%, в вариантах с обработкой КХМ-Г – на 36-49%, на сырую массу растений – с 54-61%-ного снижения в стрессовых контрольных вариантах до 42-62%-ного – в вариантах с КХМ-Г, при этом наибольший положительный эффект наблюдался при его концентрации 0,008%. В варианте обработки семян КХМГ в данной концентрации выживаемость проростков не отличается от таковой в контроле без стресса.

Обработка семян ячменя сорта Шторм растворами КХМ-Г в концентрациях 0,008% и 0,004% показала более выраженный положительный эффект на проростки в вариантах с уровнем засоления почвы 1,0-1,5%, заключающийся в увеличении % нормально проросших семян (при засолении 1,0%), формировании более высоких по высоте (при засолении почвы 1,25-1,5%) и/или по сырой биомассе (при засолении почвы 1,25-1,4%), сухой биомассе (при засолении 1,0-1,5%) растений по сравнению с таковой в стрессовых контролях. Следует отметить также более высокие значения процентного содержания сухого вещества в растениях, семена которых обработаны КХМ-Г в концентрациях 0,004 или 0,008%.

Использование для обработки семян более низких концентраций КХМ-Г, а также обработка семян препаратом во всех испытываемых концентрациях при моделировании высокого уровня засоления 1,5% не обладает стимулирующим воздействием на растения и в отдельных сочетаниях даже приводит к снижению их биометрических показателей и массы.



**Таблица 2.** Влияние предпосевной обработки семян озимого ячменя сорта Шторм кремнийсодержащим микроудобрением КХМ-Г на биопродуктивность 14-дневных проростков при хлоридно-сульфатном засолении чернозёма обыкновенного

Показатели засоления почвы			Варианты обработки семян КХМ-Г и H <sub>2</sub> O	Нормально проросшие семена, %	Высота проростков по медиане, Н		Сырая биомасса 100 проростков		Сухая биомасса 100 проростков		Сухое вещество	
Внесено солей г/100 г почвы (%)	Состав солей: NaCl(1)+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (2) г/100 г почвы	Содержание хлора, %			мм	% от контроля	г	% от контроля	г	% от контроля	%	% от контроля
1.5	0.54 + 0.96	0.33	0.008% H <sub>2</sub> O	100	75 <sup>a</sup>	42 <sup>a</sup>	5.78 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	0.86 <sup>a</sup>	75 <sup>a</sup>	14.88 <sup>a</sup>	149 <sup>a</sup>
			0.004%	89	60 <sup>a</sup>	33 <sup>a</sup>	5.38 <sup>a</sup>	47 <sup>a</sup>	0.59 <sup>a</sup>	51 <sup>a</sup>	10.97	110
			0.002%	100	55 <sup>a</sup>	31 <sup>a</sup>	4.78 <sup>a</sup>	42 <sup>a</sup>	0.53 <sup>a</sup>	46 <sup>a</sup>	11.09	111
1.4	0.50 + 0.90	0.31	0.008% H <sub>2</sub> O	89	65 <sup>a</sup>	36 <sup>a</sup>	6.00 <sup>a</sup>	52 <sup>a</sup>	0.83 <sup>a</sup>	72 <sup>a</sup>	13.83 <sup>a</sup>	138 <sup>a</sup>
			0.004%	100	112 <sup>a</sup>	62 <sup>a</sup>	8.87 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>	0.88 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>	9.92	99
			0.002%	67 <sup>a</sup>	129 <sup>a</sup>	72 <sup>a</sup>	9.00 <sup>a</sup>	78 <sup>a</sup>	1.04	90	11.56 <sup>a</sup>	116 <sup>a</sup>
1.25	0.45 + 0.80	0.27	0.008% H <sub>2</sub> O	78 <sup>a</sup>	102 <sup>a</sup>	57 <sup>a</sup>	8.86 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>	1.09	95	12.30 <sup>a</sup>	123 <sup>*</sup>
			0.004%	100	111 <sup>a</sup>	62 <sup>a</sup>	9.28 <sup>a</sup>	81 <sup>a</sup>	0.89 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>	9.59	96
			0.002%	89	98 <sup>a</sup>	54 <sup>a</sup>	7.78 <sup>a</sup>	68 <sup>a</sup>	0.90 <sup>a</sup>	78 <sup>a</sup>	11.57 <sup>a</sup>	116 <sup>a</sup>
1.0	0.36 + 0.64	0.22	0.008% H <sub>2</sub> O	89	89 <sup>a</sup>	49 <sup>a</sup>	7.50 <sup>a</sup>	65 <sup>a</sup>	0.81 <sup>a</sup>	70 <sup>a</sup>	10.80	108
			0.004%	100	104 <sup>a</sup>	58 <sup>a</sup>	7.50 <sup>a</sup>	65 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>	59 <sup>a</sup>	9.07	91
			0.002%	100	152 <sup>a</sup>	84 <sup>a</sup>	9.88	86	0.91 <sup>a</sup>	79 <sup>a</sup>	9.21	92
0 (контроль)	-	-	0.004%	100	139 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>	9.89	86	0.99	86	10.01	100
			0.002%	89	148 <sup>a</sup>	82 <sup>a</sup>	11.25	98	1.10	96	9.78	98
			H <sub>2</sub> O	100	153 <sup>a</sup>	85 <sup>a</sup>	9.67 <sup>a</sup>	84 <sup>a</sup>	0.96 <sup>a</sup>	83 <sup>a</sup>	9.93	99
			H <sub>2</sub> O	100	180	100	11.50	100	1.15	100	10.00	100

<sup>a</sup> значение достоверно отличается от контрольного на 5%-ном уровне значимости

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

**Таблица 3.** Влияние предпосевной обработки семян озимого ячменя сорта Валерий кремнийсодержащим микроудобрением КХМ-Г на биопродуктивность 21-дневных проростков при хлоридно-сульфатном засолении чернозёма обыкновенного

Внесено солей г/100 г почвы (%)	Варианты обработки семян КХМ-Г и H <sub>2</sub> O	Содержание хлора, %	Высота проростков по медиане, Н		Высота проростков по медиане, Н		Сухая биомасса 100 проростков		Сухое вещество	
			мм	% от контроля	г	% от контроля	г	% от контроля	%	% от контроля
1.5	0.008%	100	90 <sup>a</sup>	56 <sup>a</sup>	6.00 <sup>a</sup>	48 <sup>a</sup>	0.66 <sup>a</sup>	53 <sup>a</sup>	11.02	110
	0.004%	56 <sup>a</sup>	94 <sup>a</sup>	59 <sup>a</sup>	6.80 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	0.69 <sup>a</sup>	56 <sup>a</sup>	10.15	102
	0.002%	89	85 <sup>a</sup>	53 <sup>a</sup>	4.75 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>	0.47 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>	9.89	99
	H <sub>2</sub> O	100	61 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>	4.78 <sup>a</sup>	39 <sup>a</sup>	0.52 <sup>a</sup>	42 <sup>a</sup>	10.79	108
	0.008%	100	100 <sup>a</sup>	63 <sup>a</sup>	6.22 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	10.93	109
1.4	0.004%	100	102 <sup>a</sup>	64 <sup>a</sup>	7.22 <sup>a</sup>	58 <sup>a</sup>	0.73 <sup>a</sup>	59 <sup>a</sup>	10.11	112
	0.002%	78 <sup>a</sup>	81 <sup>a</sup>	51 <sup>a</sup>	6.57 <sup>a</sup>	53 <sup>a</sup>	0.66 <sup>a</sup>	53 <sup>a</sup>	10.05	101
	H <sub>2</sub> O	78 <sup>a</sup>	62 <sup>a</sup>	39 <sup>a</sup>	5.70 <sup>a</sup>	46 <sup>a</sup>	0.59 <sup>a</sup>	48 <sup>a</sup>	10.42	104
0 (контроль)	H <sub>2</sub> O	100	160	100	12.40	100	1.24	100	10.00	100

<sup>a</sup> значение достоверно отличается от контрольного на 5%-ном уровне значимости

### Выводы

Таким образом, в условиях засоления почвы выявлено положительное влияние предпосевной обработки семян сортов озимого ячменя растворами разработанных нами кремнийсодержащих микроудобрений в концентрации 0,004 и 0,008% на выживаемость растений и их устойчивость к стрессу, судя по показателям их роста. Выявлены сортовые различия в реакции растений на обработку их семян препаратом КХМ-Г в условиях засоления почвы. Более отзывчивым на обработку растворами КХМ-Г оказался озимый ячмень сорта Валерий.

### Список литературы / References

1. Воеводина Л.А., Балакай Г.Т. Обзор новых направлений исследований по использованию микроорганизмов для повышения биопродуктивности засоленных земель // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 4(28), 2017 г., с.154–169.
2. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Методическое руководство. Под ред. Г.В. Удовенко. Л.: ВИР, 1988. 228 с.
3. Ермаков Е.И. Избранные труды. Изд-во ПИЯФ РАН. Санкт-Петербург. 191 с.
4. Жижина М. Н., Омельченко А. В., Васильева Н. А. Влияние засоления и регуляторов роста ивина и биосила на перераспределение фонда анаболитов в листьях растений томатов сорта Новичок розовый // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. Том 5 (71). 2019. № 2. С. 79–91.
5. Комаров Н.М., Соколенко Н.И., Зайцева Р.И., Зобнина Н.Л. Перспективные сорта зерновых культур селекции Ставропольского НИИСХ. Бюллетень СНИИСХ. Ставрополь: АГРУС, 2014. № 6. с. 106 –111.
6. Панова Г. Г., Аникина Л. М., Канаш Е. В., Удалова О. Р., Шибанов Д. В. Кремнийсодержащие хелатные микроудобрения в повышении устойчивости растений к действию стрессовых факторов // Агрофизика, 2012 № 3(7). С. 31–40.
7. Тютюрев С.Л. Экологически безопасные индукторы устойчивости растений к болезням и физиологическим стрессам // Вестник защиты растений 1(83) –2015, с. 3–13.
8. Удовенко Г.В. Солеустойчивость культурных растений. Л.: Колос, 1977. 214 с.
9. Ali A. Y. A., Ibrahim M. E. H., Zhou G., Nimir N. E. A., Jiao X., Zhu G., Yue W. (2020). Exogenous jasmonic acid and humic acid increased salinity tolerance of sorghum // Agronomy Journal. doi:10.1002/agj2.20072.

10. Bybordi A. Influence of NO<sub>3</sub>:NH<sub>4</sub> ratios and silicon on growth, nitrate reductase activity and fatty acid composition of canola under saline conditions // African Journal of Agricultural Research Vol. 5(15), pp. 1984–1992, 4 August, 2010 Available online at <http://www.academicjournals.org/AJAR> DOI: 10.5897/AJAR09.064.
11. Kaya C., Akram N. A., Ashraf M. & Sonmez O. (2018). Exogenous application of humic acid mitigates salinity stress in maize (*Zea mays* L.) plants by improving some key physicochemical attributes. *Cereal Research Communications*, 46, P. 67–78. <https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.064>.
12. Liang Y. C., Zhang W. H., Chen Q., Ding R. X. 2005. Effect of silicon on H<sup>+</sup>-ATPase and H<sup>+</sup>-PPase activity, fatty acid composition and fluidity of tonoplast vesicles from roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.) // *Journal of Environmental and Experimental Botany*, 53, P. 29–37.
13. Paul D., Lade H. Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: a review // *Agron. Sustain. Dev.* 2014. V. 34. P. 737–752. DOI: 10.1007/s13593-014- 0233-6
14. Rios, J. J., Martínez-Ballesta, M. C., Ruiz, J. M., Blasco, B. & Carvajal, M. (2017). Silicon-mediated Improvement in Plant Salinity Tolerance: The Role of Aquaporins // *Frontiers in Plant Science*, 8.P. 1–10. DOI: 10.3389/fpls.2017.00948.
15. Romero-Arnada M. R., Jourado O., Cuartero J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effects on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology*, 163, 847–855.
16. Shahid S.A., Zaman M., Heng L. Soil Salinity: Historical Perspectives and a World Overview of the Problem // In: *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. – 2018. –Springer. – 164 p. DOI: 10.1007/978-3- 319-96190-3\_2.
17. Sheng H., Ma J., Pu J., Wang L. 2018. Cell wall-bound silicon optimizes ammonium uptake and metabolism in rice cells. *Annals of Botany* 122, P. 303–313.
18. Shu L. Z., Liu Y. H. 2001. Effects of silicon on growth of maize seedlings under salt stress. *Agro Environmental Protection*, 20, P. 38–40.
19. Siyar S., Inayat N., Hussain F. Plant growth promoting rhizobacteria and plants' improvement: a mini-review // *PSM Biol. Res.* 2019. V. 41. P. 1–5. URL: <https://www.journals.pspublishers.org/index.php/biolres/article/view/214>.
20. Vejan P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S., Boyce A.N. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability – a review // *Molecules*. 2016. V. 21, pii: E573. DOI: 10.3390/molecules21050573/

#### **EFFECT OF SEED PRETREATMENT WITH SILICON-CONTAINING MICRONUTRIENT FERTILIZER ON RESISTANCE OF WINTER BARLEY SEEDLINGS TO SOIL SALINIZATION**

R.I. ZAITSEVA<sup>1</sup>, L. M. ANIKINA<sup>2</sup>, A.S. FRID<sup>1</sup>, N.I. SOKOLENKO<sup>3</sup>, N. M. KOMAROV<sup>3</sup>, G.G. PANOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 7/2, Pyzhevski St., 109017, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Agrophysical Research Institute, 195220, Saint-Petersburg 14, Grazhdanskiy ave., Russia

<sup>3</sup>North-Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, 356241, Mikhailovsk, 49, Nikonova St., Stavropol Krai, Russia

**Annotation.** In order to develop ecologically safe technologies to improve the adaptation of plants to different stress conditions, the impact of seed treatment of varieties of two-handed barley Storm and winter barley Valery tested with SCM-H (silicon-containing chelate humic microfertilizer) is investigated on the condition of plants grown in soil with different levels of salinity. The concentrations of the preparation SCM-H with positive effect on the survival and bioproductivity of plants of barley varieties under investigation in the early stages of development and their resistance to the stress of salinization have been shown.

**Keywords.** SCM-H (silicon-containing chelate humic microfertilizer), winter barley, salinity resistance, soil salinization, seedling growth, survival, bioproductivity.

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАРАЖЕНИЯ МОЛДАВСКИХ СОРТОВ ПЕРЦА ФИТОПЛАЗМОЙ

И.А. ЗАМОРЗАЕВА, А.Г. БАХШИЕВ, Н.Г. ФОКША

Институт генетики, физиологии и защиты растений (ИГФЗР), Кишинэу, Молдова,  
izamorz@gmail.com

**Аннотация.** В докладе представлены результаты оценки инфекции «*Candidatus Phytoplasma solani*» в растениях четырех сортов сладкого перца *Capsicum annuum* молдавской селекции. Были проанализированы растения, выращиваемые в условиях теплицы и в полевых условиях. Заражение растений оценивали на стадии цветения-формирования плодов (середина июля) и на стадии созревания более 50% плодов (начало сентября). Для оценки применяли метод нестед ПЦР анализа с использованием специфичных для «*Ca. P. solani*» праймеров. В качестве матрицы использовалась тотальная ДНК, выделенная как из общей пробы листьев / плодов перца (по 12 растений на вариант) с применением реагента DNA-zol, так и из индивидуальных растений (плодоножек) перца с применением экспресс-метода кипячения образцов в растворе щелочи. Было обнаружено, что в середине жаркого засушливого лета 2020 года ни одно из проанализированных 96 растений перца не было заражено фитоплазмой. Фитоплазменная инфекция была зарегистрирована в начале сентября в растениях одного из четырех изученных сортов сладкого перца, причем только в случае выращивания их в поле. В теплице заражения перца фитоплазмой не наблюдалось даже в период массового созревания плодов, в начале осени, что, вероятнее всего, связано с особенностями выращивания растений в условиях закрытого грунта и ограниченной возможностью распространения инфекции насекомыми-векторами. Оценивая результаты проведенных исследований, можно сделать вывод, что в условиях выращивания перца на экспериментальном участке ИГФЗР в 2020 году не было выявлено значительного заражения растений фитоплазмой. Осенью, в период массового сбора плодов, инфекция «*Ca. P. solani*» была зарегистрирована всего у 4% растений перца, выращиваемых в условиях открытого грунта, и вообще не была обнаружена в перце, выращиваемом в закрытом грунте.

**Ключевые слова.** ‘*Candidatus Phytoplasma solani*’, сладкий перец, молекулярная диагностика.

### Введение

«*Candidatus Phytoplasma solani*» (группа 16SrXII) – одна из самых распространенных в мире фитоплазм. Фитоплазмы колонизируют флоэму и вызывают значительные потери в качестве и продуктивности многих культурных растений (Bertaccini, Duduk, 2009). «*Ca. P. solani*» – возбудитель столбура, болезни, которая поражает ряд сельскохозяйственных культур, включая растения семейства Solanaceae, в том числе растения перца (Jovic et al., 2019, Ivanova et al., 2017, Mitrovic et al., 2013). Более того, только «*Ca. P. solani*» была обнаружена в картофеле, томате, перце, баклажане и свекле при изучении и идентификации ряда фитоплазм, принадлежащих к группам 16SrI, 16SrV, 16SrVI, 16SrXII, в ассоциированных с картофелем овощных культурах в Румынии и на юге России (Ember et al., 2011), на территориях, расположенных близко к Молдове. Передается столбур насекомыми-переносчиками, такими как цикадки, листовые блошки и некоторые другие (Weintraub, Beanland, 2006). Сорняки, являющиеся промежуточными хозяевами, также играют существенную роль в распространении столбура (Bertaccini, Duduk, 2009; Ember et al., 2011).

Симптомы заражения пасленовых культур столбуром могут быть трудно различимыми, зачастую они сходны с симптомами других болезней растений, вызываемых вирусами или грибами (Ember et al., 2011). В связи с этим возникают трудности при распознавании причин заболевания. В настоящее время наиболее надежными методами идентификации фитоплазм являются молекулярные методы, в том числе основанные на различных техниках ПЦР, включая нестед ПЦР анализ с двумя парами специфичных праймеров (Gundersen, Lee, 1996).

### Объекты и методы исследования

Растения сладкого перца четырех молдавских сортов: Подарок Молдовы (ПМ), Филдеш (Ф), Эксчелент (Э) и Каолин (К), выращиваемые как в открытом, так и в закрытом грунте, оценивались

на присутствие «*Ca. P. solani*». Молекулярная диагностика проводилась в середине июля 2020 года, когда растения находились в основном на стадии цветения-зеленых плодов (поле) или зеленых плодов (теплица), а также в начале сентября, в период массового созревания более чем 50% плодов. Объем выборки для каждого варианта (каждый сорт в поле и в теплице) включал в себя по 12 случайно отобранных и пронумерованных растений. Таким образом, всего оценивали 96 растений на двух стадиях вегетации, причем как в условиях закрытого, так и открытого грунта было проанализировано по 48 растений.

ДНК для проведения диагностики заражения выделяли двумя методами. Во-первых, при помощи DNAzol-kit (Thermo Fisher Scientific) из смеси листьев (июль) либо плодов (сентябрь), собранных с 12 растений одного сорта, для первичной оценки присутствия фитоплазмы в исследуемых сортах. Затем, для определения доли (процента) зараженных фитоплазмой растений разных сортов был применен быстрый метод выделения ДНК (кипячение тонких срезов плодоножек в растворе щелочи) отдельно из индивидуальных плодов, собранных с тех же растений (Guo et al., 2003).

Нестед ПЦР проводили с двумя парами праймеров, специфичных к уникальной последовательности groE1 гена «*Ca. P. solani*», cpn421 F/R и cpn200 F/R (Zamorzaeva, 2015). Визуализация продуктов нестед ПЦР проводилась под УФ-светом после электрофореза в 1,5% агарозном геле в буфере TBE<sub>x</sub>1, рН 8,3, и окрашивания бромистым этидием. Размер полученного фрагмента определяли с помощью маркера длин фрагментов ДНК GeneRuler 100 bp.

### Результаты и обсуждение

Результаты молекулярной диагностики заражения сладкого перца продемонстрировали отсутствие «*Ca. P. solani*» в июле в растениях с формирующимися и сформировавшимися зелеными плодами, выращиваемых как в закрытом, так и в открытом грунте (рис. 1А, табл. 1). В период массового созревания плодов, в начале сентября, присутствие «*Ca. P. solani*» было отмечено в растениях только одного сорта, Подарок Молдовы, выращиваемых в полевых условиях (рис. 1Б). В теплице данный патоген не был диагностирован ни в одном из проанализированных методом нестед ПЦР растений как на более раннем, так и на позднем этапе развития. Визуальная оценка делянок перца в теплице и в поле не выявила растений с выраженными симптомами столбура. Это, прежде всего, может быть связано со сравнительно поздним заражением растений «*Ca. P. solani*», которое произошло на стадиях позднее формирования зеленых плодов. Дополнительно, это можно объяснить тем, что общая численность зараженных растений на делянках была крайне малой, о чем косвенно свидетельствует установленный факт присутствия фитоплазмы только в одном из четырех изученных сортов.

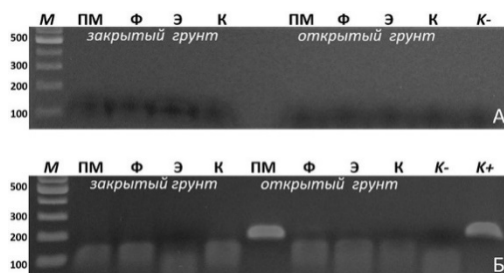


Рис. 1. Результаты молекулярной диагностики «*Ca. P. solani*» в растениях четырех сортов сладкого перца на двух периодах вегетации (А – июль; Б – сентябрь), выращиваемых в условиях закрытого и открытого грунта. М – маркер длин фрагментов ДНК; К- – отрицательный контроль амплификации; К+ – положительный контроль амплификации

Материалы III международной научной конференции  
 «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Для подсчета процентной доли инфицированных растений была проведена идентификация фитоплазмы методом нестед ПЦР анализа на ДНК, выделенной из индивидуальных растений. В данную часть исследования включили растения двух сортов: Подарок Молдовы, в котором было зарегистрировано наличие «*Ca. P. solani*» в период массового созревания плодов, и Филдеш в качестве независимого (незараженного) контроля. В результате молекулярной диагностики было выявлено всего два зараженных растения перца сорта Подарок Молдовы из 12 проанализированных (рис. 2А, табл. 1). Как и ожидалось, растений сорта Филдеш, инфицированных «*Ca. P. solani*», обнаружено не было (рис. 2Б).

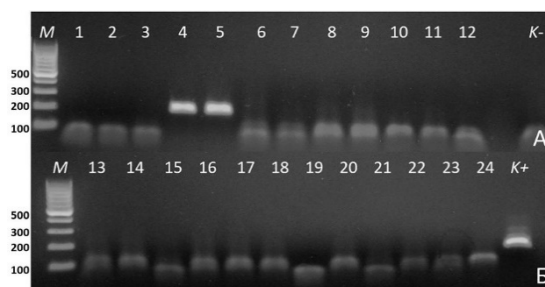


Рис. 2. Результаты молекулярной диагностики «*Ca. P. solani*» в индивидуальных растениях перца. 1–12 –растения сорта Подарок Молдовы (А); 13–24 – растения сорта Филдеш (Б). М – маркер длин фрагментов ДНК; К- – отрицательный контроль амплификации; К+ – положительный контроль амплификации.

Таким образом, нашими исследованиями было показано присутствие «*Ca. P. solani*» в растениях перца в период массового созревания плодов, выращиваемых в условиях открытого грунта. Однако, распространение столбура в поле оказалось незначительным: заражены фитоплазмой были всего 4% из всех проанализированных растений (табл. 1). Более того, данный патоген был обнаружен в растениях всего одного сорта, Подарок Молдовы, доля зараженных растений в котором не превышала 17%.

То, что в теплице заражения перца фитоплазмой не наблюдалось даже в период массового созревания плодов, в начале осени, вероятнее всего, связано с особенностями выращивания растений в условиях закрытого грунта и, особенно, с ограниченной возможностью распространения инфекции насекомыми-векторами. Хотя в литературе встречаются отдельные упоминания о возможности передачи фитоплазмы через семена у некоторых культурных растений (Calari et al., 2011), такое явление наблюдается скорее, как исключение, а не правило. Более того, наши исследования на молдавских сортах перца и томата показали, что растения, выращиваемые из зараженных «*Ca. P. solani*» семян, были здоровы (Zamorzaeva, Bahsiev, 2020).

Таблица 1. Количество / доля растений перца, зараженных «*Ca. P. solani*» при выращивании в открытом грунте

Сорт	Проанализировано растений	Число зараженных растений		% зараженных растений, сентябрь
		июль	сентябрь	
Подарок Молдовы	12	0	2	17
Филдеш	12	0	0	0
Эксчелент	12	0	0	0
Каолин	12	0	0	0
<b>Всего</b>	<b>48</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>

## Выводы

В результате проведенных исследований было установлено, что «*Ca. P. solani*» присутствует на экспериментальном участке ИГФЗР в растениях сладкого перца в период массового созревания плодов при выращивании их в условиях открытого грунта. Однако, распространение фитоплазмы на поле было незначительным: доля зараженных растений составила всего 4%, причем данный патоген был диагностирован в растениях только одного из четырех исследованных сортов. На более раннем этапе развития растений, на стадии цветения-формирования плодов, фитоплазма на поле обнаружена не была. В условиях защищенного грунта, в теплице, «*Ca. P. solani*» вообще не была диагностирована ни в одном из проанализированных растений на обеих изученных стадиях вегетации.

## Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.11 «Длительное сохранение генетических ресурсов растений в геномном банке с использованием методов молекулярной биологии в тестировании состояния здоровья растительной зародышевой плазмы», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию Республики Молдова.

## Список литературы / References

1. Bertaccini A., Duduk B. Phytoplasma and phytoplasma diseases: a review of recent research // *Phytopathologia Mediterranea*. 2009. 48. P. 355-378. DOI: [https://doi.org/10.14601/Phytopathol\\_Mediterr-3300](https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-3300)
2. Calari A., Paltrinieri S., Contaldo N., Sakalieva D., Mori N., Duduk B., Bertaccini A. Molecular evidence of phytoplasmas in winter oilseed rape, tomato and corn seedlings // *Bulletin of Insectology*. 2011. 64 (Supplement). P. 157–158.
3. Ember I., Acs Z., Munyaneza J. E., Crosslin J. M., Kolber M. Survey and molecular detection of phytoplasmas associated with potato in Romania and southern Russia // *European Journal of Plant Pathology*. 2011. DOI: 10.1007/s10658-011-9759-5
4. Gundersen D.E., Lee I.-M. Ultrasensitive detection of phytoplasmas by nested-PCR assays using two universal primer pairs // *Phytopathologia Mediterranea*. 1996. 35 (3). P. 144–151.
5. Guo Y., Cheng Z-M., Walla J.A. Rapid PCR-based detection of phytoplasmas from infected plants // *HortScience*. 2003. 38 (6). P. 1134–1136. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.6.1134>
6. Jovic J., Tosevski I., Kristic O., Jakovljevic M., Kosovac A., Cvrkovic T., Mitrovic M. High genetic diversity of ‘*Candidatus Phytoplasma solani*’ infecting pepper in Serbia // *Phytopathogenic Mollicutes*. 2019. 9(1). P. 37–38. DOI: 10.5958/2249-4677.2019.00019.7
7. Ivanova G., Mitrev S., Arsov E. New evidence for the stolbur phytoplasma development in pepper in Republic of Macedonia // *Comptes rendus de l’Acad’emie bulgare des Sciences*. 2017. 70 (11). P. 1609–1616.
8. Mitrovic J., Pavlovic S., Duduk B. Survey and multigene characterization of stolbur phytoplasmas on various plant species in Serbia // *Phytopathologia Mediterranea*. 2013. 52(3). P. 434–441. DOI: 10.14601/Phytopathol\_Mediterr-11681
9. Weintraub P.G., Beanland L. Insect vectors of phytoplasmas // *Annual Review of Entomology*. 2006. 51. P. 91–111. DOI: 10.1146/annurev.ento.51.110104.151039
10. Zamorzaeva I. Creating primers for detecting phytoplasma infections in tomato plants // *Materials of X International Congress of Geneticists and Breeders*. Chisinau, Moldova. 2015. P. 26.
11. Zamorzaeva I., Bahsiev A. Lack of stolbur transmission by seeds in some moldavian tomato and pepper varieties // *Materials of International Scientific Symposium «Plant Protection – Achievements and Perspectives»*. Chisinau, Moldova. 2020. P. 359–363.

**MOLECULAR DIAGNOSTICS OF PHYTOPLASMA INFECTION IN MOLDAVIAN VARIETIES OF PEPPER**

I. A. ZAMORZAEVA, A. G. BAHSEV, N. G. FOCSA

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection (IGPPP), Chisinau, Moldova,  
izamorz@gmail.com*

**Abstract.** The report presents the results of assessing '*Candidatus Phytoplasma solani*' infection in plants of four Moldavian varieties of sweet pepper *Capsicum annum*. Plants grown in greenhouse and field conditions were analyzed. Infection in plants was assessed at the stage of flowering-fruit formation (mid-July) and at the stage of ripening of more than 50% of fruits (early September). For the evaluation, a nested-PCR assay with specific to '*Ca. P. solani*' primers was used. As a template, we used total DNA isolated from a pool of pepper leaves / fruits (12 plants per variant) with the DNA-zol, as well as from individual plants (peduncles) of pepper by the rapid alkaline boiling. It was found that in the middle of the hot, dry summer of 2020, none of the 96 analyzed pepper plants were infected with phytoplasma. Phytoplasma infection was registered in early September in plants of one of the four studied sweet pepper varieties, when they were grown in the field. In the greenhouse, phytoplasma infection in pepper was not found even during the period of mass ripening of fruits, at the beginning of autumn. This fact can be explained by the specificity of growing plants in greenhouse conditions and the limited possibility of the spread of infection by insect vectors. Evaluating the results of the study, it can be concluded that under the conditions of growing pepper in the experimental areas of the IGPPP in 2020, no significant infection of plants with phytoplasma was revealed. In autumn, during the period of mass harvesting of fruits, the '*Ca. P. solani*' was recorded in only 4% of pepper plants grown in the field and was not found at all in peppers grown under cover.

**Keywords.** '*Candidatus Phytoplasma solani*', sweet pepper, molecular diagnostics.



**РЕАКЦИЯ ЛИСТЬЕВ САМШИТА ВЕЧНОЗЕЛЁНОГО (*BUXUS SEMIPERVENSIS* L.) НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛООВОГО ШОКА КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ**

Н.В. ЗДИОРУК, Т.Х. РАЛЯ, Н.Н. ПЛАТОВСКИЙ

*Институт Генетики, Физиологии и Защиты растений,**г. Кишинев, Молдова, zdioruc-nina@mail.ru*

**Аннотация.** Определение механизмов устойчивости и адаптации растений к экстремальным факторам окружающей среды представляет интерес в связи с прогнозируемым глобальным потеплением климата. Ускоренным методом определения устойчивости растений может служить оценка их устойчивости к высоким температурам. Была исследована реакция листьев самшита вечнозеленого (*Buxus semipervensis* L.) к воздействию разного теплового шока (в диапазоне от 30°C до 61°C) в течение 5 минут. Определены температурные границы устойчивости в зависимости от сезонной адаптации по реакции фотосинтетической системы- II на действие теплового шока, а также по интенсивности восстановления индуцированных повреждений, вызванных им.

**Ключевые слова.** Самшит вечнозелёный (*Buxus semipervensis* L.), тепловой шок, термоустойчивость, фотосинтетическая система-II.

**Введение**

В физиологии растений под понятием «жизнеспособность растений» принято считать способность растения противостоять влиянию биотических и абиотических факторов среды. Уровень жизнеспособности растений определяют различными методами, но, в большинстве случаев, жизнеспособность определяется путем выдерживания растений в стрессовых ситуациях, когда напряженность действующего фактора, в отношении которого *испытывается жизнеспособность*, доводится до экстремальных пределов, переносимых организмом. (Гродзинский, 1983).

Одним из ускоренных методом определения жизнеспособности биологических систем к действию абиотических факторов среды может служить оценка их устойчивости к высоким температурам. Определение температурной чувствительности может быть оценено по разным параметрам - рост растения, продуктивность, интенсивность фотосинтеза и т. п. (Гродзинский, 1983). Граница температурной устойчивости может определяться по интенсивности фотосинтетического процесса листьев растения после воздействия на них теплового или холодного шока, вызванного разными температурами (фактор интенсивности). По скорости же восстановительного процесса фотосинтетической активности можно судить об интенсивности репарационных процессов и глубине индуцированных повреждений. Считается, что фотосинтез является одним из самых чувствительных физиологических процессов к действию любых экологических и антропогенных факторов, в том числе и температурных. Таким образом, температура окружающей среды непосредственно влияет на активность фотосинтетического аппарата растений, вызывая окислительный стресс и последующие нарушения метаболизма клеток.

Для исследования устойчивости растений к температурным изменениям наиболее перспективны вечнозеленые многолетние растения, поскольку они фотосинтезируют круглый год. Большой интерес в данном аспекте представляет самшит вечнозелёный (*Buxus semipervensis* L.). За длительный период эволюции он приобрел специфическую устойчивость, способствующую выживанию в различных неблагоприятных температурных условиях среды. Его можно использовать как растение-модель в оценке проблем выживания растений в стрессовых условиях и адаптационных возможностей организма. Вызываемое температурными стрессами накопление АФК приводит к повышению активности АФК - элиминирующих ферментов, таких как пероксидазы, каталазы, синтез фенольных соединений. Данные по изучению сезонных

изменений антиоксидантной активности в листьях самшита с определением степени воздействия экстремальных температур на активность пероксидаз показаны в работах (Кауш, Даскалюк, 2013), на суммарную активность перекись-расщепляющих соединений (Здиорук, 2017), фенольных соединений (Иванова, 2013).

Цель наших исследований состояла в определении температурных границ устойчивости *Vixus semipervensis* L. в зависимости от сезона вегетации растений по реакции фотосинтетической системы- II (ФС II) и интенсивности восстановления индуцированных повреждений листьев после действия на них теплового шока.

### **Объекты и методы исследования**

Листья самшита (*Vixus semipervensis* L.) двухлетнего возраста отбирали с середины побегов в разные сезоны года (зима, весна, лето, осень). Отобранные листья подвергали действию разных доз *теплового шока* (ТШ) путем погружения их в дистиллированную воду, нагретую до необходимой температуры в ультра-термостате МТА KUTESZ 657 (Венгрия) (*фактор интенсивности*) в течение 5 минут. После воздействия ТШ изолированные листья размещали на поддонах, покрытых влажной фильтровальной бумагой, помещали в модифицированный воздушный термостат ТПС-1 (Одесса) и выдерживали при температуре 22°C-23°C, влажности воздуха 95–97 %, освещении от люминесцентных ламп при ФАР 50–55  $\mu\text{мол}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сек}^{-1}$  и фотопериоде 16 часов – свет, 8 часов – темнота (Dascaliuc et. al., 2007; Здиорук, 2017). Активность ФС II (Yield) определяли по эффективному квантовому выходу флуоресценции листьев контрольного и опытного образцов с помощью переносного флуориметра PAM-2100 фирмы Walz (Германия) непосредственно после воздействия ТШ, в середине восстановительного процесса (на 7-ой день) и в конце восстановительного процесса (на 14-ый день). Относительное значение активности ФС II рассчитывали, как отношение среднего значения Yield опытных образцов (подвергнутых воздействию ТШ) к среднему значению Yield контрольных образцов (не подвергнутых воздействию ТШ).

### **Результаты и обсуждение**

Рост и выживание растений во многом зависят от термотолерантности фотосинтетических процессов. Нагревание с последующим охлаждением приводит к разрушительным изменениям во многих физиологических процессах и нарушает сложную организацию тилакоидной мембраны, которая имеет высокое содержание ненасыщенных жирных кислот. Тилакоидная мембрана гетерогенна, её оптимальное состояние, когда липиды не повреждены и распределены должным образом. Квантовый выход флуоресценции является чувствительным индикатором изменений в тилакоидной мембране, вызванных стрессом. На Рис. 1. показана относительная активность ФС II листьев самшита, отобранных в разные сезоны года, непосредственно после воздействия ТШ разными температурами.

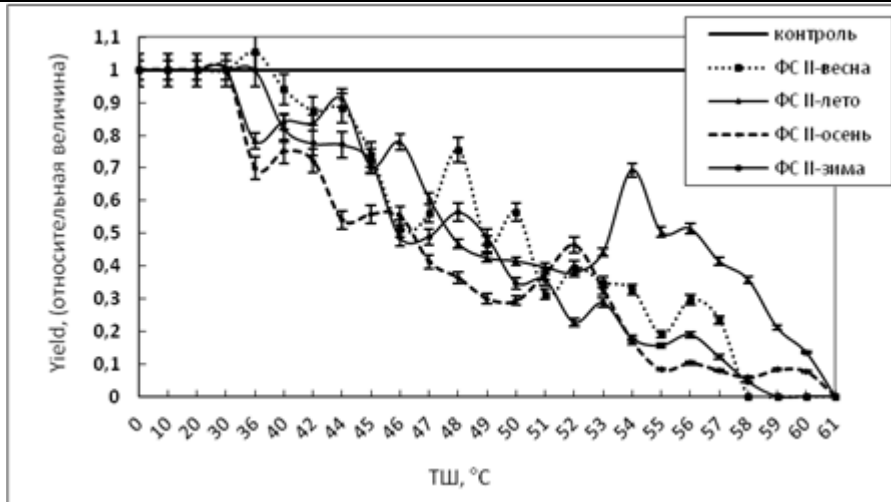


Рис. 1. Относительная активность ФС II листьев самшита, отобранного в разные сезоны года, непосредственно после воздействия ТШ различными температурами

Из Рис. 1 видно, что для положительных температур в пределах от 0 до 42°C эффективность ФС II максимальна и не претерпевает значительных изменений. Постепенное увеличение ТШ выше 42°C приводит к снижению активности ФС II от 1 до 0,3 для листьев всех сезонов года. Постепенное уменьшение активности ФС II с увеличением температуры свидетельствует о том, что для обеспечения устойчивости ФС II вовлекаются дополнительные источники энергии, затрагивающие процессы, обеспечивающие жизнеспособность растений. Об этом свидетельствуют и результаты исследования восстановительного процесса, представленные на Рис.2.

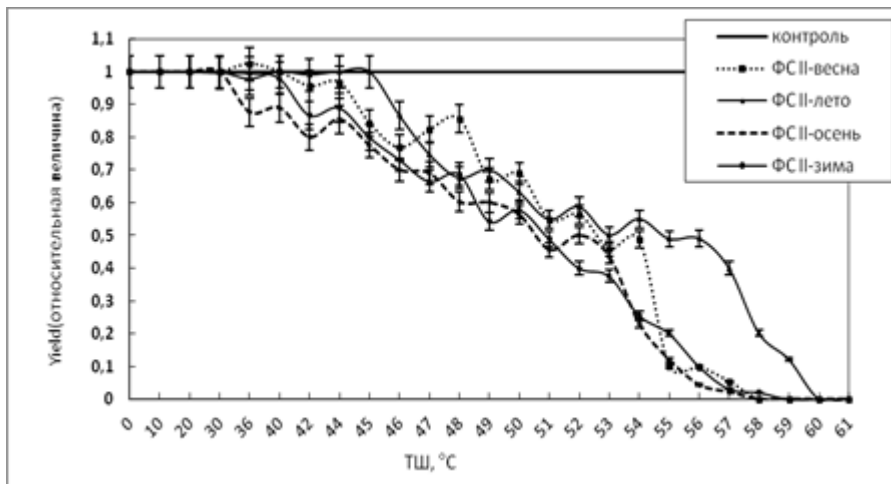


Рис. 2. Относительная активность ФС II листьев самшита, отобранных в разные сезоны года, на 7-й день восстановительного процесса после воздействия ТШ разными температурами

Из Рис. 2 следует, что после воздействия ТШ в пределах 30-48°C восстановление активности ФС II происходит тем интенсивнее, чем меньше повреждения, индуцированные действием ТШ. Таким образом, процессы, обеспечивающие жизнеспособность растений, быстро восстанавливают активность ФС II растений. Как видно из данных, представленных на Рис. 3 для восстановления более глубоких повреждений необходим более длительный период времени.

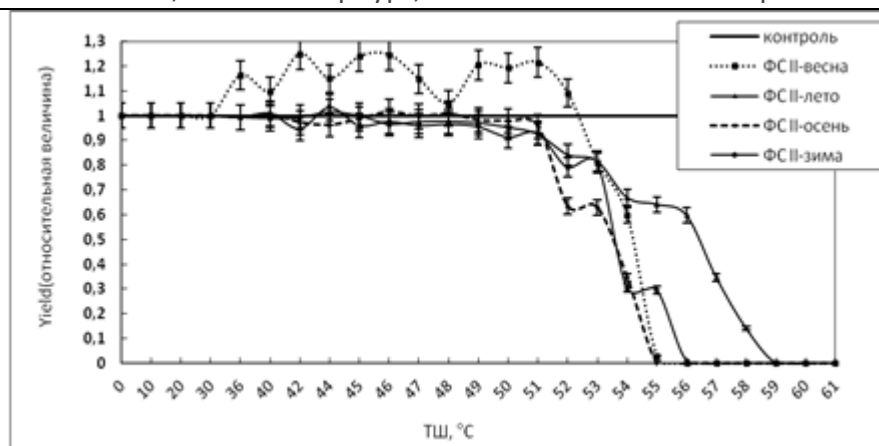


Рис. 3. Относительная активность ФС II листьев самшита, отобранных в разные сезоны года, на 14-й день восстановительного процесса после воздействия ТШ разными температурами.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что температурный шок индуцирует повреждения различной степени, вызывая изменения квантового выхода ФС II. По этим изменениям (Рис. 3) видно, что температуры, менее 52°C индуцируют повреждения, которые к 14-му дню восстановительного процесса полностью репарируются, и активность ФС II становится сравнима с таковой у контрольного варианта. Для каждого вида существует определенный температурный интервал - фоновая зона, пребывание в которой не изменяет устойчивости растений. Исследования показали, что для самшита диапазон оптимальных положительных температур распространяется до 45°C-50°C, что характеризует область надежности, когда растение чувствует себя относительно комфортно, справляясь со стрессом. Температуры, выше этого предела, начинают подавлять активность работы ФС II. При этом с повышением температуры подавление активности пропорционально увеличивается. Начало подавления фотосинтетической активности соответствует началу диапазона повышенных температур. Он специфичен тем, что наряду с первичной устойчивостью, жизнеспособность растений обеспечивается и восстановительным процессом. Для листьев самшита диапазон повышенных температур находится в пределах от 50°C до 54°C для зимних и осенних, от 50°C до 57°C для летних листьев. Постепенное повышение температур теплового шока увеличивает степень повреждений и, в конце концов, они становятся такими, что первичная устойчивость и восстановительный процесс уже не способны обеспечить восстановление активности ФС II. В нашем случае, критическими являются температуры 58°C -59°C для листьев самшита, отобранных летом, и 54°C -56°C для весенних, зимних и осенних листьев.

### Выводы

Устойчивость листьев самшита к действию температур теплового шока характеризуется первичной устойчивостью и устойчивостью, зависящей от интенсивности восстановительного процесса.

Активность ФС II может служить косвенным индикатором устойчивости растений к действию ТШ.

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы «20.80009.7007.07. Определение параметров, характеризующих устойчивость растений с разным уровнем организации к действию экстремальных температур с целью уменьшения влияния климатических изменений», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.

**Список литературы / References**

- Гродзинский Д. М. Надежность растительных систем. Киев. Наукова думка. 1983. с.9-18
- Здиорук Нина. Тепловой шок, активность окислительно-восстановительных процессов и фотосистемы II листьев *Buxus sempervirens* L./ Materialele conferinței științifice internaționale (Ediția a VI-a) „Genetica, fiziologia și ameliorarea plantelor”, 9-10 octombrie 2017. p.98-101
- Иванова Р. Сезонная динамика антиоксидантной активности клеточного сока листьев самшита./ Международная научно-практическая конференция «Клеточная биология и биотехнология растений». Минск. 2013. с.49
- Кауш М., Даскалюк А. Активность пероксидазы листьев самшита в зависимости от температурных колебаний окружающей среды / Международная научно-практическая конференция «Клеточная биология и биотехнология растений». Минск, 2013. С. 52
- Dascaluc A., Ralea T., Cuza P. Influence of heat shock on chlorophyll fluorescence of white oak (*Quercus pubescens* Willd.) leaves/ *Photosynthetica* 45(3),2007, p. 469-471

**REACTION THE BOXWOOD LEAVES (*BUXUS SEMIPERVENIS L.*) ON THE INFLUENCE OF HEAT SHOCK AS A CRITERION FOR ASSESSING THE HEAT RESISTANCE OF PLANTS**

N. V. ZDIORUK, T.H. RALEA, N.N. PLATOVSCII  
*Institute of Genetics, Physiology & Plant Protection,*  
*Chisinau, Moldova, zdioruc-nina@mail.ru*

**Abstract.** Determination of the mechanisms of resistance and adaptation of plants to extreme environmental factors is of interest in connection with the projected global warming of the climate. An accelerated method for determining the resistance of plants can be the assessment of their resistance to high temperatures. The reaction of the leaves of evergreen boxwood (*Buxus sempervirens* L.) to the effects of various heat shocks (in the range from 30 ° C to 61 ° C) for 5 minutes was studied. Temperature limits of resistance were determined depending on seasonal adaptation by the reaction of photosynthetic system-II to the effect of heat shock, as well as by the intensity of recovery of induced damage caused by it.

**Keywords.** Boxwood (*Buxus sempervirens* L.), heat shock, heat resistance, photosystem-II.

## РЕАКЦИЯ СОИ НА СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ СВЕТА В УПЛОТНЁННЫХ АГРОЦЕНОЗАХ И ВЫДЕЛЕНИЕ ГЕНОТИПОВ С ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ЗЕЛЁНОСПЕКТРОВОМУ ЗАТЕНЕНИЮ

С. В. ЗЕЛЕНЦОВ, Е. В. МОШНЕНКО

ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт  
масличных культур имени В. С. Пустовойта» (ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК),

Краснодар, [soya@vniimk.ru](mailto:soya@vniimk.ru)

**Аннотация.** Повышение продуктивности сои в уплотнённых агроценозах может быть реализовано путём выделения форм сои с повышенной интенсивностью теневого фотосинтеза за счёт увеличенного содержания хлорофилла  $\beta$ , отличающегося повышенной активностью поглощения в сине-зелёном и жёлто-зелёном областях видимого спектра света. На дифференцирующем гипоксическом фоне была выделена линия сои Д-4132 $\beta$  с более интенсивными спектрами поглощения ближнего синего ( $\approx 440$ – $450$  нм) и ближнего красного спектра ( $\approx 640$ – $700$  нм), что указывает на увеличенную долю хлорофилла  $\beta$  в общем балансе хлорофиллов. В уплотнённых агроценозах урожайность линии сои Д-4132 $\beta$  превышала материнский сорт сои Вилана на 0,32–0,69 т/га. В условиях интенсивного затенения сорными растениями эта линия также превышала по урожайности, в среднем, на 0,49 т/га, материнский сорт.

**Ключевые слова.** продуктивность сои, уплотнённый агроценоз, зелёноспектровое затенение, хлорофилл  $\beta$

### Введение

Соя является светолюбивым растением, и в уплотнённых агроценозах снижает свою продуктивность, в том числе, за счёт пониженной освещённости растений, и неоптимальным спектральным составом света (Garner, Allard, 1920; Енкен, 1959). Многочисленные исследования, как правило, подтверждают установленный ещё в начале XX века факт снижения продуктивности растений, выращенных в уплотнённых ценозах, по сравнению аналогичными показателями у растений, выращенных при разреженной густоте стояния или обособленно (Уго Торро Корреа, 2005; Ефимов, Уго Торо Корреа, 2005; Фёдоров и др., 2013).

Одним из основных факторов, снижающих продуктивность культурных растений, включая сою, в уплотнённых агроценозах, является снижение эффективности фотосинтеза за счёт взаимного затенения (Boardman, 1977; Fritschi, Ray, 2007). Основными фотосинтезирующими пигментами мезофилла листа у сои, как и у других высших растений, являются хлорофиллы  $\alpha$  и  $\beta$ . Доля хлорофилла  $\alpha$  в мезофилле листа составляет 45–75 % от всех фотосинтезирующих пигментов. Доля хлорофилла  $\beta$  – составляет 10–15 %. Спектры поглощения хлорофилла  $\alpha$  лежат в синей (420–430 нм) и красной (660–683 нм) части видимого спектра солнечного света. Световые волны зелёного спектра хлорофиллом  $\alpha$  практически не поглощаются. Основные спектры поглощения хлорофилла  $\beta$  лежат в сине-голубой (440–450 нм) и жёлто-оранжевой (640–650 нм) области видимого света. Отличительной особенностью хлорофилла  $\beta$  является его способность частично поглощать волны зелёного и инфракрасного спектра (Lichtenthaler, Wellburn, 1983; Fritschi, Ray, 2007; Медведев, 2012; Croft, Chen, 2012).

При полном развитии листового покрова и смыкании рядов в посевах сои фотосинтез на основе хлорофилла  $\alpha$  осуществляется, преимущественно, в листьях верхнего яруса, куда попадают и поглощаются волны синего и красного спектров прямого солнечного света. В нижние ярусы растений сои проникают световые волны, преимущественно, зелёного, диапазона видимого спектра (Boardman, 1977; Gitelson et al., 2016).

Таким образом, теневое освещение нижних ярусов листьев сои, преимущественно, зелёным спектром видимого света, может быть одной из основных причин пониженной продуктивности растений в загущенных или засорённых посевах, а также в нижних ярусах растений при оптимальной плотности агроценоза, но с плотно сомкнутым листовым покровом. Поэтому

одним из способов дальнейшего увеличения продуктивности сои может быть селекция на повышение фотосинтетической активности при зелёноспектровом затенении.

### **Объекты и методы исследования**

Исследования проводили в 2015–2019 гг. на базе ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК (г. Краснодар). Исходным дифференцирующим фоном для отбора форм сои с потенциально повышенным содержанием хлорофилла  $\beta$  послужило длительное подтопление посевов сои на специально подобранном участке поля, вызвавшее гипоксический эффект в виде блокировки синтеза и деградации хлорофилла  $\alpha$ . На этом фоне проводили скрининг 15 генотипов сои. Выделившиеся в условиях гипоксического стресса по признаку пониженной деградации хлорофиллов особи индивидуально размножали. Моделирование избыточного зелёноспектрового затенения потомств выделившихся особей с последующей оценкой спектров поглощения видимого света и зерновой продуктивности, проводили в полевых условиях формированием различной густоты стояния растений из расчёта 150, 250, 300, 500 и 700 тыс. раст./га в четырёхкратной повторности. Площадь отдельных делянок – 14 м<sup>2</sup>. На всех делянках проводили все предусмотренные технологической картой агротехнические приёмы, обеспечивающие, в том числе, полное отсутствие сорных растений. Дополнительно, все изучаемые сортообразцы сои при той же площади делянок и количестве повторностей, при густоте стояния растений из расчёта 300, 500 и 700 тыс. раст./га, оценивали в условиях избыточного засорения и затенения высокорослыми сорными растениями, моделируемыми полным отсутствием применения гербицидов, культиваций и ручных прополок в течение всего вегетационного периода сои. Спектры поглощения спиртовых вытяжек хлорофилла из листьев, оценивали с помощью дифракционного спектроскопа CLMG-7205 в агрегате с цифровой камерой. Статистический анализ проводили с использованием алгоритма однофакторного дисперсионного анализа данных по зерновой продуктивности изучаемых сортообразцов.

### **Результаты и обсуждение**

Поставленная задача увеличения продуктивности сои за счёт повышенной интенсивности теневого фотосинтеза при преимущественно зелёноспектровом освещении нижних ярусов растений в ценозе, может быть реализована путём селекционного выделения форм сои с увеличенным содержанием в мезофилле листьев хлорофилла  $\beta$ , отличающегося повышенной активностью поглощения в сине-зелёном и жёлто-зелёном областях видимого спектра света.

В 2015 г. через 7 суток после начала подтопления участка поля у вегетирующих растений сои в фазе цветения была отмечена выраженная гипоксическая деградация хлорофилла в виде пожелтения листьев и стеблей. Ещё через 7 суток была отмечена гибель всех изучаемых генотипов сои. Только в сорте сои Вилана было выделено 3 выживших растения, даже через месяц нахождения в условиях подтопления, сохранивших зелёную окраску листьев и фертильность цветков. После подсыхания почвы эти растения успешно завершили цветение и сформировали жизнеспособные семена.

Размноженные потомства выделившихся из сорта Вилана гипоксиустойчивых растений фенотипически не отличались между собой, и были объединены в одну линию под названием Д-4132 $\beta$ . Спектральный анализ спиртовых вытяжек хлорофиллов этой линии показал, что спектры поглощения ближнего синего ( $\approx 440$ – $450$  нм) и ближнего красного спектра ( $\approx 640$ – $700$  нм) были более интенсивны, что может указывать на увеличенную долю хлорофилла  $\beta$  в общем балансе хлорофиллов (рис. 1).

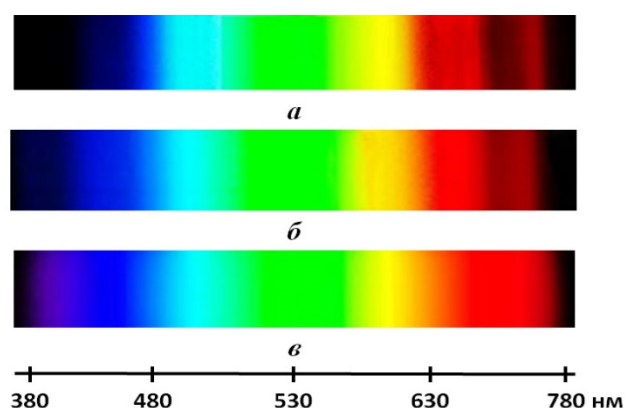


Рис. 1. Спектры поглощения спиртовых вытяжек хлорофиллов у линии Д-4132β (а) в диапазоне длин волн 380–780 нм видимого света, в сравнении со спектром поглощения хлорофиллов у исходного сорта Вилана (б), и полным солнечным спектром (в).

Существенных морфологических различий между фенотипами исходной материнской формы – сорта сои Вилана, и линией Д-4132β при различной плотности ценозов обнаружено не было. Однако при комплексной оценке этой линии при различной густоте стояния растений было установлено, что по продуктивности она превышает высокоурожайный среднеранний исходный сорт Вилана. При повышенной до 500–700 тыс. раст./га, густоте стояния растений урожайность линии Д-4132β превышала стандартный сорт на 0,32–0,69 т/га (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность теневыносливой линии сои Д-4132β в зависимости от густоты стояния растений при стандартной гербицидной технологии выращивания, т/га.

Сорт	Веget. период, сутки	Урожайность в 2018 г. при густоте стояния растений				Урожайность в 2019 г. при густоте стояния растений			
		250 тыс. раст./га	500 тыс. раст./га	700 тыс. раст./га	среднее по густотам	150 тыс. раст./га	300 тыс. раст./га	500 тыс. раст./га	среднее по густотам
Линия Д-4132β	121	1,94	2,10	2,08	2,04	2,96	3,30	3,55	3,27
Вилана (стандарт)	124	1,82	1,78	1,52	1,71	2,50	2,37	2,86	2,57
Отклонение от стандарта, ± Δ, т/га	-3	+0,12	+0,32	+0,56	+0,28	+0,46	+0,93	+0,69	+0,70
НСР <sub>05</sub>	–	0,18	0,21	0,20	–	0,21	0,21	0,20	–

В 2019 г. линию сои Д-4132β при различной плотности агроценозов выращивали без применения гербицидов, культивации и ручных прополок. В результате, уже к началу июня, в фазу бутонизации растений сои на данном опытном участке отмечалась очень высокая плотность засорения сои сорными растениями. К фазе созревания сои высота поздносозревающих сорных видов растений: амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.), канатника Теофраста (*Abutilon theophrasti* Medik.), мари белой (*Chenopodium album* L.) и подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus* L.) достигала 1,5–2,0 м при высоте растений сои 1,0–1,1 м, что существенно ограничивало прямое солнечное освещение даже верхних ярусов сои. Тем не менее, даже в условиях интенсивного затенения сорными растениями линия Д-4132β также достоверно



превышала, в среднем, в полтора раза, или на 0,49 т/га, материнский сорт Вилана по урожайности (таблица 2).

Таблица 2 – Продуктивность теневыносливой линии сои Д-4132β при различной густоте стояния растений на фоне избыточного засорения и затенения сорными растениями, 2019 г.

Густота стояния растений, тыс. шт./га	Урожайность, т/га		Отклонение признака у линии Д-4132β, ± Δ, т/га
	Вилана (стандарт)	линия Д-4132β	
250	0,85	1,44	+ 0,59
500	0,78	1,39	+ 0,61
700	1,36	1,62	+ 0,26
среднее	1,00	1,48	+ 0,49
НСР <sub>05</sub>	0,18	0,16	–

В 2019 г. линия Д-4132β под коммерческим названием «Вилана бета» была передана на Государственное сортоиспытание как первый в России сорт сои с повышенной устойчивостью к избыточному зелёноспектровому затенению, вызываемому увеличением густоты стояния растений сои, или повышенной плотностью сорных растений в агрофитоценозе.

### Выводы

В результате проведённых исследований по выделению генотипов сои с повышенной устойчивостью к зелёноспектровому затенению выведен теневыносливый сорт сои Вилана бета (линия Д-4132β), отличающийся повышенной выносливостью к избыточной густоте стояния и интенсивному затенению сорными растениями, что выражается в его повышенной урожайности в стрессовых по затенению условиях. Благодаря повышенному содержанию хлорофилла β, что подтверждается характеристиками спектра поглощения спиртовой вытяжки хлорофиллов, не требующего обязательного наличия аэробных условий для корневой системы, сорт Вилана бета также обладает повышенной выносливостью к длительному подтоплению и гипоксии корневой системы.

### Список литературы / References

- Garner W.W., Allard H.A. Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants // J. Agric. Res., 1920. V. 18. P. 553–606.
- Енкен В.Б. Соя. – М., Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1959. С. 238–242.
- Уго Торо Корреа. Фотосинтез. / В кн.: Соя. Биология и технология возделывания / Под ред. В.Ф. Баранова и В.М. Лукомца. – Краснодар, 2005. С. 25–29.
- Ефимов А.Г., Уго Торо Корреа. Плотность агроценозов сои. / В кн.: Соя. Биология и технология возделывания. / Под ред. В.Ф. Баранова и В.М. Лукомца. – Краснодар, 2005. С. 203–236.
- Федотов В.А., Гончаров С.В., Столяров О.В., Ващенко Т.Г., Шевченко Н.С. Соя в России. – М.: Агролига России, 2013. С. 264–278.
- Boardman N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. // Annu. Rev. Plant Physiol., 1977. Vol. 28. P. 355–377.
- Fritschi F.B., Ray J.D. Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio. // Photosynthetica, 2007. Vol. 45. P. 92–98. DOI:10.1007/s11099-007-0014-4
- Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. // Analysis, 1983. Vol. 603. P. 142–196.

Медведев С.С. Физиология растений. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. С. 86–87, 197–202, 225–227.

Croft H. Chen J.M. Leaf Pigment Content. / In: Comprehensive Remote Sensing; Liang, S., Ed.; Elsevier: Oxford, UK, 2018. P. 117–142. DOI:10.1016/B978-0-12-409548-9.10547-0

Gitelson A.A., Peng Y., Viña A., Arkebauer T., Schepers J.S. Efficiency of chlorophyll in gross primary productivity: A proof of concept and application in crops. // J. Plant Physiol., 2016. Vol. 201. P. 101–110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.05.019>

## SOYBEAN REACTION TO THE SPECTRAL COMPOSITION OF LIGHT IN CONDENSED AGROCENOSSES AND SELECTION OF GENOTYPES WITH INCREASED RESISTANCE TO GREEN-SPECTRAL SHADING

S. V. ZELENTSOV, E. V. MOSHNENKO

*V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar, Russia, soya@vniimk.ru*

**Abstract.** An increase in the productivity of soybeans in condensed agrocenoses can be realized by isolating forms of soybeans with an increased intensity of shadow photosynthesis due to an increased content of chlorophyll  $\beta$ , which is characterized by increased absorption activity in the blue-green and yellow-green regions of the visible light spectrum. On a differentiating hypoxic background, the soybean line D-4132 $\beta$  with more intense absorption spectra of the near blue ( $\approx 440$ – $450$  nm) and near red spectra ( $\approx 640$ – $700$  nm) was identified, which indicates an increased proportion of chlorophyll  $\beta$  in the total chlorophyll balance. In condensed agrocenoses, the yield of the soybean line D-4132 $\beta$  exceeded the parent soybean variety Vilana by 0.32–0.69 t / ha. Under conditions of intensive shading by weeds, this line also exceeded the parent variety in yield, on average, by 0.49 t / ha.

**Keywords.** Soybean productivity, condensed agrocenosis, green-spectrum shading, chlorophyll  $\beta$ .

## ДЕЙСТВИЕ ТЕПЛООВОГО СТРЕССА И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА МОБИЛИЗАЦИЮ РЕЗЕРВНЫХ ВЕЩЕСТВ СЕМЯН КУКУРУЗЫ ДЛЯ ПРОРАСТАНИЯ

Р. А. ИВАНОВА, А. Д. БОРОВСКАЯ, Н.Е. МАЩЕНКО

*Институт генетики, физиологии и защиты растений, Кишинев, Республика Молдова,  
ivanova\_raisa@yahoo.com*

**Аннотация.** Использование резервных веществ семенами кукурузы для прорастания может зависеть от различных факторов, включая генотипические и абиотические. Целью настоящей работы было изучение мобилизации резервных питательных веществ эндосперма во время прорастания семян и оценка эффективности их использования различными гибридами кукурузы в зависимости от воздействия сверхоптимальной температуры (50°C) и регулятора роста растительного происхождения – суммарного экстракта иридоидных гликозидов (генистифолиозида). Показано, что предварительная обработка семян регулятором роста способствовала повышению метаболической эффективности кукурузы, особенно при воздействии теплового стресса. Степень этого изменения в значительной мере зависела от гибрида кукурузы.

**Ключевые слова.** Кукуруза, семена, мобилизация резервных веществ, тепловой стресс, регулятор роста.

### Введение

Ускоренное изменение климата из-за повышения температуры создает дополнительные трудности и без того сложной работе селекционеров кукурузы. Многие исследования (Tivari & Yadav, 2019; Iqbal et al., 2020) сосредоточены на изучении устойчивости кукурузы к сверхоптимальным температурам как реакции на жару в полевых условиях. Результаты оцениваются на уровне многофакторной системы в неконтролируемых полевых условиях. По нашему мнению, определение внутренней устойчивости семян к сверхоптимальным температурам в контролируемых условиях, когда межгибридные различия имеют преимущественное влияние, позволит разработать экспресс методику выявления субординации гибридов по степени устойчивости к повышенным температурам. Известно (Воскобулова и др., 2016), что регуляторы роста растений применяются для усиления или ослабления выраженности основных свойств растений в онтогенезе, ускорения или замедления роста и развития растений, индукции корнеобразования и цветения, обеспечения дружного созревания урожая, улучшения его товарных качеств и повышения устойчивости растений к действию стрессовых факторов среды. Одним из таких регуляторов роста является суммарный экстракт иридоидных гликозидов (в дальнейшем генистифолиозид), полученный из надземной части льнянки дроколистной. Генистифолиозид - природный, нетоксичный препарат, повышающий полевую всхожесть, рост и урожайность кукурузы при предпосевной обработке семян (Иванова и др., 2020). Однако, влияние этого препарата на процессы восстановления семян после теплового стресса, в частности на мобилизацию резервных веществ и эффективность метаболизма, не было изучено. В связи с чем, целью данного исследования было изучение мобилизации резервных веществ из семян различных гибридов кукурузы, подвергнутых воздействию сверхоптимальной температуры и генистифолиозида.

### Объекты и методы исследования

Семена кукурузы четырех гибридов 374MRf (P374), 180MRf (P180), 427MRf (P427) и 458MRf (P458), которые различаются сроком созревания, размером семян и устойчивостью к действию сверхоптимальных температур, были получены в Институте растениеводства «Порумбень» (Республика Молдова). Масса 1000 семян составляла 305,35±5,39 г, 261,70±3,85 г, 270,05±4,84 г и 303,50±5,01 г, соответственно для гибридов P374, P180, P427 и P458.

Предварительно замоченные в воде на 24 часа семена подвергали тепловому стрессу при температуре 50°C в течение 30 минут. Проращивание интактных (контроль) и прогретых (опыт)

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

семян проводили в соответствии с положениями международных правил (ISTA, 2017). Через 7 дней прорастания определяли показатели лабораторной всхожести, проводили биометрические измерения (длину корней и стеблей) и оценивали сухую биомассу отдельных компонентов проросших семян (массу корней, проростков и семян). Из общей массы резервных веществ, мобилизованных из эндосперма семян для прорастания, часть используется для энергетической поддержки физиологических процессов и выводится путем дыхания. Количество резервных веществ, потраченное на дыхание (SMR, г/ед) рассчитывали следующим образом:

$$SMR = SMU - (RMU + EMU + SMG),$$

где: SMU – сухая масса семян до прорастания, г / ед; RMU – сухая масса корней, г / ед;

EMU – сухая масса проростков, г / ед; SMG – сухая масса семян после прорастания, г / ед.

Эффективность использования резервных веществ для прорастания семян или метаболическую эффективность (SME) определяли, как отношение сухой массы корней и проростков (г) к массе резервных веществ, потраченной на дыхание, согласно формуле (Sikder et al., 2009, Dascalu et al., 2020):

$$SME = (RMU + EMU) / SMR.$$

Исследовали влияние регулятора роста - генистифолиозида в концентрации 0,001% на эффективность использования резервных веществ для прорастания семян кукурузы, подвергшихся тепловому стрессу. Генистифолиозид (сумму иридоидных гликозидов) получали из надземной части растения *Linaria genistifolia* (L.) Mill согласно описанной схеме (Mascenco et al., 2015).

### Результаты и обсуждение

Влажность семян кукурузы после замачивания повышается на 15-20%. Начальная лабораторная всхожесть семян изученных гибридов составляла 96-100% и изменялась в зависимости от внутренней устойчивости гибрида к действию теплового стресса (рис.1). Из рис.1 видно, что реакция разных гибридов кукурузы на одну и ту же дозу теплового стресса была разной. Лабораторная всхожесть опытных семян изменялась в широком диапазоне, так для гибрида P427 всхожесть снизилась на 15-20%, а для гибрида P458 - на 40-45% (рис. 1А). Кроме того, после теплового стресса существенно изменились биометрические параметры корней и проростков всех опытных гибридов. Наиболее уязвимыми были корни, их длина в опытных образцах уменьшилась в среднем на 3-5 см по сравнению с контролем. Соответственно и соотношение длин корней и проростков сократилось в 1,27-1,48 раз (рис. 1В). Известно, что соотношение длин корней и проростков кукурузы для лучшей выживаемости растений должно быть  $\geq 1,5$ . В контрольных семенах этот показатель изменялся от 1,6 до 2,4. После термостресса только у одного (P374) их четырех гибридов сохранилось соотношение длин корней и проростков больше 1,5 (рис. 1В).

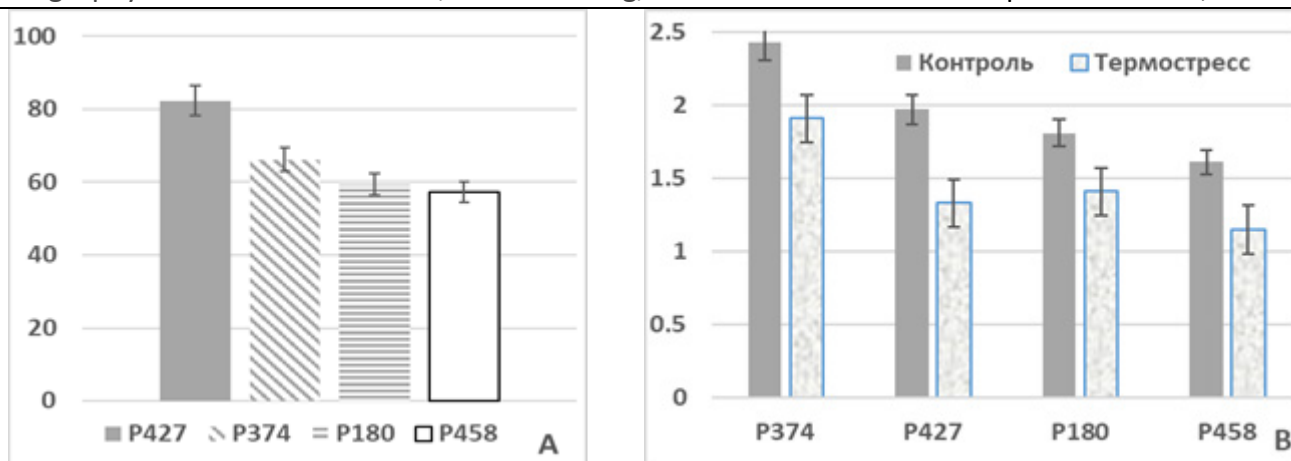


Рис. 1. Относительная лабораторная всхожесть (А) и соотношение длин корней и проростков (В) семян кукурузы после теплового стресса

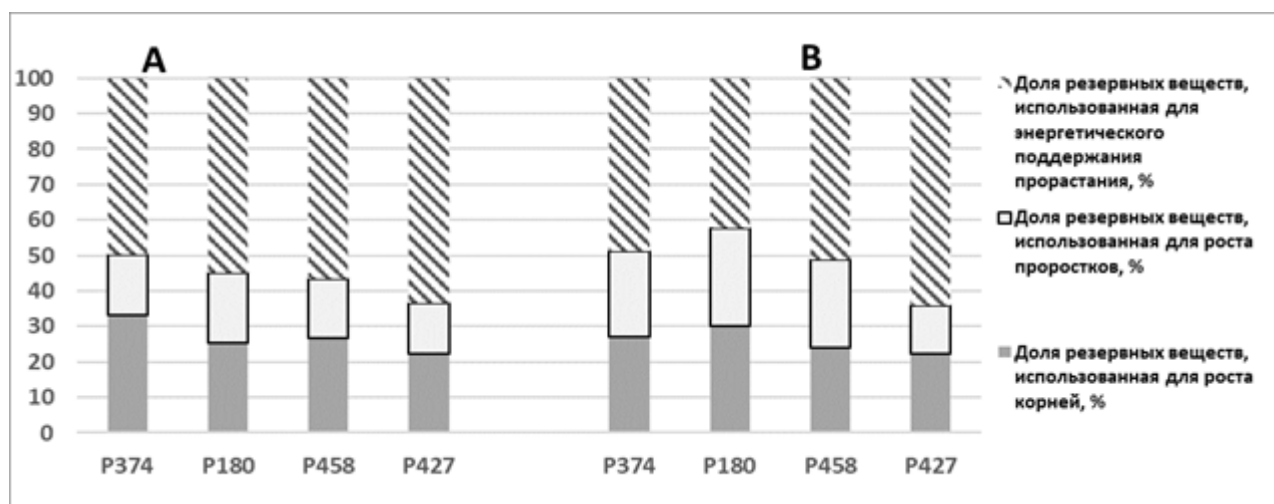


Рис. 2. Эффективность использования резервных веществ для прорастания семян: А – контроль; В - после теплового стресса.

Для всех гибридов характерно то (рис. 2А), что для роста зародышевых корней расходуется примерно в два раза больше резервных веществ, (22,36-33,22%), чем на развитие проростков (14,08-19,70%). Итак, суммарная доля резервных веществ эндосперма, которую используют гибриды для роста корней и проростков в контроле, варьировала в пределах 35-50%. Остальные 50-65% резервных веществ были израсходованы на дыхание в процессе прорастания (рис. 2А). После теплового стресса у трех гибридов (кроме Р427) суммарная доля резервных веществ, использованная для роста корней и проростков, увеличилась на 2-12% (рис. 2В). При этом, указанные гибриды характеризовались значительно возросшей после теплового стресса метаболической эффективностью (рис. 3). Это означает то, что у выжившей после термической обработки части семян существенно более интенсивно происходили процессы роста.

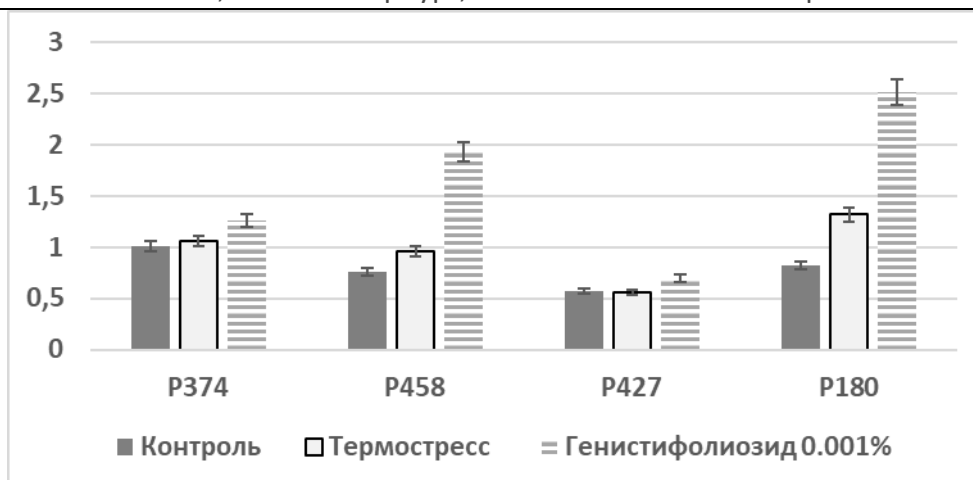


Рис. 3. Эффективность использования резервных веществ для прорастания семян интактных (контроль), после теплового стресса и обработанных генистифолиозидом.

Предварительная обработка семян кукурузы генистифолиозидом также способствовала более эффективному расходованию резервных веществ проросшими семенами всех тестируемых гибридов, подвергшимся воздействию сверхоптимальной температуры (рис. 3). При этом, метаболическая эффективность семян гибридов P458 и P180, предварительно обработанных генистифолиозидом, увеличилась почти в 2 раза после теплового стресса, а гибридов P374 и P427 – лишь на 18-22% (рис. 3). Таким образом, влияние генистифолиозида более существенно при обработке менее устойчивых к тепловому стрессу гибридов. Ранее нами было показано (Ivanova and Borovskaia, 2021), что препарат Молдстим, природный регулятор роста на основе капсикозида, также стимулировал восстановление семян кукурузы после теплового стресса и их прорастание наиболее эффективно для более уязвимого гибрида.

### Выводы

Лабораторная всхожесть семян кукурузы различных гибридов, подвергнутых тепловому стрессу при температуре 50°C в течение 30 мин, снижается в широком диапазоне от 15 до 45%.

Тепловой стресс оказывает значительное влияние на рост зародышевых корней, что существенно отражается на соотношении длин корней и проростков.

Природный регулятор роста растений – генистифолиозид способствовал повышению эффективности использования резервных веществ для прорастания семян кукурузы, подвергнутых тепловому стрессу, в зависимости от генотипических свойств гибрида.

### Благодарности

Авторы выражают признательность коллективу Института Растениеводства «Порумбень» (Республика Молдова) за предоставленные для исследований семена кукурузы. Работа выполнена в рамках Государственной Программы № 20.80009.7007.07 при финансовой поддержке Национального Агенства по Исследованиям и Развитию Республики Молдова (anecd.gov.md).

**Список литературы / References**

- Воскобулова Н.И., Неверов А.А., Верещагина А.С. Влияние регуляторов роста на прорастание семян кукурузы. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. С. 38-41.
- Иванова Р.А., Боровская А.Д., Машенко Н.Е. и др. Биорегуляторы роста в инкрустации семян на примере кукурузы. // Materiale ale Conferinței științifice naționale „Știința în nordul Republicii Moldova: probleme, realizări, perspective” (ediția a patra), 26-27 iunie 2020. Bălți : S. n. (Tipogr. «Indigou Color»). 2020. P. 60-65. ISBN 978-9975-3382-6-4.
- Dascaluic A., Jelev N., Ralea T., Parii Ia., Parii Iu. Mobilization of reserve substances of seeds for germination and growth of seedlings in wheat varieties with different frost resistance. // Buletinul Academiei de Stiinte a Moldovei. Stiintele Vietii. 2020. № 2(341). P. 67-72.
- Iqbal H., Yaning C., Rehman H. et al. Improving heat stress tolerance in late planted spring maize by using different exogenous elicitors. // Chilean J. Agricultural Research. 2020, Vol. 80(1). P. 30-40. DOI: 10.4067/S0718-58392020000100030.
- ISTA (International Seed Testing Association). International rules for seed testing. Chapter 5: The germination test. 2017 (1), 2017. DOI: <https://doi.org/10.15258/istarules.2017.05>.
- Ivanova R.A., Borovskaia A.D. Study of influence of bioregulator Moldstim on intrinsic resistance of maize to supra optimal temperatures. // The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology. Special Issue. Proceedings of International Scientific Conference «Plant Stress and Adaptation», 2021, Kharkiv, P. 193-194. ISSN 1992-4917.
- Mascenco N., Gurev A., Lupascu G., Gorinciol E. Iridoid glycosides from *Linaria genistifolia* (L.) Mill in biological control of soil-borne fungal pathogens of wheat and some structure consideration. // Chemistry Journal of Moldova. General, Industrial and Ecological Chemistry, 2015. Vol. 10 (1). P. 57-63. ISSN 1857-1727.
- Sikder S., Hasan M.A., Hossain M.S. Germination characteristics and mobilization of seed reserves in maize varieties as influenced by temperature regimes. // Journal of Agriculture and Rural Development. 2009. Vol. 7(1-2). P. 51-56. DOI: [org/10.3329/jard.v7i1.4421](https://doi.org/10.3329/jard.v7i1.4421).
- Tiwari Y.K., Yadav S.K. High temperature stress tolerance in maize (*Zea mays* L.): physiological and molecular mechanisms. // Journal Plant Biology. 2019. Vol. 62. P. 93–102. <https://doi.org/10.1007/s12374-018-0350-x>

**EFFECT OF THERMAL STRESS AND GROWTH REGULATORS ON MOBILIZATION OF RESERVE SUBSTANCES OF MAIZE SEEDS FOR GERMINATION**

R. A. IVANOVA, A.D. BOROVSKAIA, N.E. MASCENCO

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau, Republic of Moldova,*  
*ivanova\_raisa@yahoo.com*

**Abstract.** The use of reserve substances by maize seeds during germination can depend on various factors, including genotypic and abiotic ones. The aim of this work was to study the mobilization of reserve substances from endosperm during seed germination; and to evaluate the efficiency of their use by various maize hybrids depending on the effect of the supra-optimal temperature (50° C) and plant growth regulator - the total extract of iridoid glycosides (genistifolioside). It was shown that pretreatment of seeds with a growth regulator promoted an increase in the metabolic efficiency of maize, especially after exposure to thermal stress. The extent of this change was mainly dependent on the maize hybrid.

**Keywords.** Maize, seed, mobilization of reserve substances, thermal stress, growth regulator.

## СРАВНЕНИЕ СОСТАВА ПАТОГЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ В СЕМЕНАХ ТРИТИКАЛЕ МОЛДАВСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

З.К. ИГНАТОВА

*Институт генетики, физиологии и защиты растений (ИГФЗР), Кишинев, Молдова,  
zoia.ignatova@igfpp.md*

**Аннотация.** В данной работе описывается определение состава патогенной микрофлоры в семенах тритикале 3 сортов местной селекции: Ingen 40, Ingen 54 и Ingen 93, с использованием метода молекулярно-генетической идентификации (nested-PCR analysis). Исследовались образцы семян урожая 2019 и 2020 годов, выращиваемые на опытном участке ИГФЗР, на наличие некоторых патогенных микромицетов из р. *Fusarium*, *Penicillium* и *Alternaria alternata*.

Для идентификации патогенов видов *Fusarium oxysporum*, *F. verticillioides*, *F. avenaceum*, *F. equiseti*, *F. incarnatum*, *F. sporotrichioides*, *Penicillium chrysogenum* и *P. expansum*, *Penicillium brevicompactum* и *Alternaria alternata* были использованы специфичные праймеры, сконструированные в лаборатории молекулярной генетики ИГФЗР. Результаты ПЦР оценивали при помощи электрофоретического разделения продуктов амплификации в 1,5% агарозном геле.

Сравнивая присутствие анализируемых патогенов в образцах семян разных сортов по годам, установили, что представители р. *Fusarium* были идентифицированы только у сорта Ingen 93: в 2019 - *Fusarium avenaceum* и *Fusarium nivale*, а в 2020 - *Fusarium sporotrichioides*.

Тестирование образцов на фитопатогены рода *Penicillium* показало его наличие во всех пробах семян. *Penicillium chrysogenum* был идентифицирован в образцах семян сорта Ingen 40 урожая 2019 и 2020 годов, а также в семенах Ingen 93 и Ingen 54 сбора 2019 года и 2020 года, соответственно. Анализ семян на наличие *Penicillium expansum* показал присутствие фрагментов ожидаемой длины в 5 из 6 исследованных образцов.

Таким образом, применение тестирования ДНК тритикале методом nested-PCR позволяет идентифицировать наличие в семенах патогенной микрофлоры, что может предотвратить негативный эффект от их использования путем отбраковки, а также отследить появление патогенов во время вегетации растений тритикале в поле и принять необходимые превентивные меры.

**Ключевые слова.** Грибковые фитопатогены, тритикале, молекулярная диагностика.

### Введение

В последние годы устойчивость тритикале к болезням, вызванным грибными патогенами, снижается. Это можно объяснить постоянным расширением ареала выращивания и более длительным воздействием патогенов. Однако, по сравнению с пшеницей, тритикале все еще относительно устойчивая культура, но ее устойчивость неуклонно снижается из-за вышеупомянутых факторов (Arseniuk, Goral, 2015).

Патогенные микромицеты, поражающие мелкозерновые злаковые культуры, в том числе тритикале, могут атаковать растения во время вегетационного периода, сбора урожая, обмолота, а также в случае нарушения режима хранения семян. Одними из самых распространенных грибных патогенов, снижающих урожай зерновых культур и влияющих на качество зерна, являются представители рода *Fusarium*. Их вредоносность проявляется не только в прямых потерях урожая, но и в накоплении опасных для здоровья человека и животных метаболитов. Представители сапрофитной микрофлоры, такие как пенициллы, аспергиллы, альтернария и другие в определенных условиях способны паразитировать на зерне в период хранения семян, не только снижая их качество, но и синтезируя опасные для здоровья микотоксины (Frisvad et al., 2004; Pose et al., 2010). Поэтому актуальность определения токсикогенных грибов и продуцируемых ими микотоксинов признана во всем мире и регламентируется правилами Европейского сообщества, которые регулируют обязательный контроль микотоксинов в продуктах питания и кормах (Schmale, Munkvold, 2009).



Идентификация видового состава патогенных микромицетов в семенах зерновых культур с использованием метода ПЦР позволяет прогнозировать наличие токсинов в нем, а также избежать снижения урожайности путем отбраковки негодного семенного материала.

### Объекты и методы исследования

Тестирование тотальной ДНК на присутствие патогенных грибов, снижающих урожайность и качество зерна, проводилось с использованием метода nested-PCR. В качестве материала для экстракции тотальной ДНК использовались образцы семян тритикале 3 сортов на стадии полной спелости (GS-93): Ingen 40, Ingen 54 и Ingen 93, урожай 2019 и 2020 гг., выращиваемых на опытном участке ИГФЗР.

ДНК из семян выделяли и очищали по СТАВ-протоколу с модификациями.

Для идентификации патогенов видов *Fusarium oxysporum*, *F. verticillioides*, *F. avenaceum*, *F. equiseti*, *F. nivale*, *F. sporotrichioides*, *Penicillium chrysogenum*, *P. expansum*, *P. brevicompactum* и *Alternaria alternata* были использованы видоспецифичные праймеры, сконструированные в лаборатории молекулярной генетики ИГФЗР. Для проведения реакции амплификации был подобран оптимальный состав ПЦР-смеси. Реакционная смесь объемом 25 мкл содержала: 66 mM трис-HCl (pH-8,4), 16 mM (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 2,5 mM MgCl<sub>2</sub>, 0,1% Tween 20, 7 % глицерина, 100 мкг/мл BSA (Bovin Serum Albumin), по 0,2 mM каждого из dNTP, 2 единицы Taq-полимеразы, 5 pM праймера и 20 нг ДНК. ПЦР проводилась в два раунда (nested-PCR). Режим амплификации был следующим: I этап – 95°C, 3 мин. (денатурация ДНК). 2 этап: денатурация при 95°C (40 сек.), отжиг при 60°C (40 сек.), элонгация при 72°C (40 сек.); финальный синтез при 72°C (7 мин.). Число циклов как в первом, так и во втором раундах составляло 30.

Продукты амплификации оценивали при помощи электрофоретического разделения нуклеиновых кислот в 1,5% агарозном геле, окрашивали бромистым этидием и визуализировали в ультрафиолете (312 нм). В качестве молекулярного маркера использовался 100 bp DNA ladder (Thermo Fisher Scientific).

### Результаты и обсуждение

Первоначально семена тритикале оценивались на присутствие патогенов рода *Fusarium*. Тотальная ДНК, выделенная из семян 3 сортов урожая 2019 и 2020 гг., тестировалась на наличие патогенов *F. avenaceum*, *F. verticillioides*, *F. oxysporum*, *F. equiseti*, *F. nivale* и *F. sporotrichioides*. Результаты амплификации анализируемых видов рода *Fusarium* представлены на рисунках 1 – 3. В 2019 году были идентифицированы 3 из 6 проанализированных патогенов этого рода: *F. avenaceum*, *F. nivale* и *F. sporotrichioides* (рис. 1, 2), причем все они присутствовали в семенах сорта Ingen 93.

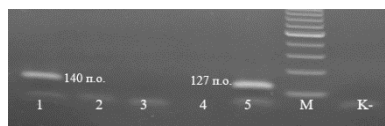


Рис. 1. Электрофореграмма результатов ПЦР видового состава патогенов рода *Fusarium* в семенах. Сорт тритикале Ingen 93, 2019. 1 – *F. avenaceum*; 2 – *F. verticillioides*; 3 – *F. oxysporum*; 4 – *F. equiseti*; 5 – *F. nivale*; М – маркер; К- – отрицательный контроль, H<sub>2</sub>O.

Аналогичный анализ на присутствие тех же патогенов был проведен в семенах урожая 2020 г. Видовой состав патогенов рода *Fusarium* отличался от такового в 2019 году.

Материалы III международной научной конференции  
 «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

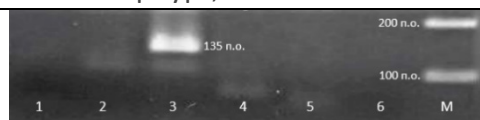


Рис. 2. Электрофореграмма результатов ПЦР вида *F. sporotrichioides* в семенах тритикале сбора 2019 г. (1-3) и 2020 г. (4-6): 1, 4 - Ingen 40; 2, 5 - Ingen 54; 3, 6 - Ingen 93; М – маркер.

Результаты диагностики грибов рода *Fusarium* в 2020 г. представлены на рисунках 2 и 3. В этом году был выявлен единственный патоген – *F. verticillioides*, на семенах тритикале сорта Ingen 93.



Рис. 3. Электрофореграмма результатов ПЦР видового состава патогенов рода *Fusarium* в семенах. Сорт тритикале Ingen 93, 2020. 1 – *F. avenaceum*; 2 – *F. verticillioides*; 3 – *F. oxysporum*; 4 – *F. equiseti*; 5 – *F. nivale*; М – маркер; К- – отрицательный контроль, H<sub>2</sub>O.

Анализ семян сбора 2020 г. выявил у всех 3 сортов тритикале *Penicillium* spp. и *Penicillium chrysogenum* (табл. 1). *P. expansum* присутствовал в этом году в семенах только одного сорта - Ingen 40, в то время как в 2019 г. – в семенах всех сортов (рис. 4).

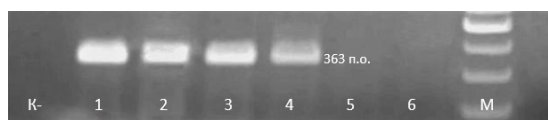


Рис. 4. Электрофореграмма результатов ПЦР ДНК *Penicillium expansum* в семенах тритикале, 2019 г. (1-3), 2020 г. (4-6): К- – отрицательный контроль, H<sub>2</sub>O; 1, 4 – Ingen 40; 2, 5 – Ingen 54; 3, 6 – Ingen 93; М – маркер.

Результаты диагностики семян тритикале на патоген *A. alternata* в 2019 показали его присутствие во всех 3 образцах, а в 2020 г. только в двух (табл. 1).

Суммарные результаты идентификации патогенов родов *Fusarium*, *Penicillium* и вида *A. alternata* по годам представлены в таблице 1.

Таблица 1. Видовой состав исследуемых патогенов родов *Fusarium*, *Penicillium* и вида *A. alternata* в семенах тритикале, 2019-2020 гг.

Патоген	2019			2020		
	Ingen 40	Ingen 54	Ingen 93	Ingen 40	Ingen 54	Ingen 93
<i>F. avenaceum</i>	-	-	+	-	-	-
<i>F. verticillioides</i>	-	-	-	-	-	+
<i>F. oxysporum</i>	-	-	-	-	-	-
<i>F. equiseti</i>	-	-	-	-	-	-
<i>F. nivale</i>	-	-	+	-	-	-
<i>F. sporotrichioides</i>	-	-	+	-	-	-
<i>Penicillium</i> spp.	+	+	+	+	+	+
<i>P. chrysogenum</i>	+	-	+	+	+	-
<i>P. expansum</i>	+	+	+	+	-	-
<i>P. brevicompactum</i>	-	-	-	-	-	-
<i>A. alternata</i>	+	+	+	+	-	+

Сравнивая присутствие анализируемых патогенов в образцах семян сортов по годам, можно увидеть, что представители рода *Fusarium* были идентифицированы только у сорта Ingen 93: в 2019 – *F. avenaceum* и *F. nivali*, а в 2020 – *F. sporotrichioides*. Тестирование тотальной ДНК на фитопатогены рода *Penicillium* показало наличие его во всех пробах семян. *P. chrysogenum* был идентифицирован в образцах семян сорта Ingen 40 урожая 2019 и 2020 годов, а также в семенах Ingen 93 (2019 г.) и Ingen 54 (2020 г.). *Penicillium expansum* был выявлен в образцах семян 3 сортов сбора 2019 и в 1 – 2020 года. Патоген *A. alternata* был обнаружен в 5 из 6 исследуемых образцах семян.

### **Выводы**

Исследуемые сорта тритикале весьма значительно отличаются по нагруженности семян изученными грибными патогенами. Наибольшее видовое разнообразие патогенов было выявлено у сорта Ingen 93 в 2019 году. Возможно, это связано с особенностями погодных условий в течении вегетации растений, а также особенностями содержания семян в зернохранилище. Данные по видовому составу изученных патогенов в семенах тритикале сорта Ingen 40 были идентичными как в 2019, так и в 2020 гг. На семенах сорта Ingen 54 не был диагностирован ни один из исследуемых представителей рода *Fusarium*.

Таким образом, применение тестирования ДНК тритикале методом nested-PCR с использованием специфичных праймеров позволяет идентифицировать наличие в семенах патогенной микрофлоры, что может предотвратить негативный эффект от их использования путем отбраковки, а также отследить появление патогенов во время вегетации растений тритикале в поле с тем, чтобы принять необходимые превентивные меры.

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.11 «Длительное сохранение генетических ресурсов растений в геномном банке с использованием методов молекулярной биологии в тестировании состояния здоровья растительной зародышевой плазмы», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию, Республики Молдова.

### **Список литературы / References**

- Arseniuk E., Góral T. Triticale biotic stresses – known and novel foes. Triticale 2015 Book, Agri-Food Canada Part II, P. 83-110.
- Frisvad J. C., Smedsgaard J., Larsen T. et al. Mycotoxins, drugs and other extrolites produced by species in *Penicillium* subgenus *Penicillium*. *Studies in Mycology*, 2004, 49, P. 201-241.
- Pose, G., A. Patriarca., V. Kyanko., A. Pardo and Fernandez Pinto V. 2009. Effect of water activity and temperature on growth of *Alternaria alternata* on a synthetic tomato medium. *Int. J. Food. Microbiol.* 135(1): P. 60-63.
- Schmale, D.G., and G.P. Munkvold. *Mycotoxins in Crops: A Threat to Human and Domestic Animal Health*, The Plant Health Instructor, 2009).

---

**COMPARISON OF THE COMPOSITION OF PATHOGENIC MICROFLORA IN SEEDS OF TRITICALE OF THE MOLDAVIAN BREEDING**

Z.C. IGNATOVA

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection (IGPPP), Chisinau, Moldova,  
zoia.ignatova@igfpp.md*

**Abstract.** Triticale as an artificially synthesized hybrid assumes a combination of high taste and nutritional qualities of wheat with the unpretentiousness and resistance of rye. However, in recent years, there is more and more data on the widening the spectrum of fungal pathogens in triticale plants, inherent in both wheat and rye, which lead to loss of yield and a decrease in the sowing quality of seeds. In addition, fungi contaminate grain with toxic metabolites which is very dangerous to health.

This work describes the determination of the composition of pathogenic microflora in seeds of triticale of 3 varieties of local breeding: Ingen 40, Ingen 54 and Ingen 93, by the method of molecular genetic identification (nested PCR analysis). We studied samples of the harvest of 2019 and 2020, grown in the experimental field of IGPPP, for the presence of some pathogenic micromycetes from g. *Fusarium*, *Penicillium* and *Alternaria alternata*.

To identify pathogens of the species *Fusarium oxysporum*, *F. verticillioides*, *F. avenaceum*, *F. equiseti*, *F. incarnatum*, *F. sporotrichioides*, *Penicillium chrysogenum* and *P. expansum*, *Penicillium brevicompactum* and *Alternaria alternata*, specific primers were designed and used in the Molecular Genetic Lab of IGPPP. The results of PCR were evaluated by electrophoretic separation of amplified products in 1.5% agarose gel.

Comparison of the presence of the analyzed pathogens in seed samples of different varieties allowed to find that representatives of the g. *Fusarium* were identified only in the Ingen 93 variety: in 2019 - *Fusarium avenaceum* and *Fusarium nivale*, and in 2020 - *Fusarium sporotrichioides*.

Testing for phytopathogens of the genus *Penicillium* showed its presence in all seed samples. *Penicillium chrysogenum* has been identified in seed samples of Ingen 40, harvests 2019 and 2020, and Ingen 93 and Ingen 54, harvests 2019 and 2020, respectively. Analysis of seeds for the presence of *Penicillium expansum* showed the presence of fragments of the expected length in 5 out of 6 studied samples.

Thus, the use of triticale DNA testing by the nested PCR method allows identifying the presence of pathogenic microflora in seeds, which can prevent the negative effect of their use by rejection. Moreover, it makes it possible to detect the appearance of pathogens during the growing season of triticale in the field and to take the necessary preventive measures.

**Keywords.** Fungal phytopathogens, triticale, molecular diagnosis.

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА И ПРОДУКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СОРТОВ САЛАТА *LACTUCA SATIVA* L. В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ**

М.М. ИГУМНОВА, А.М. АРТЕМЬЕВА

ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** Изучена урожайность и продолжительность вегетационного периода 14 образцов салата *Lactuca sativa* L. различных типов мировой коллекции ВИР в открытом и защищенном грунте на территории Пушкинских лабораторий ВИР (Санкт-Петербург). Выявлены сорта салата листового и полукочанного типов с высокой урожайностью для защищенного грунта, сорта кочанного типа и типа ромен для выращивания преимущественно открытом грунте.

**Ключевые слова.** Салат *Lactuca sativa* L., урожайность, вегетационный период, открытый и защищенный грунт Ленинградской области.

**Введение**

Салат посевной (*Lactuca sativa* L.) – популярная в мире овощная культура семейства Compositae = Asteraceae (Сложноцветные = Астровые). Салат не относится к стратегическим овощным культурам, но за счет его скороспелости, урожайности, холодостойкости, возможности выращивания в открытом грунте и различных культивационных сооружениях эта культура пользуется все большей популярностью в России. Для получения свежей продукции в различные сезоны необходим подбор сортов для конвейерного поступления продукции с учетом почвенно-климатических условий региона.

В связи с этим актуально изучение продолжительности вегетационного периода и урожайности различных типов салата в условиях Северо-Западного региона в ранний весенний период при выращивании в поликарбонатной теплице и в летний период в открытом грунте.

**Объекты и методы исследования**

Материал для изучения включал 14 образцов салата *Lactuca sativa* L.: шесть образцов кочанного типа, два полукочанного, три листового и три типа ромен. В набор включены образцы отечественных селекционных фирм Русский огород, Первые семена, Глобал сидс и зарубежных фирм Bejo Zaden, Enza Zaden (Нидерланды), Vilmorin (Франция), поступившие в коллекцию ВИР в последние пять лет.

Изучение проводили в НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Северо-запад, Санкт-Петербург, 59 ° 43 ' с.ш.). Описание образцов осуществляли по Методическим указаниям ВИР по изучению коллекции капусты и листовых зеленных культур (салат, шпинат, укроп) (1969) и Классификатор (1984).

В поликарбонатной теплице применяли рассадный способ выращивания при посеве 10 марта, высадку 25-30-дневной рассады проводили в стадии 3-4 развитых листьев. Схема посадки 20x20 см. Площадь посева 0,5 кв. м., повторность трехкратная. Агротехника общепринятая в регионе. Срок посева в открытом грунте 3 июня при норме высева семян 0,5 г на один погонный метр с последующим прореживанием до площади питания 70x20 см, без полива. Площадь учетной деланки 2,1 кв. м, повторность опыта трехкратная.

Продолжительность вегетационного периода считали от даты массовых всходов до начала стеблевания у единичных растений салата листового или формирования товарных кочанов у кочанных типов. Учет урожая листового салата проводили однократно при начале стеблевания.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Учет урожая кочанного салата начинали при наличии на делянке у 25% растений хозяйственно-годных кочанов, и далее двукратно.

Использовали следующую балльную шкалу оценки урожайности и продуктивности: 1 – очень низкая (<66% к стандарту), 3 – низкая (76-85%), 5 – средняя (96-105%), 7 – высокая (116-125%), 9 – очень высокая (> 135%).

### **Результаты и обсуждение**

Изучение кочанных сортообразцов салата и образцов типа ромен показало, что продолжительность вегетационного периода в защищенном грунте при ранневесеннем посеве составила 83-84 дня, в открытом грунте их вегетационный период сократился до 52-53 дней. У листовых форм салата коротким вегетационным периодом в открытом грунте выделился только сорт Тамариндо (вр.к.-3221, Нидерланды) – 44 дня, образцы из Нидерландов Solos F1 (вр.к.-3295) и Диаболтин (вр.к.-3220) показали одинаковую длительность вегетационного периода 52 дня. В защищенном грунте длительность вегетационного периода листового салата составила 75-76 дней.

Урожайность кочанного салата в открытом грунте в целом выше, чем при выращивании в защищенном грунте. У стандартного сорта Константа (вр.к.-3291, Россия) средняя масса кочана в открытом грунте составила 613,1 г, а в теплице 219,33 г. Остальные пять образцов кочанного салата показали наилучшие результаты по массе кочана по отношению к стандарту как в открытом, так и в защищенном грунте, при том, что кочаны в открытом грунте имеют значительно большую массу, чем в защищенном.

Салат ромен также показал в открытом грунте при летнем посеве массу растения выше, чем при раннем весеннем выращивании в теплице. Средняя масса кочана салата ромен у стандартного сорта Ирбид (вр.к.-3287, Россия) в защищенном грунте составила 280,5 г, в открытом грунте 402,6 г. У сорта Эльбрус (вр.к.-3290, Россия) в защищенном грунте средняя масса растения 241,66 г, что ниже, чем у стандарта, а в открытом грунте, напротив, масса значительно выше (735,9 г). Образец салата ромен сорт Нево (вр.к.-3288, Россия) показал урожайность выше, чем у стандарта, в открытом и в защищенном грунте на 25-35% соответственно.

Для образцов салата листового и полукочанного отмечены другие закономерности. Салат листовой показал более высокую урожайность в защищенном грунте. Так, у стандартного сорта Тамариндо (вр.к.-3221, Нидерланды) средняя масса розетки в теплице составила 301 г, в открытом грунте 139,4 г. Салат Диаболтин (вр.к.-3220, Нидерланды) в открытом грунте показал более высокую массу розетки по сравнению со стандартом (182,9 г), но в теплице средняя масса его розетки ниже, чем у стандарта, но составила 260,5 г. Гибрид листового салата Solos F1 по отношению к стандарту показал большую среднюю массу розетки, как в теплице (624,5 г), так и в поле (420 г). Салат полукочанного типа в отличие от кочанного не образует плотный кочан, листочки его не сомкнуты. Изучив два образца, мы увидели, что они дают разную урожайность. Образец Лайбахер Айс (к-2315, Россия) показал хорошую урожайность в теплице со средней массой розетки 428,28 г, но в открытом грунте его масса значительно ниже (125,5 г). Урожайность сорта Марадон (вр.к.-3293, Россия) была достаточно стабильной при выращивании в разных условиях: средняя масса розетки в теплице составила 556,5 г, а в поле 634,9 г.

### **Выводы**

Основной задачей овощеводства является стабильное и достаточное снабжение населения всеми видами овощей. При ранневесенних посевах салата в условиях Северо-Западного региона рекомендовано использовать листовые и полукочанные формы. Несмотря на то, что

вегетационный период у них длинный, урожайность у них выше. Возможно сокращение вегетационного периода ранней весной за счет использования дополнительного искусственного освещения, например, светодиодных ламп белого цвета (с низким потреблением электроэнергии). Для выращивания салата в теплице ранней весной выделены наиболее ценные по хозяйственно-ценным признакам сорта салата – листового Тамариндо, Solos F1 и полукочанного типа Лайбахер Айс, Марадон. Для летнего выращивания в открытом грунте предлагаем использовать сорта салата кочанного типа Арктика, Эдуардо, Эльмундо, Казбек, Протекционист, Константа и ромен Ирбид и Эльбрус.

### **Благодарности**

Работа выполнена в рамках гос. задания No. 0662-2019-0003 «Генетические ресурсы овощных и бахчевых культур мировой коллекции ВИР: эффективные пути расширения разнообразия, раскрытия закономерностей наследственной изменчивости, использования адаптивного потенциала», номер государственной регистрации по плану ВИР АААА-А19-11-9013090157-1.

### **Список литературы / References**

- Гиренко М.М., Комарова З.А., Бородкин А.С. Классификатор видов *Lactuca sativa* L., *Cichorium endivia* L. (салат, салатный цикорий – эндивий и эскариол). Ленинград. 1984. С. 3-11.
- Лизгунова Т.В., Корень Н.Ф. Методические указания по изучению коллекции капусты и листовых зеленых культур (салат, шпинат, укроп). Ленинград. 1969. С. 26-32.

### **STUDIES OF PERIOD OF VEGETATION AND PRODUCTIVITY OF LETTUCE *LACTUCA SATIVA* L. MODERN CULTIVARS IN LENINGRAD DISTRICT UNDER DIFFERENT GROWING CONDITIONS**

M.M IGUMNOVA., A.M. ARTEMYEVA

*FSBSI FRC All-Russian Institute of Plant Genetic Resources on the name of N.I. Vavilov (VIR),  
St. Petersburg, Russian Federation*

**Abstract.** The yield and duration of the growing season of 14 accessions of lettuce *Lactuca sativa* L. of various types from the VIR worldwide collection in open field and protected growing on the territory of the VIR Pushkin laboratories (St. Petersburg) were studied. The lettuce cultivars of leafy and semi-headed types with high yield for greenhouse, cultivars of headed type and romaine for growing mainly in open field have been identified.

**Keywords.** Lettuce *Lactuca sativa* L., yield, period of vegetation, open field and protected growing of Leningrad district.

## **ХАРАКТЕРИСТИКА УСТОЙЧИВОСТИ К АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССАМ У ЛИНИЙ И ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ**

О.А. КЛИМЕНКО

*Институт Генетики, Физиологии и Защиты растений, Кишинев, Республика Молдова*

**Аннотация.** У инбредных линий и гибридов кукурузы изучались особенности изменчивости признаков устойчивости к засухе, пониженным температурам и засолению на этапе раннего развития растения и во время цветения. Всего использовали 65 генотипов (включая линии, простые гибриды F1, трехлинейные и двойные гибриды, комбинации возвратного скрещивания и гибриды F2). Также анализировали вариабельность количественных признаков растения и початка. На диплоидном и гаплоидном уровнях определяли величины зависимости изучаемых признаков от факторов «генотип», «стресс», а также от взаимодействия «генотип x стресс». Рассчитывались показатели наследуемости количественных признаков (растений и мужского гаметофита) у родительских генотипов в стрессовых условиях. Генотипы дифференцировали по устойчивости к данным стрессовым факторам и потенциалу продуктивности на основе сравнения всех изученных признаков. Отобранные таким образом линии и гибридные комбинации можно включать в селекционные схемы, направленные на получение устойчивых гибридов кукурузы.

**Ключевые слова.** Кукуруза, абиотические стрессы, устойчивость, мужской гаметофит.

### **Введение**

Выявление генотипов кукурузы, сочетающих устойчивость к абиотическим стрессам и продуктивность, является одной из важных задач селекции этой культуры так как исследователями (Naveenkumar et al., 2018) отмечается, что такие абиотические стрессы как засуха, пониженная температура, засоление связаны с более частым появлением и существенным распространением болезней кукурузы, вредных насекомых и сорняков. Показан эффективный метод отбора устойчивых к осмотическому стрессу и засолению генотипов кукурузы (Collado et al., 2016). Для улучшения устойчивости кукурузы к абиотическим стрессам актуальным является совместное использование молекулярных методов и традиционной селекции (Bishnu Bhusal et al, 2021), а также оценка признаков на уровне мужского гаметофита.

### **Объекты и методы исследования**

В качестве исходного материала для исследований были использованы инбредные линии (L1866, P101, P502, МК390, P523, В73, Мо17, W23, N6, L1362, P346, L459, P165, XL12, P346wx1wx1, Rf7, МК159, W47, O92, M11, A239, L276, 4nW23, A285, МК01, Co125, P343, N92), гибриды F2 и комбинации возвратного скрещивания (у которых в качестве материнского генотипа использовали простые гибриды Мо17xW23, A285xN6, XL12xN6, A285xRf7, L276xP165, A285xW23, XL12xP165, A285xP165), простые гибриды F1 (родительские линии Мо17, A285, L276, L459, XL12, Rf7, P165, N6, W23, P101, МК01, W47, В73), двойные гибриды- (L1866xF2) x (L459xM11), (L1866xO92) x (L459xM11), (F2xP101) x (P343xF2), (F2xP101) x (L459xM11), (L1866xF2) x (P343xF2), (L1866xO92) x (P343xF2), трехлинейные гибриды - (L1866xCo125)xF2, (L1866xCo125)xL459, (P343xP346)xF2, (P346xP343)xL459, (P343xP346)xL459, (P343xP346)xA239, (P346xP343)xA239, а также набор из 39 простых гибридов (родительские линии Мо17, A285, L276, L459, XL12, Rf7, P165, N6, W23, P101, МК01, W47, В73, Co125, A349, O92, P502, МК159, МК390). На рисунке 1 представлены простые гибриды первого поколения. Оценка устойчивости генотипов к пониженным температурам (+4°C- +12°C), засухе и хлоридному засолению проводили с учетом признаков «всхожесть семян», «длина проростка», «длина корешка», «количество корешков», «диаметр пыльцевого зерна». На рисунке 2 показаны два проростка выросшие из одного зерна у трехлинейного гибрида. Использовали осмотические растворы (величина давления 2,92-10,48 Мпа) и растворы NaCl (2,5-10%). Диаметр пыльцевых зерен определяли с помощью микроскопа



и окуляр микрометра. На рисунке 3 пыльцевые зерна находятся в осмотическом растворе, а на рисунке 4 слева пыльцевые зерна, представляющие контроль, а справа – находятся в растворе NaCl 10%. Все эксперименты выполнены по схемам дисперсионного анализа. Полученные данные обработаны программой STATISTICA 7.0. Показатели силы влияния факторов, коэффициенты наследуемости высчитывали по Доспехову Б.А. (1985).



Рис. 1



Рис. 2

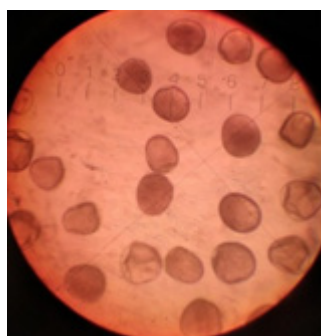


Рис. 3

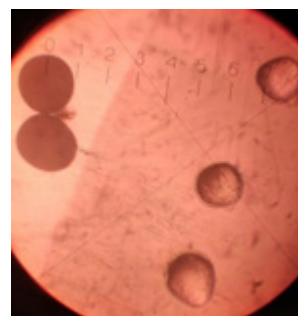


Рис. 4

### Результаты и обсуждение

У гибридных комбинаций в стрессовых условиях показатели силы влияния фактора «генотип» на ранних этапах развития растений были выше аналогичного показателя на гаплоидном уровне. У инбредных линий такой закономерности отмечено не было (таблица 1) и значения силы влияния фактора «генотип» были довольно высокими для признака «диаметр пыльцевого зерна».

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия      14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1. Некоторые показатели силы влияния (%) фактора «генотип» в стрессовых условиях для изучаемых признаков.

		Гибриды F <sub>1</sub> и F <sub>2</sub> (простые, возвратные)	Гибриды двойные, трехлинейные	Линии
Пониженная температура (+4°C- +12°C)	ВС	81,25 <sup>***</sup>	91,3 <sup>***</sup>	24,5 <sup>***</sup>
	ДП	80,86 <sup>***</sup>	71,2 <sup>**</sup>	95,05 <sup>***</sup>
	ДК	83,1 <sup>***</sup>	88,4 <sup>***</sup>	67,7 <sup>**</sup>
	ДПЗ	35,7 <sup>***</sup>	20,7 <sup>***</sup>	45,3 <sup>***</sup>
Засуха	ВС	86,25 <sup>***</sup>	72,3 <sup>***</sup>	89,6 <sup>***</sup>
	ДП	60,42 <sup>***</sup>	39,9 <sup>***</sup>	33,7 <sup>**</sup>
	ДК	52,84 <sup>***</sup>	45,6 <sup>***</sup>	51,1 <sup>***</sup>
	ДПЗ	5,94 <sup>*</sup>	24,75 <sup>***</sup>	66,7 <sup>***</sup>
Хлоридное засоление	ДП	62,38 <sup>**</sup>	32,0 <sup>**</sup>	59,17 <sup>*</sup>
	ДК	недостововерен	88,92 <sup>***</sup>	71,1 <sup>**</sup>
	ДПЗ	7,14 <sup>*</sup>	24,7 <sup>***</sup>	67,25 <sup>***</sup>

Пояснения к таблице: ВС – всхожесть семян, ДП – длина проростка, ДК – длина корешка, ДПЗ – диаметр пыльцевого зерна.

Инбредные линии характеризовались достаточно высокими показателями силы влияния фактора «генотип» для количественных признаков растения и початка (таблица 2) и превосходили аналогичные показатели гибридных комбинаций.

Таблица 2. Значения силы влияния фактора «генотип» по количественным признакам растения и початка (условия полевого опыта)

	Гибриды F <sub>1</sub> и F <sub>2</sub> (простые, возвратные)	Гибриды двойные, трехлинейные	Линии
Высота растения	55,7 <sup>***</sup>	70,6 <sup>***</sup>	92,7 <sup>***</sup>
Высота до первого початка	73,9 <sup>***</sup>	47,7 <sup>*</sup>	90,1 <sup>***</sup>
Длина метелки	41,75 <sup>***</sup>	55,8 <sup>**</sup>	94,0 <sup>***</sup>
Количество веточек метелки	92,85 <sup>***</sup>	42,4 <sup>*</sup>	93,15 <sup>***</sup>
Количество рядков зерен початка	34,12 <sup>***</sup>	42,21 <sup>*</sup>	82,54 <sup>***</sup>
Количество зерен в рядке початка	43,34 <sup>***</sup>	37,88 <sup>*</sup>	58,91 <sup>*</sup>

Следует отметить, что у инбредных линий отмечен высокий показатель (55,32%<sup>\*\*\*</sup>) силы влияния фактора «стресс» (пониженная температура) на признак «всхожесть семян», однако изменчивость признака «длина проростка» зависела от стрессового фактора только на 13,56%<sup>\*\*\*</sup>. Примерно такой же показатель (15,1%<sup>\*\*\*</sup>) влияния взаимодействия факторов «генотип» x «стресс» был отмечен для признака «всхожесть семян». На гаплоидном уровне значение силы влияния осмотического стресса было ниже аналогичной величины солевого стресса (9,61%<sup>\*\*\*</sup> и 32,56%<sup>\*\*\*</sup>, соответственно).

Определение коэффициентов наследуемости родительских генотипов (условия пониженной температуры) выявило достаточно высокие показатели материнских линий (0,6842<sup>\*\*\*</sup>) у простых гибридов и отцовских генотипов (0,355<sup>\*</sup>) у трехлинейных гибридов по признаку «всхожесть семян», кроме того, у отцовских линий простых гибридов коэффициенты наследуемости

признаков «длина проростка» и «длина корешка» также были существенно высокими (0,776\* и 0,531\*, соответственно). В условиях солевого стресса достоверно высокий показатель наследуемости (0,6558\*\*\*) был отмечен для отцовского генотипа (W47). На гаплоидном уровне при действии пониженной температуры достоверными (0,126\*\*\* и 0,1332\*) коэффициентами наследуемости характеризовались отцовские генотипы простых гибридов либо взаимодействие родительских генотипов, однако в нормальных условиях был достоверен только коэффициент наследуемости материнских генотипов, а коэффициенты отцовских генотипов и взаимодействия родительских генотипов были незначительны.

Анализ показателей каждого генотипа в стрессовых условиях и оценка количественных признаков растения и початка позволили отобрать лучшие линии (P346, A285, Rf7) и гибридные комбинации (в частности простые гибриды XL12×L276, MK01×W47, трехлинейный гибрид (P346×P343)×L459, двойной гибрид (L1866×092)×(L459×M11)).

### **Выводы**

У гибридных комбинаций в стрессовых условиях на гаплоидном уровне отмечены наименьшие показатели силы влияния фактора «генотип». Также у гибридов значения силы влияния этого фактора были меньше аналогичных значений инбредных линий по признакам початка. На уровне мужского гаметофита величины коэффициентов наследуемости родительских генотипов были ниже. Выделенные генотипы можно использовать в качестве исходного материала для селекции на устойчивость к этим абиотическим стрессам.

### **Благодарности**

Исследования выполнены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.03 «Эффективное использование генетических ресурсов растений и современных биотехнологических методов для повышения адаптивности сельскохозяйственных культур к климатическим изменениям» финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.

### **Список литературы / References**

- Naveenkumar K.L., Sen D., Khanna V.K. Effect of Maize Production in a Changing Climate: Its Impacts, Adaptation, and Mitigation Strategies through Breeding. // Open Access Journal of Oncology and Medicine. 2018. Vol.2(4). P.186-190. OAJOM.MS.ID.000142. DOI: 10.32474/OAJOM.2018.02.000142
- Collado, M.B., Aulicino, M.B., Arturi, M.J. and del C. Molina, M. Selection of Maize Genotypes with Tolerance to Osmotic Stress Associated with Salinity // Agricultural Sciences. 2016. 7, p. 82-92. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2016.72008>
- Bishnu B., Mukti R.P.I, Rishav P., Rashmi R., Pritika N., Kushal B., Binju M., Bigyan K.C., Suprava A. A Review on Abiotic Stress Resistance in Maize (*Zea mays* L.): Effects, Resistance Mechanisms and Management // J Biol Today's World. 2021. 10(2), p. 001-003. [https://www.researchgate.net/publication/350400648\\_A\\_Review\\_on\\_Abiotic\\_Stress\\_Resistance\\_in\\_Maize\\_Zea\\_mays\\_L\\_Effects\\_Resistance\\_Mechanisms\\_and\\_Management](https://www.researchgate.net/publication/350400648_A_Review_on_Abiotic_Stress_Resistance_in_Maize_Zea_mays_L_Effects_Resistance_Mechanisms_and_Management)
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). - М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.

## CHARACTERISTICS OF RESISTANCE TO ABIOTIC STRESSES IN MAIZE LINES AND HYBRIDS

O.A. CLIMENCO

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau, Republic of Moldova

**Abstract.** Features of variability of signs of resistance to drought, low temperatures and salinity at the stage of early plant development and during flowering were studied in inbred lines and hybrids of corn. A total of 65 genotypes were used (including lines, simple F1 hybrids, three-line and double hybrids, backcross combinations and F2 hybrids). The variability of quantitative characteristics of the plant and the cob was also analyzed. The values of the dependence of the studied features on the factors "genotype", "stress", as well as on the interaction "genotype x stress" were determined at the diploid and haploid levels. The indicators of heritability of quantitative traits (plants and male gametophyte) in parental genotypes under stressful conditions were calculated. Genotypes were differentiated by their resistance to these stress factors and productivity potential based on a comparison of all the studied traits. The lines and hybrid combinations selected in this way can be included in breeding schemes aimed at obtaining stable maize hybrids.

**Keywords.** Maize, abiotic stresses, tolerance, male gametophyte.

## ПОТЕНЦИАЛ ХРАНЕНИЯ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ОГУРЦА (*CUCUMIS SATIVUS* L.) ПРИ КОНСЕРВАЦИИ *EX SITU*

Л.Б. КОРЛЭТЯНУ<sup>1</sup>, А.И. ГАНЯ<sup>1</sup>, Д. Г. ГРАДИНАР<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт генетики, физиологии и защиты растений, Молдова, [lorlateanu@yahoo.com](mailto:lorlateanu@yahoo.com);

<sup>2</sup> Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, г. Тирасполь

**Аннотация.** Потенциал хранения (ПХ) семян является важным комплексным показателем, характеризующим способность коллекционных образцов к длительной консервации *ex situ* в генетическом банке. Для определения ПХ образцов огурцов применяли 2 теста: тест на ускоренное старение (УСТ) семян и тест на электропроводность (ЭПР) семян. Тест на УСТ для семян огурцов проводили при температуре 43-45°C, относительной влажности воздуха 90-100%, срок старения - 96 часов. После проведения теста на 10-ти коллекционных образцах огурцов определяли различные параметры: морфофизиологические (энергию прорастания и всхожесть семян, длину корешков, сырую и сухую биомассу корешков, выход электролитов из семян) и биохимические (содержание фермента пероксидазы в корешках). Генотипы огурцов по различным показателям после теста были разделены на 3 группы: 1-я группа (высокий ПХ) - генотипы Круиз, Феникс, Чечель, Конкурент, 2-я группа (средний ПХ) - генотипы Фотон, Родничок, Феличита, Кустовой, 3-я группа (низкий ПХ) - генотипы Взгляд и Струмок. Таким образом, использование тестов на УСТ и ЭПР семян на коллекционных образцах огурцов по морфофизиологическим и биохимическим характеристикам позволило провести градацию генотипов по ПХ семян.

**Ключевые слова.** Потенциал хранения, генетический банк, огурцы, всхожесть семян, выход электролитов, пероксидаза.

### Введение

Определение потенциала хранения семян является очень важным этапом при консервации *ex situ* генетических ресурсов растений, особенно при закладке образцов на длительное хранение в генетический банк растений. Определение данного потенциала в последнее время принято во многих генетических банках разных стран. Долговечность семян зависит не только от их условий хранения, но и от их исходной всхожести, размера, спелости, условий выращивания, наличия или отсутствия патогенов, видовых особенностей и многих других факторов, которые иногда трудно учесть при организации хранения *ex situ* зародышевой плазмы (Walters et. al., 2005; Nagel et. al., 2010; Rehman et. al., 2012). Для изучения данных проблем большой интерес представляет метод ускоренного старения семян, суть которого состоит в искусственном ускорении процесса старения путем экспозиции семян в течение непродолжительного времени при повышенной температуре и высокой относительной влажности воздуха (Hampton et. al., 1995). Ускоренное старение семян в большой степени нашло применение для определения силы роста семян (Алексейчук, 2009). Существует ряд работ, в которых сопоставлялись физиолого-биохимические изменения в семенах при ускоренном старении и длительном хранении. Ускоренное старение семян позволяет оценивать различия между сортами различных видов сельскохозяйственных культур. На устойчивость семян оказывают влияние разные факторы, в частности параметры внешней среды, в которых семена оказываются после их созревания. Следовательно, для сравнительной оценки сортов необходимо использовать семена, выращенные и хранившиеся в одинаковых условиях.

### Объекты и методы исследования

ПХ коллекционных образцов огурцов (*Cucumis sativus* L.) определяли с использованием 2-х тестов: теста на УСТ и на ЭПР семян. Для проведения теста на УСТ семян использовали общепринятые в международной практике методики, описанные в Handbook of vigour test methods (Hampton, 1995). Для семян огурца рекомендуется проводить тест при температуре 45°C, относительной влажности воздуха 90 - 100%, срок старения - 96 часов. Иногда требуется корректировка температурных условий при старении семян конкретного генотипа. Для некоторых образцов огурцов была подобрана другая температура старения – 43 и 44°C.

Тестировались следующие коллекционные образцы огурцов: Фотон, Круиз, Родничок, Струмок, Конкурент, Феникс, Взгляд, Чечель, Феличита, Кустовой из активной коллекции генетического банка растений Молдовы. После УСТ семена проращивали в термостате при температуре 25°C. В каждом варианте было по 300 семян, эксперименты проводились в 4-х кратной повторности, экспериментальные данные были обработаны с помощью пакета программ Statistica.

После проведения УСТ семян определяли различные морфофизиологические и биохимические параметры семян и проростков: энергию прорастания и всхожесть семян, длину корешков, сырую и сухую биомассу корешков (ISTA,1984), электропроводность растворов с семенами (Алексейчук и др., 2005), содержание фермента пероксидазы в корешках (Ермаков и др., 1987).

### Результаты и обсуждение

Падение энергии прорастания и всхожести семян после проведения теста на УСТ составило для разных генотипов огурцов соответственно 5,7-77,9% и 15,5-62,9% по сравнению с контролем, что свидетельствует о генотипической специфичности тестируемых образцов. Генотипы огурцов по таким важным показателям как энергия прорастания и всхожесть семян были подразделены на 3 группы с учетом изменения этих параметров после УСТ. В 1-ю группу вошли генотипы Круиз, Феникс, Чечель и Конкурент (рис. 1).

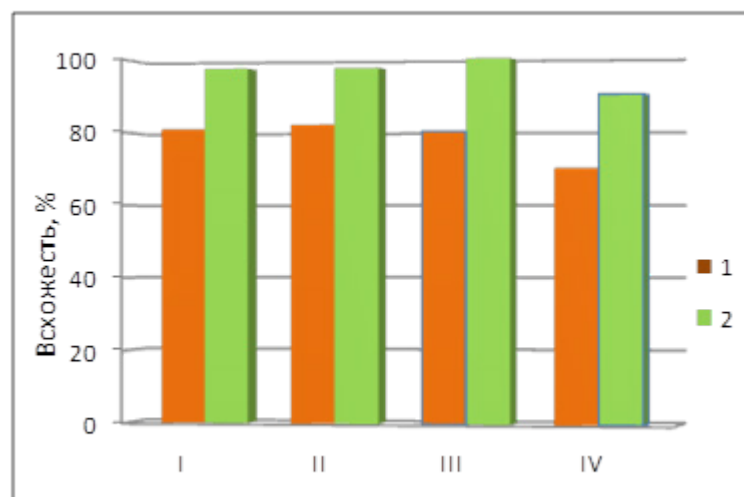


Рис. 1. Проращение семян генотипов огурцов при действии теста на ускоренное старение семян, %. 1 - УСТ; 2 - Контроль; I – Круиз; II - Феникс; III - Чечель; IV - Конкурент

В этой группе всхожесть у этих генотипов огурцов составила 70,0-82,1% после проведения теста, падение всхожести семян было на уровне 15,5 - 20,0%. Ко 2-ой группе были отнесены генотипы Фотон, Родничок, Феличита и Кустовой. Всхожесть семян в этой группе генотипов после УСТ семян составила 65,5-75,0%, а уменьшение данного параметра - 21,5-27,0%. В 3-ю группу вошли генотипы огурца Взгляд и Струмок, всхожесть которых после УСТ составляла соответственно 40,1% и 35,2%. У них падение всхожести было максимальным: 57,9-63,0%.

После УСТ семян различных генотипов огурцов наблюдалось снижение и других параметров (длины корешков, сырой и сухой биомассы корешков, длины проростков, изменение электропроводности растворов с семенами и активности фермента ПО). Длина корешков семян в зависимости от генотипа уменьшалась после проведения теста по сравнению с контролем на 2,0-6,8 мм (рис. 2). Максимальное изменение длины корешков после воздействия высокой температуры и влажности наблюдалось у генотипов Струмок, Взгляд и Кустовой по сравнению с контролем. Минимальное угнетение длины корешков было у генотипов Круиз и Родничок.

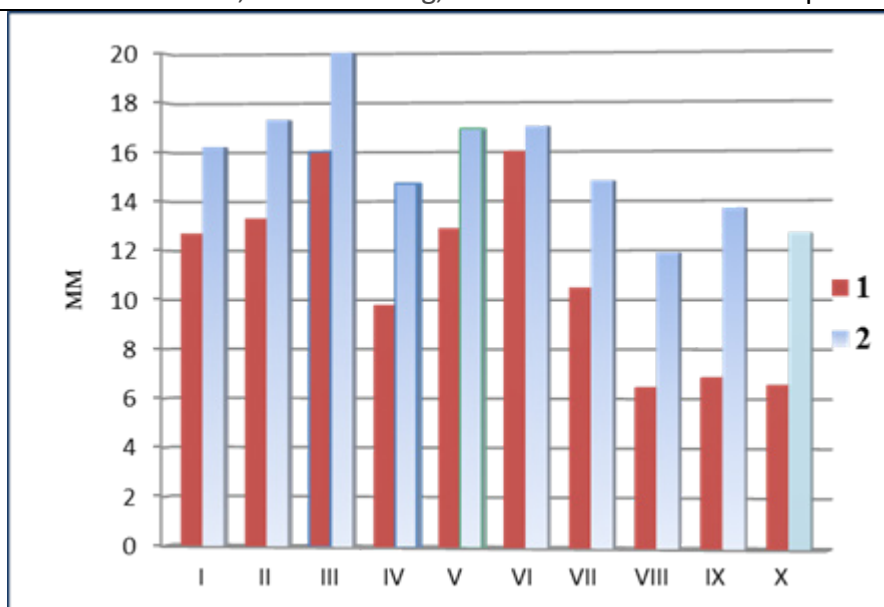


Рис.2. Длина корешков проростков огурцов после ускоренного старения, мм. 1 - УСТ; 2 - Контроль; I - Крузиз; II - Феникс; III - Чечель; IV - Конкурент; V - Фотон; VI - Родничок; VII - Феличита; VIII - Кустовой; IX - Взгляд; X - Струмок

В среднем у разных генотипов уменьшение сырой биомассы корешков составило после проведения теста 30,0 – 73,0 мг по сравнению с контролем. Сырая биомасса максимально уменьшилась после УСТ у генотипов Взгляд, Струмок, Феличита и Феникс (в среднем на 50,0 - 73,0 мг). Меньше всего пострадала корневая система у образцов Крузиз, Конкурент и Чечель, у которых падение сырой биомассы корешков составило в среднем 30,0 – 35,0 мг. О выходе электролитов из семян после УСТ судили по электропроводности растворов с нормальными и состаренными семенами, которую определяли с помощью кондуктометра N5721M. После УСТ семян ЭПР растворов увеличивалась у разных генотипов огурцов после 24-х часового набухания семян в 1,4 – 2,5 раза по сравнению с контролем (табл. 1).

Таблица 1. Электропроводность растворов с семенами огурцов под влиянием теста на ускоренное старение семян, mS/m.

Номер	Генотип	Контроль	Опыт
1	Крузиз	2,50 ± 0,2	4,00 ± 0,3*
2	Феникс	2,80 ± 0,2	4,50 ± 0,4*
3	Чечель	1,80 ± 0,3	2,60 ± 0,3*-
4	Конкурент	2,00 ± 0,2	3,90 ± 0,4*
5	Фотон	1,80 ± 0,3	4,50 ± 0,6*
6	Родничок	1,50 ± 0,2	2,50 ± 0,3*
7	Феличита	2,50 ± 0,3	5,20 ± 0,2*
8	Кустовой	2,70 ± 0,2	5,00 ± 0,3*
9	Взгляд	1,60 ± 0,3	3,70 ± 0,2*
10	Струмок	1,40 ± 0,1	2,50 ± 0,1*

Максимальный выход электролитов после УСТ семян наблюдался у генотипов Фотон, Взгляд и Феличита, ЭПР растворов со старыми семенами огурцов этих генотипов превышала контроль в 2,1 – 2,5 раза. Наименьшее увеличение ЭПР растворов со старыми семенами по сравнению с контролем показали образцы Крузиз, Феникс и Чечель (в 1,4 - 1,6 раза). Возрастание

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

электропроводности растворов со старыми семенами объясняется в литературе увеличением проницаемости клеточных мембран после УСТ семян, что приводит к повышению выхода электролитов из старых семян.

Активность фермента пероксидазы в корешках семян после проведения теста на УСТ семян возрастала практически у всех генотипов огурца по сравнению с контролем (превышение составило 1,2-2,3 раза), что является характерным при действии термического стресса (табл. 2).

Таблица 2. Активность пероксидазы в корешках проростков огурцов под влиянием теста на ускоренное старение семян, условные единицы.

Номер	Генотип	Контроль	Опыт
1	Круиз	0,122 ± 0,054	0,222 ± 0,053
2	Феникс	0,140 ± 0,011	0,170 ± 0,090*
3	Чечель	0,330 ± 0,012	0,770 ± 0,042*-
4	Конкурент	0,173 ± 0,078	0,251 ± 0,022*
5	Фотон	0,167 ± 0,039	0,300 ± 0,067*
6	Родничок	0,192 ± 0,077	0,291 ± 0,043*
7	Феличита	0,135 ± 0,009	0,280 ± 0,012*
8	Кустовой	0,110 ± 0,080	0,200 ± 0,031*
9	Взгляд	0,140 ± 0,023	0,290 ± 0,031*
10	Струмок	0,154 ± 0,022	0,318 ± 0,024*

\* - разница достоверна при  $p < 0,05$

### Выводы

Согласно нашим исследованиям по оценке коллекционных образцов огурца высоким потенциалом хранения после определения различных параметров обладали генотипы Круиз, Конкурент Феникс и Чечель, а наиболее низким – генотипы Взгляд и Струмок.

Использование тестов на УСТ и ЭП на семенах огурца позволяет определить по морфофизиологическим и биохимическим характеристикам семян и проростков потенциал хранения каждого конкретного генотипа, а также провести градацию генотипов по этому комплексному показателю, характеризующему способность коллекционных образцов к долговременному хранению в генетическом банке растений.

Определение потенциала хранения семян в условиях консервации *ex situ* позволяет:

\* выявлять образцы, не пригодные к длительному хранению, что позволит сэкономить средства для консервации;

\* давать рекомендации по срокам воспроизводства семенного материала;

\* указать на необходимость восстановления жизнеспособности коллекционных образцов.

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.11 «Длительное сохранение генетических ресурсов растений в генном банке с использованием методов молекулярной биологии в тестировании состояния здоровья растительной зародышевой плазмы», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.



---

### Список литературы / References

- Алексейчук Г.Н., Ламан Н.А. Физиологическое качество семян сельскохозяйственных культур и методы его оценки. Минск. 2005. 48 с.
- Алексейчук Г. Н. Сила роста семян зерновых культур и ее оценка методом ускоренного старения. Минск. 2009. 43 с.
- Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. и др. Методы биохимического исследования растений. Москва. 1987. с.42-43.
- Hampton, J. G. and D. M. TeKrony. Handbook of vigor test methods. International Seed Testing Assn, Zurich, Switzerland. 1995. 120 p.
- International rules for seed testing. М.: Колос, 1984. 310 с.
- Nagel M., Borner A. The longevity of crop seeds stored under ambient conditions // Seed Science Research. 2010. № 20. P. 1-12.
- Rehman Arif M. A., Nagel M., Neumann K. et. al. Genetic studies of seed longevity in hexaploid wheat using segregation and association mapping approaches // Euphytica. 2012. V. 186. P. 1-13.
- Walters C., Wheeler L.M., Grotenhuis J.M. Longevity of seeds stored in a genebank: species characteristic // Seed Science Research. 2005. № 15. P. 1-20.

### STORAGE POTENTIAL OF CUCUMBER (*CUCUMIS SATIVUS* L.) COLLECTION SAMPLES UNDER *EX SITU* CONSERVATION

L.B. CORLATEANU<sup>1</sup>, A.I. GANEA<sup>1</sup>, D.G. GRADINAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Genetics, Plant Physiology and Protection, Moldova, lcorlateanu@ yahoo.com;

<sup>2</sup> Transnistrian Research Institute of Agriculture, Tiraspol

**Abstract.** Seed storage potential (SP) is an important complex indicator characterizing the ability of collection samples to be conserved *ex situ* in a genetic bank. Two tests were used to determine the storage potential of cucumber samples: the accelerated aging test (AA test) and the electrical conductivity (EC) test. The AA test for cucumber seeds was carried out at 43-45°C, 90-100% relative humidity, with an aging time of 96 hours. After the test, various parameters were determined on 10 collection cucumber samples: morphophysiological (germination energy and seed germination, root length, wet and dry root biomass, electrolyte leakage from seeds) and biochemical (peroxidase enzyme content in roots). The cucumber genotypes were divided into 3 groups according to various post-test indicators: group 1 (high SP) - genotypes Cruise, Phoenix, Chechel, Concurrent; group 2 (medium SP) - genotypes Photon, Rodnichok, Felicita, Kustovoy; group 3 (low SP) - genotypes Vzglyad and Strumok. Thus, the use of AA and EC tests on cucumber collection samples based on morphophysiological and biochemical characteristics allowed gradation of genotypes by seed SP.

**Keywords.** Storage potential, genetic bank, cucumber, seed germination, electrolyte leakage, peroxidase.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ГИБРИДЫ F<sub>2</sub> *SALVIA SCLAREA* L., С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЭФИРНОГО МАСЛА

Л. А. КОТЕЛЯ, М. М. ГОНЧАРЮК, З. К. БАЛМУШ, В. И. БУТНАРАШ

Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений, Р. Молдова, [ludmilacotelea@rambler.ru](mailto:ludmilacotelea@rambler.ru)

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования простых, трёхлинейных, двойных, и ступенчатых сложных гибридов шалфея мускатного, во втором году вегетации. Были изучены 19 гибридов F<sub>2</sub> *Salvia sclarea* L. Гибридные комбинации второго поколения шалфея мускатного отличаются по количественным признакам: высота растения (105.0-123.8 см), длина соцветия (52.0-65.1 см), разветвлений первого порядка (12,6-17,7) и второго (21,2-34,2). Отобраны гибриды с очень высоким содержанием эфирного масла – 1,364–1.622% (с.в.).

**Ключевые слова.** *Salvia sclarea* L., гибрид, количественные признаки, эфирное масло.

### Введение

*Salvia sclarea* L. (шалфей мускатный), ценное ароматическое и лекарственное растение. Ценность шалфея мускатного определяется тем, что в его соцветиях содержится эфирное масло с приятным ароматом, напоминающим запах амбры. Эфирное масло используется в больших количествах в парфюмерии и косметике. В медицине - используется для лечения гипертонии, острого и хронического тонзиллита, как антисептик, а также для лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата (Gonçearius, 2008).

В пищевой промышленности масло шалфея используется в производстве вин типа *Мускат*, входит в состав ароматизированного вина Букет Молдавии. Соцветия, как и эфирное масло имеют антисептическое и антикатаральное действие (Gonçearius, 2008).

Проведённые нами генетически-селекционные исследования, увенчались созданием, районированием и патентованием ряда высокопродуктивных сортов, которые представляют собой гибриды с константным гетерозисом (Gonçearius, 2014, 2016). Одновременно, ведутся исследования, направленные на совершенствование методов создания и обогащения исходного материала. Для получения ценных генотипов, используются источники гермоплазмы разного генетического и географического происхождения, устойчивых к абиотическим факторам среды (Cotelea, 2013, 2019, Gonçearius, 2013, 2014, 2016).

Целью настоящего исследования было изучение простых, трёхлинейных, двойных и ступенчатых сложных гибридов шалфея мускатного; отбор перспективных генотипов, с высоким содержанием эфирного масла, для создания будущих сортов *Salvia sclarea*.

### Объекты и методы исследования

В качестве биологического материала были использованы 19 гибридов F<sub>2</sub> разной сложности (простые, тройные, двойные и ступенчатые сложные) во втором году вегетации. Опыты проводились в Лаборатории Ароматических и Лекарственных Растений, на Экспериментальной Базе Института Генетики, Физиологии и Защиты Растений. Посев произведён в третьей декаде октября. Предшественником была озимая пшеница. Технология возделывания – специально разработанная для шалфея мускатного (Gonçearius, 2004). Метеоусловия сельскохозяйственного года характеризовались засушливой осенью и очень жарким летом. Сухой жаркий климат в фазах цветения и технической спелости был благоприятным для накопления эфирного масла во втором году вегетации шалфея (2020).

Изучение селекционного материала включало: фенологические, биометрические исследования, определение содержания эфирного масла.

Для определения длины вегетационного периода гибридов, велись фенологические наблюдения. Отмечали появление всходов, (на шалфее второго года вегетации отрастание розетки), стеблевание, цветение и техническую спелость.

Биометрические исследования были проведены по следующим количественным признакам: высота растения, длина соцветия, количество разветвлений первого и второго порядков.

Отбор образцов для определения содержания эфирного масла в сырье, проводилось по методике, разработанной для эфиромасличных культур. Содержание эфирного масла было определено методом гидродистилляции, в аппаратах Гинзберга, три раза за сезон и пересчитано на сухой вес (Gonsearicus, 2004).

Статистическая обработка данных была произведена по методу Доспехова (Доспехов, 1985).

### Результаты и обсуждение

Целью настоящих исследований являлся отбор перспективных гибридов F<sub>2</sub> *Salvia sclarea* L., для получения новых сортов с высокими показателями признаков продуктивности и с высоким содержанием эфирного масла. Во втором году вегетации, у гибридов F<sub>2</sub> шалфея мускатного, были изучены количественные признаки продуктивности: высота растения, длина соцветия, подсчитаны количество разветвлений первого и второго порядка.

Исследуемые гибриды значительно различаются по основным признакам растения. К примеру, высота растения варьировала от 108 до 123 см (Фиг. 1). Хорошие показатели продемонстрировала простая гибридная комбинация (NC 100-11 S<sub>2</sub> x M-69 313 S<sub>13</sub>)F<sub>2</sub> - 122,4 см (Фиг. 1, № 2). Самые высокорослые, хорошо развитые растения, более 123 см, были выявлены у трёхлинейного [(V-24-86 691-80 S<sub>3</sub> x O-36 S<sub>3</sub>)F<sub>9</sub> x AP 84-11 S<sub>2</sub>]F<sub>2</sub> и ступенчатого [(O-42 x Rubin)F<sub>1</sub>x S-786)B<sub>6</sub> x AP26-11 S<sub>2</sub>]F<sub>2</sub> гибрида (Фиг. 1, № 11, 16).

Другой количественный признак продуктивности гибридов шалфея мускатного, изученный нами, это длина соцветия, которая у большинства генотипов превышает 52 см (Фиг. 1). У тройного гибрида [(V-24-86 691-80 S<sub>3</sub> x O-36 S<sub>3</sub>)F<sub>9</sub> x AP 84-11 S<sub>2</sub>]F<sub>2</sub>, длина соцветия достигает 63.3 см (Фиг. 1, № 11). Самыми крупными, компактными соцветиями, длиной 65.1 см отличается ступенчатый гибрид, [(O-42xRubin)F<sub>1</sub>xS-786)B<sub>6</sub>xAP26-11 S<sub>2</sub>]F<sub>2</sub> и также у этой гибридной комбинации отмечены самые высокорослые, хорошо развитые растения (Фиг. 1, № 16).

Исследования показали, что соотношение длины соцветия к высоте растения у большинства гибридов достигает 50 и более процентов, что указывает на потенциальную продуктивность шалфея мускатного. Более 52,3%, было отмечено у двойного гибрида [(O-23 S<sub>3</sub> x Trakiika)F<sub>8</sub> x (Cr.p. 1 S<sub>1</sub>x M-69)F<sub>11</sub>]F<sub>2</sub> (Фиг. 1, № 13). У генотипов [NC34-11S<sub>2</sub> x (S-1122 528 S<sub>3</sub> x S.s.Tien-Shan/sud)F<sub>6</sub>]F<sub>2</sub>, [(O-42 x Rubin)F<sub>1</sub>x S-786)B<sub>6</sub> x AP26-11 S<sub>2</sub>]F<sub>2</sub> и [AP 63-11 S<sub>2</sub> x (H1S<sub>3</sub> x M-69 5 S<sub>3</sub>)F<sub>12</sub>]F<sub>2</sub> отмечено 52,5, 52,6 и соответственно 52,7% (Фиг. 1, № 5, 16, 4). Самое хорошее соотношение длины соцветия к высоте растения было отмечено у ступенчатого гибрида [AP 29-11 S<sub>2</sub> x (O-42 x Rubin)F<sub>1</sub> x S-786)F<sub>8</sub>]F<sub>2</sub> – 53,0% (Фиг. 1, № 14).

Материалы III международной научной конференции  
 «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

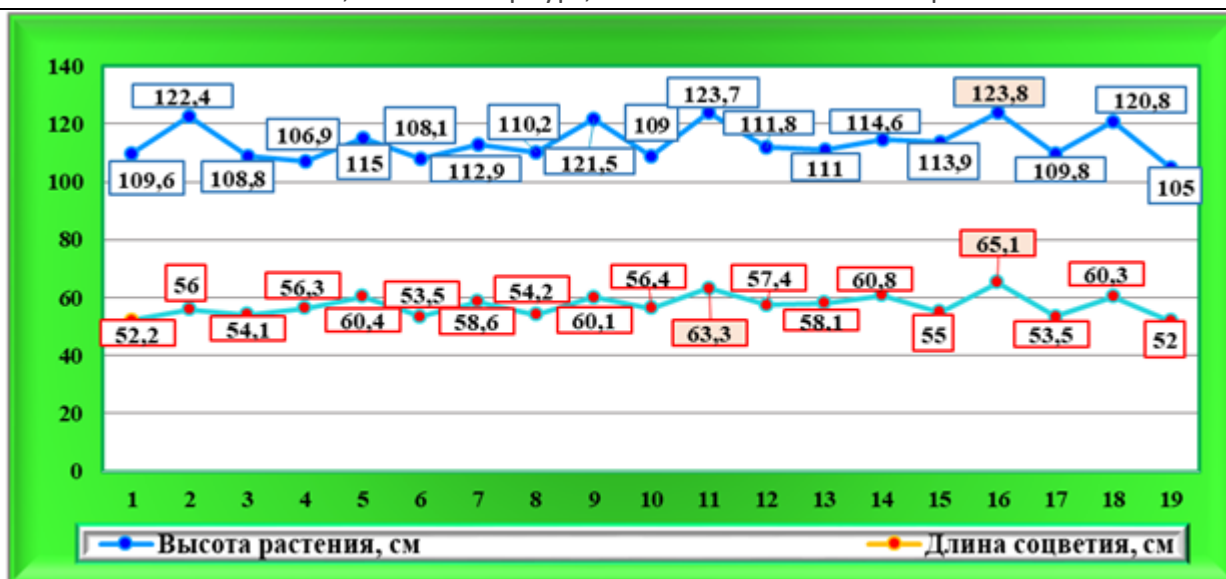


Рисунок 1. Количественные признаки продуктивности растения у гибридов F<sub>2</sub> *Salvia sclarea*

Продуктивность шалфея мускатного, как и у других лекарственных и ароматических растений, зависит от генотипа, и от сложившихся метеоусловий, влияющих на количественные признаки растения. В условиях засушливого лета 2020 года, с очень высокими температурами, большинство гибридов, имели компактное соцветие, о чем свидетельствует большое количество разветвлений I и II порядков.

И так, количество ветвей первого порядка варьирует от 13.0 до 17.7, а второго – от 21.2 до 34.2 (Рис. 2). Тройные гибриды [AP 41 -11 S<sub>2</sub> x (S-1122 9 S<sub>3</sub> x K-17)F<sub>11</sub>]F<sub>2</sub> и [AP 87-11 S<sub>2</sub> x (S-1122 5 S<sub>3</sub> x K-17)F<sub>10</sub>]F<sub>2</sub> формируют в сумме по 46.8 разветвлений I и II порядков (Рис. 2, № 8, 9).



Рисунок 2. Количество разветвлений I и II порядка гибридов F<sub>2</sub> *Salvia sclarea*

Двойные гибриды [(0-46 S<sub>4</sub> x K-36 F<sub>4</sub>) F<sub>9</sub> x (0-57 S<sub>5</sub> x 0-20 S<sub>5</sub>)F<sub>9</sub>]F<sub>2</sub> и [(0-23 S<sub>3</sub> x Trakiika) F<sub>8</sub> x (Cr.p. 1 S<sub>1</sub>x M-69)F<sub>11</sub>]F<sub>2</sub> формируют в среднем по 47 разветвлений (Рис. 2, № 12, 13). С самым большим количеством разветвлений соцветия выделились два ступенчатых гибрида: [(Cr.p.1 S<sub>1</sub>x M-69)F<sub>12</sub>

х (S-3 x M -69)F<sub>2</sub> x Cr.p.1 S<sub>2</sub>)F<sub>8</sub>]F<sub>2</sub> и (NC 11 -11 S<sub>2</sub> x (M-69 429-82 S<sub>3</sub> x S.s.Turkmen/N)F<sub>1</sub> x S-1122 172 S<sub>3</sub>)F<sub>9</sub>]F<sub>2</sub> и их количество составило 51 и соответственно 51,9 ветвей (Рис. 2, № 18, 15).

Крупные, компактные соцветия, с большим количеством разветвлений, чашечек и цветков, способствуют накоплению высоких концентраций эфирного масла. Отбор перспективных гибридов шалфея мускатного, с высокими показателями продуктивности, с высоким содержанием эфирного масла, являлся основным критерием настоящих исследований. Полученные данные показали, что содержание эфирного масла в соцветиях у исследуемых гибридов в пересчете на сухой вес, варьирует в пределах 0.921-1.622% (Рис. 3).

Определение содержания эфирного масла показало, что у 18 из 19 исследуемых гибридов эта цифра превышает один процент (Рис. 3). Соцветия простого гибрида (NC 100-11 S<sub>2</sub> x M-69 313 S<sub>13</sub>)F<sub>2</sub> синтезируют и аккумулируют 1,218% эфирного масла в пересчете на сухой вес (Рис. 3. № 2). Двойной гибрид [(0-23 S<sub>3</sub> x Trakiika)F<sub>8</sub> x (Cr.p. 1 S<sub>1</sub> x M-69)F<sub>11</sub>]F<sub>2</sub> аккумулировал 1,297% (с.в.) (Рис. 3. № 13). Высокий показатель по этому признаку был выявлен у гибрида (NC 96-11 S<sub>2</sub> x M-69 147 S<sub>13</sub>)F<sub>2</sub> - 1,364% (рис. 3. № 1). Две трёхлинейные гибридные комбинации [(M-69 10 S<sub>4</sub> x S 1122)F<sub>10</sub> x AP 68-11 S<sub>3</sub>]F<sub>2</sub> и [(V-24-86 691-80 S<sub>3</sub> x 0-36 S<sub>3</sub>)F<sub>9</sub> x AP 84-11 S<sub>2</sub>]F<sub>2</sub> были на одном уровне и содержание эфирного масла составило по 1.436% (с.в.) для каждой (рис. 2. N. 10, 11). Самые высокие результаты показали ступенчатые гибриды [NC 11-11 S<sub>2</sub> x (M-69 429-82 S<sub>3</sub> x S.s.Turkmen/N)F<sub>1</sub> x S-1122 172 S<sub>3</sub>)F<sub>9</sub>]F<sub>2</sub> и [(M-69 429-82 S<sub>3</sub> x S.s.Turkmen/N)F<sub>1</sub> x S-1122 172 S<sub>3</sub>)F<sub>9</sub>]F<sub>2</sub> x (M-69 429-82S<sub>3</sub> x M-69 10 S<sub>4</sub>)F<sub>1</sub> x K-17)F<sub>6</sub>]F<sub>2</sub> и содержание эфирного масла в пересчете на сухой вес, составило 1,508% и соответственно 1,622% (Рис. 3. № 15, 19).

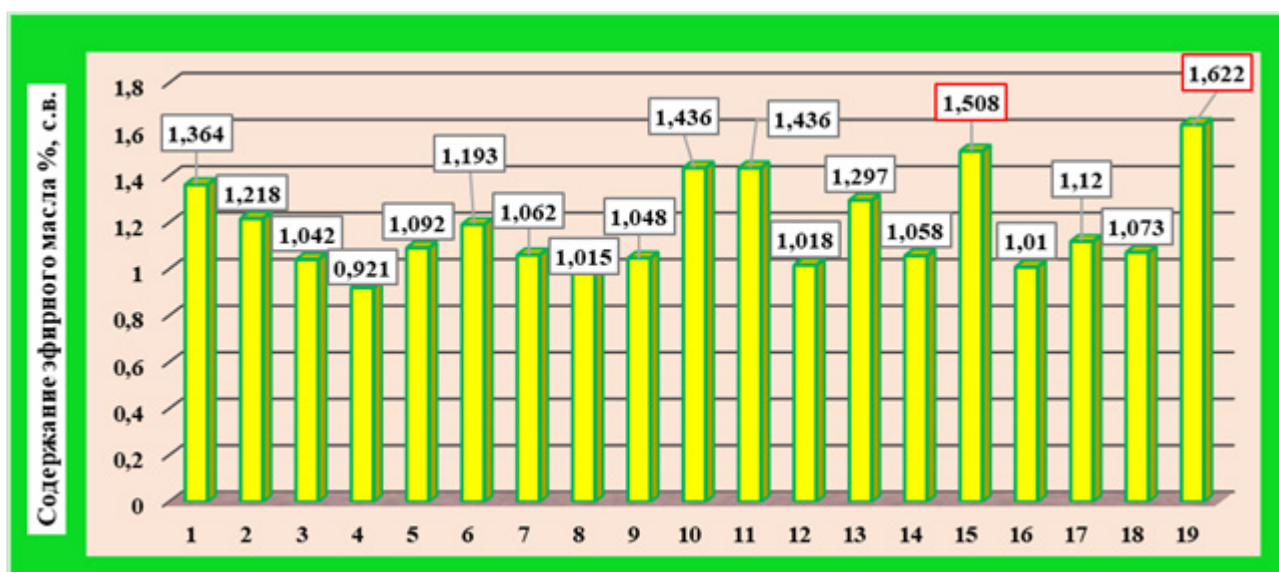


Рисунок 3. Содержание эфирного масла у гибридов F<sub>2</sub> *Salvia sclarea*

### Заключение

Выделились гибриды F<sub>2</sub> шалфея мускатного, с хорошо развитыми, высокорослыми растениями, высотой более 123см; крупными, компактными соцветиями, длиной 65см; соотношение длины соцветия к высоте растения составило 53.0%; разветвления первого и второго порядков у некоторых гибридов составляет в сумме более 51 ветвей. Отобраны 5 гибридов F<sub>2</sub> с очень высоким содержанием эфирного масла, от 1,364 до 1.622%, которые являются ценным селекционным материалом для разработки новых сортов гибридного происхождения.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.07 «Снижение последствий изменения климата путем создания, внедрения сортов лекарственных и ароматических растений, устойчивых к засухе, морозам, болезням и обеспечивающие устойчивое развитие сельского хозяйства, гарантируя высококачественное сырьё, предназначенного для парфюмерной, косметической, фармацевтикой и пищевой промышленности», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.

### Список литературы / References

Cotelea, L., Goncariuc, M., Balmuş, Z., Butnaraş, V., Maşcovţeva, S., Botnarenco, P. Studiul caracterelor cantitative la hibridii F2 de diferită complexitate de *Salvia sclarea* L. În: Biotehnologii avansate – realizări și perspective: materialele celui de al III-lea simp. naț. cu participare intern.: Teze, Chişinău, 24-25 oct., 2013. Ch., 2013, p. 152.

Cotelea Ludmila, Goncariuc Maria, Balmuş Zinaida, Butnaraş Violeta, Botnarenco P. Evaluarea și selectarea hibridilor de *Salvia sclarea* L., în calitate de forme parentale, utilizate în hibridări. Conferința științifică națională cu participare internațională. "Știința în Nordul Republicii Moldova: realizări, probleme, perspective" (ediția a treia), Bălți, 21-22 iunie 2019, pp. 113-119. ISBN 978-9975-3316-1-6.

Goncariuc Maria. Şerlaiul. În: Ameliorarea specială a plantelor. Chişinău, 2004, p. 525-541.

Goncariuc Maria. Plante medicinale și aromatice cultivate. Monografie. Chişinău, 2008, p. 199 – 202.

Goncariuc Maria. Cercetări de genetică și ameliorare la *Salvia sclarea* L. Akademos, nr. 3 (30), 2013, p. 77-84.

Goncariuc, M. Moldavian medicinal and aromatic plants varieties. J. Hop and Medicinal Plants, Vol.22, No. 1-2, 2014, pp.51-62.

Goncariuc, M.; Balmuş, Z.; Cotelea, L. Genetic diversification of *Salvia sclarea* L. quality by increasing the storage capacity of the essential oil. Oltenia Journal for Studies in Natural Sciences 2016, (Proceedings of the 23rd International Conference of the Oltenia Museum), Tom. XXXII, No. 1 / 2016, Romania, pp.29-36.

Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва. Агропромиздат. 1985. с. 185-245.

### PERSPECTIVE HYBRIDS F2 OF *SALVIA SCLAREA* WITH HIGH ESSENTIAL OIL CONTENT

L. COTELEA, M. GONCARIUC, Z. BALMUS, V. BUTNARAS

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, ludmilacotelea@rambler.ru*

**Abstract.** The article presents the results of a study of simple, trilinear, double, and stepped and complexes of *Salvia sclarea* L. hybrids of clary sage, in the second year of the growing season. 19 hybrids F2 *Salvia sclarea* L. Hybrids of the second generation of *Salvia sclarea* L., differ in quantitative plant characteristics as: plant height (105.0 to 123.8 cm), the length of the inflorescence (52.0-65.1 cm), and the number of branches of the first (12.6-17.7) and the second level of the inflorescence (21.2-34.2). Selected hybrids recorded a very high content of essential oil: 1,364-1,622%.

**Keywords.** *Salvia sclarea*, hybrid, quantitative characters, essential oil.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРИБКОВЫХ ПАТОГЕНОВ РОДОВ *FUSARIUM*, *ALTERNARIA*, *ASPERGILLUS*, *PENICILLIUM* И *MYROTHECIUM* В СЕМЕНАХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПОМОЩИ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

И. И. КУЗНЕЦОВА

*Институт генетики, физиологии и защиты растений,  
Кишинев, Республика Молдова, tatakuz@mail.ru*

**Аннотация.** Статья посвящена изучению распространенности грибковых патогенов родов *Fusarium*, *Myrothecium*, *Alternaria*, *Penicillium* и *Aspergillus* в семенах озимой пшеницы (сорта – Молдова-66, Молдова-614, Куяльник) урожая 2018, 2019 и 2020 годов. Данная работа была проведена с целью определения сортов озимой пшеницы с наименьшей фитопатогенной нагрузкой семян для закладки на длительное хранение. Методами исследования были *PCR* и *nested PCR* с использованием родоспецифичных и видоспецифичных праймеров. *Alternaria alternata*, *Fusarium spp.* и *Penicillium spp.* обнаружены во всех изучаемых сортах пшеницы урожая 2018 – 2020 годов. Использование видоспецифичных праймеров показало, что в 2018 году наибольшее распространение в семенах получила *Alternaria alternata* и *Fusarium avenaceum*, сорта местной селекции Молдова-66 и Молдова-614 содержали меньше всего фитопатогенов из исследуемого ряда возбудителей грибковой инфекции. Виды фузариума (*F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. verticillioides*, *F. equiseti*, *F. sporotrichioides*, *F. incarnatum*) были обнаружены в образцах ДНК семян сорта Куяльник (2019). Семена сортов Молдова-66 и Молдова-614 урожая 2019 года в меньшей степени заражены спорами изучаемых грибковых патогенов, особенно, в сравнении с сортом Куяльник урожая 2019 года. В образцах ДНК семян всех изученных сортов урожая 2020 года был обнаружен *F. equiseti*, в ДНК семян сорта Молдова-66 также был обнаружен *F. sporotrichioides*. *Myrothecium roridum* обнаружен только в сорте Молдова-614 (2020 г.). *Albifimbria verrucaria* и *Aspergillus parasiticus* не обнаружены ни в одном образце ДНК семян изученных сортов. Установлено, что сорта Молдова 66 и Молдова 614 урожая 2018 и 2019 годов содержат меньше всего грибковых патогенов. Наиболее уязвимым для заражения грибковыми патогенами оказался сорт Куяльник, семена собраны в 2019 году. Сорта Молдова-66 и Молдова-614 местной селекции могут характеризоваться как более устойчивые к заражению грибковыми патогенами. По результатам молекулярно-генетических исследований для закладки на длительное хранение могут быть использованы семена сортов Молдова-66 и Молдова-614 урожая 2018 и 2019 годов.

**Ключевые слова.** Грибковые фитопатогены, пшеница, молекулярно-генетические методы.

**Введение**

Грибковые патогены родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium* и *Myrothecium* представлены многочисленными видами плесневых грибов, распространенных повсеместно. Патогенные грибки родов *Alternaria*, *Fusarium* и *Penicillium* способны уничтожить от 50 до 90% урожая зерновых и овощных культур. Кроме того, грибки родов *Alternaria*, *Penicillium* и *Fusarium* способны поражать собранный урожай в хранилищах, что приводит к изменению органолептических свойств продукции, потере товарного вида и гниению. Большинство плесневых грибов указанных родов является продуцентами микотоксинов — вторичных метаболитов, представляющих серьезную опасность для здоровья человека. Микотоксины обладают разной степенью токсичности. Поэтому эти вещества находятся под строгим контролем фитосанитарных служб стран — членом Европейского союза, а их допустимые концентрации в продуктах питания жестко регламентируются. В процессе длительного хранения зерна без соблюдения необходимых условий интенсивное развитие получают грибки родов *Myrothecium* и *Aspergillus*. Данная работа была проведена с целью определения сортов озимой пшеницы с наименьшей фитопатогенной нагрузкой семян для закладки на длительное хранение. На данный момент наиболее быстрыми и эффективными методами диагностики патогенов растений являются молекулярные методы на основе ПЦР.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия      14–15 сентября 2021 г.

**Маериалы и методы исследования**

Объектом исследования были семена 3-х сортов озимой пшеницы урожая 2018, 2019 и 2020 годов, собранные на опытных участках Института генетики, физиологии и защиты растений Республики Молдова. Сорты местной селекции Молдова-66 и Молдова-614, а также сорт-стандарт Куяльник (Украина)

Выделение ДНК: суммарная ДНК была выделена из 1 грамма (24-25 зерновок) семян озимой пшеницы указанных сортов урожая 2018-2020 годов методом ISO (21571:2005), которая затем использовалась для ПЦР анализа. Для навески отбирались выполненные визуально здоровые семена без каких-либо дефектов.

Аmplification. Для анализа грибов родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium* и *Aspergillus* были проведены реакции nested-ПЦР. В таблице содержится информация об используемых парах праймеров 2 раунда nested-ПЦР для определения видового разнообразия *Fusarium* spp., *Myrothecium* spp., *Penicillium* spp., *Aspergillus parasiticus* и *Alternaria alternata*, также приведены размеры амплифицируемых фрагментов (GenBank). Определяемые виды грибов, указанные в таблице, наиболее распространены в нашем регионе и встречаются довольно часто, независимо от года и условий вегетации.

Таблица. Праймеры 2 раунда, подобранные для идентификации фитопатогенов методом ПЦР

Патоген	Пара праймеров	Последовательность (5'→3')	Область генома	Ампликон (п.о.)
<i>Aspergillus parasiticus</i>	ap3 (F)	TTGTTCTGGGCGAAGCATCAT	Oxidoreductase (ordA)	940
	ap4 (R)	CCAAAGGCGAAGCAGGGT		
<i>Alternaria alternata</i>	aa2 (F)	GGCGTCAGCAGAGGGAG	Glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase gene (GPD)	289
	aa3 (R)	ACACCCATAACGAACATGGGG		
<i>Penicillium</i> spp.	p18/2 (F)	ACTCTGCCTGAAGATTGTCGT	18S ribosomal RNA gene	249
	p18/3 (R)	CGGAATCGGAGGACGGG		
<i>Fusarium</i> spp.	fc3(F)	CCATCGAGAAGTTCGAGAAGGTT	TEF1 gene	300
	fc4(R)	CCCAGGCGTACTTGAAGGAA		
<i>F. verticillioides</i>	Fv2(F)	ATCGTAAACCCGGCCAAGAC	TEF1 gene	302
	fv4(R)	GGAATGGGAGAGGGCAGAAAC		
<i>F. avenaceum</i>	fa3(F)	CGACTCGCTCCCTCATTCG	TEF1 gene	139
	fa4(R)	GTTTTGTGGGAACAGGGCAAG		
<i>F. oxysporum</i>	Fox2 (F)	GTCAACATACTGACATCGTTTCACA	TEF1 gene	328
	fox4(R)	ACGTGACGACGCACTCATT		
<i>F. equiseti</i>	fpeqin2(F)	TCCCAGAATCAATACGCTAACC	β-tubulin gene	104
	fpeqin3(R)	TCACTGGGTAACAAGGTCGAAGA		
<i>F. sporotrichioides</i>	fqspte2 (F)	CTCTCATACGACGACTCGACAAG	tef1 gene	135
	Fqspte3 (R)	TGTGTGGGAAGGGCAAAGC		
	myr3 (F)	TGTCTTTAGTGTTTTCTCTCTGA		306



Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference  
**“Agrophysics Trends: from actual challenges in arable farming and crop production towards advanced technologies”**

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

September 14-15, 2021

Патоген	Пара праймеров	Последовательность (5'→3')	Область генома	Ампликон (п.о.)
<i>Myrothecium roridum</i>	myr4 (R)	GAGACCGCCACTGAATTTTCG	ITS-small subunit ribosomal RNA gene	
<i>Albifimbria verrucaria</i>	av3 (F)	GCTCAAGTCGCAACGAGATTC	calmodulin gene	272

Реакция проводилась в 25 мкл, включающих 66 мМ Tris-HCl (pH 8.4), 16 мМ (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 2,5 мМ MgCl<sub>2</sub>, 0,1 % Tween 20, 7 % глицерол, 100 мкл-1 BSA, 0,2 мМ каждого dNTP, 1,25 единиц Taq ДНК полимеразы (Thermo Fisher Scientific), 5 пМ прямого и обратного праймеров и 10 нг ДНК.

Условия проведения полимеразной цепной реакции. Первый раунд: 3 мин денатурации при 95°C, затем 30 циклов, включающих денатурацию (1 мин, 95°C), отжиг (1 мин, 60°C), элонгацию (1 мин, 72°C), и 1 цикл финальной элонгации (7 мин, 72°C). Второй раунд: 30 циклов, включающих денатурацию (1 мин, 95°C), отжиг (1 мин, 60°C), элонгацию (1 мин, 72°C), и 1 цикл финальной элонгации (7 мин, 72°C). Продукты амплификации были разделены с помощью гель-электрофореза в 1,5% агарозном геле с добавлением бромистого этидия в конечной концентрации 5мкг/мл, использовался молекулярный маркер (М) фирмы ThermoScientific (GeneRuler 100 bp DNA). Визуализация проводилась в УФ свете при длине волны 302 нм.

### Результаты и обсуждение

Анализ электрофореграмм позволил установить наличие *Alternaria alternata*, *Penicillium spp.* и *Fusarium spp.* во всех образцах ДНК семян изучаемых сортов озимой пшеницы урожая 2018-2020 годов (рис. 1, 2, 3). *Albifimbria verrucaria* и *Aspergillus parasiticus* не обнаружены ни в одном образце ДНК семян изученных сортов.

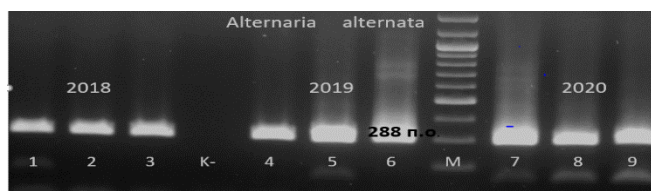


Рис. 1. Результаты ПЦР идентификации *Alternaria alternata*

1 – Молдова 66, 2 – Молдова 614, 3 – Куяльник, 2018, К - Контроль H<sub>2</sub>O, 4 - Молдова 66, 5 - Молдова 614, 6 – Куяльник, 2019, М – Маркер, 7 – Молдова 66, 8 – Молдова 614, 9 – Куяльник, 2020. Нумерация образцов ДНК одинакова для всех рисунков.

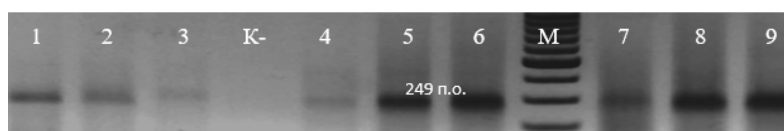


Рис. 2. Результаты ПЦР идентификации *Penicillium spp.*

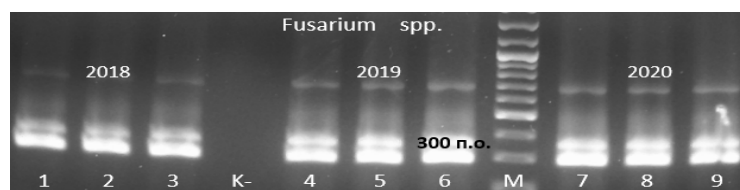


Рис. 3. Результаты ПЦР идентификации *Fusarium spp.*

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Наибольшее количество видов фузариума было обнаружено в семенах озимой пшеницы сорта Куяльник урожая 2019 года (*F. verticillioides*, рис. 4А; *F. oxysporum*, рис. 4Б, *Fusarium avenaceum*, рис. 5).

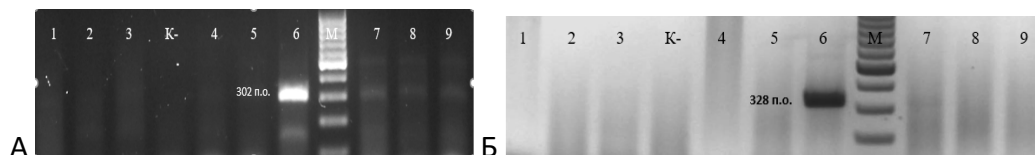


Рис. 4. Результаты ПЦР идентификации *F. verticillioides* (А), *F. oxysporum* (Б)



Рис. 5. Результаты ПЦР идентификации *Fusarium avenaceum*

На рис.5 видно, что *Fusarium avenaceum* часто встречается в образцах ДНК семян озимой пшеницы независимо от года вегетации (обнаружен в 2018, 2019 и 2020 годах), несмотря на то что сезоны вегетации сильно отличались друг от друга по параметрам температуры и влажности. На рис.6А представлены результаты реакции *nested PCR* с праймерами к *F. equiseti*. Этот патоген обнаружен в семенах сорта Куяльник (2019), а также в образцах ДНК семян всех исследованных сортов озимой пшеницы в 2020 году (Молдова-66, Молдова-614, Куяльник). На рис. 6Б представлены результаты реакции амплификации с праймерами к *F. sporotrichioides* (135 пар оснований), этот патоген обнаружен в семенах сорта Куяльник (2019) и в ДНК семян сорта Молдова-66 (2020).

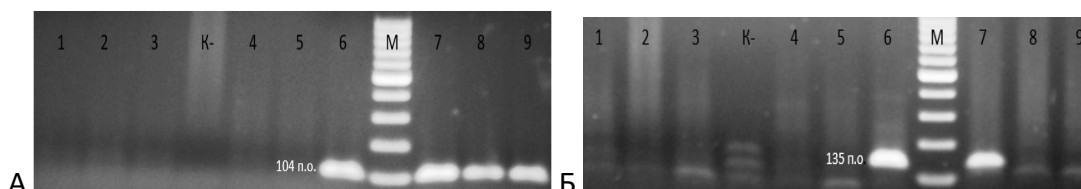


Рис. 6. Результаты ПЦР идентификации *F. equiseti* (А) и *F. sporotrichioides* (Б). 1 – Молдова 66, 2 – Молдова 614, 3 – Куяльник, 2018, К - Контроль H<sub>2</sub>O, 4 - Молдова 66, 5 - Молдова 614, 6 – Куяльник, 2019, М – Маркер, 7 – Молдова 66, 8 – Молдова 614, 9 – Куяльник, 2020

Из рода *Myrothecium* определялись 2 грибных патогена *Myrothecium roridum* и *Albifimbria verrucaria*. В семенах озимой пшеницы сорта Молдова-614 (2020) обнаружен только *Myrothecium roridum* (рис. 7).

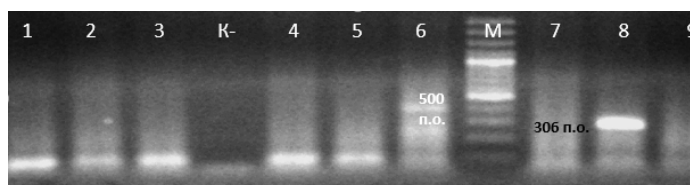


Рис. 7. Результаты ПЦР идентификации *Myrothecium roridum*. 1 – Молдова 66, 2 – Молдова 614, 3 – Куяльник, 2018, К - Контроль H<sub>2</sub>O, 4 - Молдова 66, 5 - Молдова 614, 6 – Куяльник, 2019, М – Маркер, 7 – Молдова 66, 8 – Молдова 614, 9 – Куяльник, 2020

Сорт Куяльник считается стандартом продуктивности и является среднеустойчивым к фузариозу колоса, однако сорта Молдова-66 и Молдова-614 содержат меньше грибной инфекции

изучаемого ряда, в особенности семена урожая 2018 и 2019 годов, по сравнению с сортом Куяльник.

#### **Выводы**

*Alternaria alternata*, *Fusarium spp.* и *Penicillium spp.* обнаружены во всех изучаемых сортах пшеницы урожая 2018-2020 годов. 5 видов фузариума (*F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. verticillioides*, *F. equiseti*, *F. sporotrichioides*) были обнаружены в ДНК семян сорта Куяльник (2019).

В семенах всех изучаемых сортов озимой пшеницы урожая 2020 был обнаружен *F. equiseti*. Сорт Молдова 66 также был инфицирован *F. sporotrichioides*, а Молдова 614 - *Myrothecium roridum*.

По результатам молекулярно-генетических исследований для закладки на длительное хранение могут быть взяты семена сортов Молдова-66 и Молдова-614 урожая 2018 и 2019 годов.

#### **Благодарности**

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.11 «Длительное сохранение генетических ресурсов растений в геномном банке с использованием методов молекулярной биологии в тестировании состояния здоровья растительной зародышевой плазмы», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию, Республики Молдова.

#### **Список литературы / References**

GenBank <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>

ISO 21571:2005(en) Foodstuffs — Methods of analysis for the detection of genetically modified organisms and derived products — Nucleic acid extraction [Online]. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:21571:ed-1:v1:en>

Mycobank Database <http://www.mycobank.org>

### **DETECTION OF FUNGAL PATHOGENS OF FUSARIUM, ALTERNARIA, ASPERGILLUS, PENICILLIUM AND MYROTHECIUM GENERA IN WINTER WHEAT SEEDS BY THE METHODS OF MOLECULAR GENETICS**

I.I. CUZNETSOVA

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau, the Republic of Moldova,*  
*mamakuza@mail.ru*

**Abstract.** The article describes the abundance of the fungal pathogens of *Fusarium*, *Myrothecium*, *Alternaria*, *Penicillium* and *Aspergillus* genera in the seeds of winter wheat (cultivars: Moldova-66, Moldova-614, Kuialnik) harvested in 2018, 2019 and 2020. The goal of the present research was to determine the winter wheat cultivars with the lowest phytopathogen load of the seeds destined for a long-term storage. The methods applied were PCR and nested PCR (polymerase chain reaction) using genus-specific and species-specific primers. *Alternaria alternata*, *Fusarium spp.* and *Penicillium spp.* were detected in all studied wheat cultivars harvested between the years 2018 – 2020. The presence of toxigenic *Fusarium* species in different vegetation periods was shown. The *Fusarium* species (*F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. verticillioides*, *F. equiseti*, *F. sporotrichioides*, *F. incarnatum*) were detected in the DNA samples of Kuialnik seeds (2019). *Albifimbria verrucaria* and *Aspergillus parasiticus* were not detected in any seed DNA samples of the studied cultivars. The cultivars Moldova 66 and Moldova 614, harvested in 2018 and 2019, were shown to be the least infected with the studied pathogens, especially compared with the partially resistant to *Fusarium* Kuialnik cultivar. According to the molecular genetics data, the seeds of the cultivars Moldova-66 and Moldova-614 harvested in 2018 can be used for a long-term storage.

**Keywords:** nested PCR, fungal pathogens, winter wheat, species-specific primers.

## БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ В КОРНЕОБИТАЕМОЙ СРЕДЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

Т.Э. КУЛЕШОВА<sup>1,2</sup>, Н.Р. ГАЛЛЬ<sup>2</sup>, А.С. ГАЛУШКО<sup>1</sup>, О.Р. УДАЛОВА<sup>1</sup>, Л.М. АНИКИНА<sup>1</sup>,  
В.Е. ВЕРТЕБНЫЙ<sup>1</sup>, В.И. ДУБОВИЦКАЯ<sup>1</sup>, Ю.В. ХОМЯКОВ<sup>1</sup>, Г.Г. ПАНОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),  
Санкт-Петербург, [www.piter.ru@bk.ru](mailto:www.piter.ru@bk.ru);

<sup>2</sup> ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

**Аннотация.** Исследована зависимость величины биопотенциала, генерируемого в прикорневой зоне в ходе вегетационного периода, от состава питательного раствора на примере салата при культивировании методом паноупоники.

**Ключевые слова.** Ризосфера, электрогенез, раствор Кнопа

### Введение

В процессе развития растений в корнеобитаемой среде наблюдается создание биоэлектрического потенциала (БЭП) за счет активизации биологических и физико-химических процессов, сопутствующих развитию растительных организмов (Поздняков, 2013). При этом, предположительно, источником ЭДС выступают окислительно-восстановительные реакции ризосферы и корневая система растений, обеспечивающая создание градиента электрических потенциалов за счет транспорта ионов.

Перемещение ионов в корнеобитаемой среде и разделение электрических зарядов корневой системой в процессе жизнедеятельности растений может стать новым альтернативным зеленым источником электроэнергии (Kuleshova et al., 2021). Целью данной работы было исследование влияния состава питательного раствора на электрогенные процессы в системе «корнеобитаемая среда – растения».

### Объекты и методы исследования

Фитотест-объектом служил салат сорта Азарт. Испытания проводили в условиях интенсивной светокультуры на биополигоне ФГБНУ АФИ. Растения выращивали по технологии тонкослойной паноупоники в вегетационной установке с лампами ДНаТ в качестве источников света. Облученность составляла 70–75 Вт/м<sup>2</sup>, температура воздуха в пределах +20–22°C днем и +18–20°C – ночью, относительная влажность воздуха – 65–70%.

Для регистрации биоэлектрических потенциалов, формируемых в корнеобитаемой среде, в емкости для выращивания устанавливали электродные системы, как описано в (Кулешова и др., 2021). Было исследовано три варианта, различающиеся по исходному составу питательного раствора содержанием разных форм азота: вариант 1 содержал нитратную форму азота, вариант 2 – аммиачную, вариант 3 – смешанные. В каждый вариант были дополнительно добавлены микроэлементы по Чеснокову (Чесноков и др., 1960).

### Результаты и обсуждение

В процессе развития растений салата был зарегистрирована динамика разности потенциалов между корневой шейкой и питательным раствором. Поверхностный контакт кончиков корней и электрода, расположенного в питательном растворе на дне емкости для выращивания на расстоянии 50 мм от основания растений, происходил примерно на 7–13 день вегетационного периода.

На рис. 1 представлена динамика биоэлектрического потенциала для исследованных растений салата, культивированных в разных по составу питательных растворах. Наибольшая величина БЭП 170 мВ зарегистрирована при выращивании в растворе Кнопа (вариант 1), среднее значение

составило 125 мВ. Ожидаемого увеличения разности потенциалов для варианта 2, не содержащего потенциального акцептора электронов  $\text{NO}_3^-$ , не произошло, средняя величина БЭП была на уровне 50 мВ. Для варианта 3 также наблюдаются пониженные значения биопотенциала со средним значением 75 мВ. Интересно отметить более быстрое снижение БЭП для вариантов 2 и 3, содержащих аммонийный азот, уже на 15-ый день вегетационного периода, тогда как для варианта 1 уменьшение биопотенциала наблюдается, начиная лишь с 20-ого дня развития.

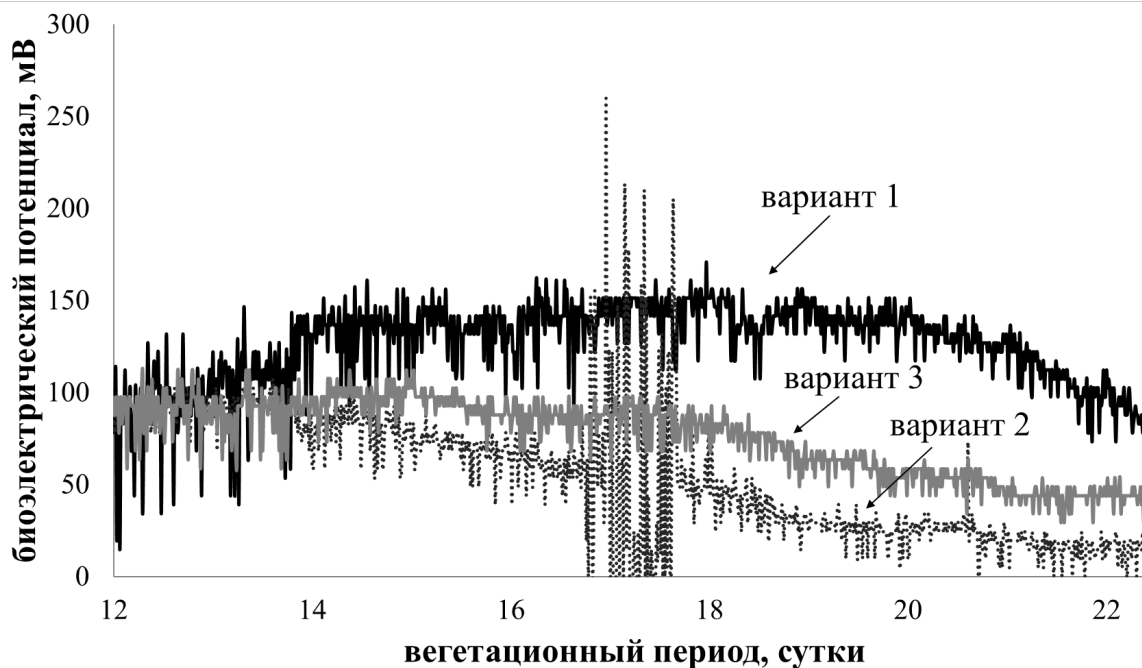


Рис. 1. Динамики биоэлектрического потенциала в корнеобитаемой среде салата в зависимости от состава питательного раствора.

Результаты биохимического анализа листьев салата, выращенного в разных питательных растворах представлены в табл. 1. Различия в составе питательного раствора практически не повлияли на влажность листьев, содержание сухого вещества, кальция, магния. Присутствие в растворах 2 и 3 аммонийной формы азота способствовало достоверному повышению содержания в растениях сахаров, в виде тенденции или значимому увеличению содержания витамина С, азота, фосфора, железа. При этом отмечались значительные различия в концентрациях нитрата – как и следовало ожидать, минимальное количество характерно для варианта 2, но в котором наблюдается наиболее выраженное увеличение общего содержания азота и фосфора, сахаров. Тогда как в сравнении с другими вариантами в варианте 1 больше калия, а в варианте 3 – железа, нитрата и витамина С. Следует отметить, что содержание нитрата в листьях салата во всех вариантах опыта не превышало ПДК (СанПин 2.3.2.1078-01).

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1. Биохимический состав растительной продукции в экспериментальных ячейках с различным питательным раствором

Параметр	Вариант питательного раствора		
	1	2	3
Влажность, %	94,21	94,88	94,03
Сухое вещество, %	5,79	5,12	5,97
Сумма сахаров, % а.с.в.	15,49	18,94	18,46
Витамин С, мг/100 г н.в.	14,52	16,06	16,94
Нитрат, мг/кг н.в.	940	247	1157
Железо, мг/кг а.с.в.	100,3	110,8	120,2
Азот, % а.с.в.	3,35	4,72	3,63
Фосфор, % а.с.в.	0,54	0,67	0,59
Калий, % а.с.в.	7,87	5,56	5,91
Кальций, % а.с.в.	1,16	1,09	1,12
Магний, % а.с.в.	0,566	0,583	0,601

### Выводы

Таким образом, лучшим из исследованных вариантов питательного раствора для создания гидропонного топливного элемента на основе электрогенных процессов ризосферы является классический раствор Кнопа, содержащий азот в нитратной форме.

### Список литературы / References

- Кулешова Т.Э., Галль Н.Р., Галушко А.С., Удалова О.Р., Вертебный В.Е., Панова Г.Г. Растительно-микробный топливный элемент на примере салата при культивировании методом панопоники //Аграрный научный журнал. 2021. № 1. С. 24-28.
- Поздняков А.И. Биоэлектрические потенциалы в системе почва растение //Почвоведение. 2013. №. 7. С. 813-813.
- Чесноков В.А., Базырина Е.Н., Бушуева Т.М. Выращивание растений без почвы. 1960. Изд. ЛГУ.
- Kuleshova T.E., Gall N.R., Galushko A.S., Udalova O.R., Panova G.G. Gradient of the rhizosphere bioelectric potentials as a source of green energy // Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology. The 6th International Scientific Conference. Abstracts. 2021. С. 132.

### BIOELECTRIC POTENTIAL IN THE ROOT HABITAT DEPENDING ON THE COMPOSITION OF THE NUTRIENT SOLUTION

T.E. KULESHOVA<sup>1,2</sup>, N.R. GALL<sup>2</sup>, A.S. GALUSHKO<sup>1</sup>, O.R. UDALOVA<sup>1</sup>, L.M. ANIKINA<sup>1</sup>, V.E. VERTEBANY<sup>1</sup>, V.I. DUBOVITSKAYA<sup>1</sup>, YU.V. KHOMYAKOV<sup>1</sup>, G.G. PANOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, [www.piter.ru@bk.ru](mailto:www.piter.ru@bk.ru);

<sup>2</sup> Ioffe Institute, St. Petersburg, Russia

**Abstract.** It was studied the dependence of the biopotential value generated in the root zone during the growing season on the composition of the nutrient solution using the lettuce grown by the panoponics method.

**Keywords.** Rhizosphere, electrogenesis, Knop solution.

## ФИТОСАНИТАРНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ В ОТНОШЕНИИ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ: ПОДХОД, КРИТЕРИЙ, ПРИНЦИП

Н.Н. ЛУНЕВА

ФГБНУ «Всероссийский институт защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР),  
Санкт-Петербург, natalja.luneva2010@yandex.ru

**Аннотация.** Фитосанитарное районирование в отношении сорных растений осуществляется на трех уровнях: регион (область), агроклиматический район, отдельное сельскохозяйственное предприятие с выделением на каждом уровне районирования подразделений сорной флоры разных типов местообитаний (экотопов). Эколого-географическая обусловленность формирования как общей, так и сорной флоры области обуславливает прогнозирования присутствия видов этих подразделений флоры не только на год (долгосрочный прогноз), но и на 5 лет вперед (многолетний прогноз).

**Ключевые слова.** Сорная флора, природные и антропогенные факторы, прогноз.

### Введение

В системе защиты растений до сих пор доминирует подход к сорным растениям, как к вредным объектам, что ограничивает их изучение пределами пахотных земель. Однако, одни и те же виды распространены не только на полях, но и на других вторичных местообитаниях с нарушенным естественным растительным (и почвенным) покровом. С переходом человека к оседлому образу жизни и появлением антропогенных местообитаний, растения с естественно нарушенных местообитаний перешли на рудеральные, а затем и на сегетальные (Гроссгейм, 1948; Мальцев, 1962; Никитин, 1983; Ульянова, 2005; Лунева, 2018). Визуализация фундаментального подхода к сорному растению, не как к вредному объекту, а как к виду, осуществлена на картах в Интернет-ресурсе «Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их болезни, вредители и сорные растения» (Афонин и др., 2008), из которых видно, что ареалы многих видов выходят за пределы площади пахотных земель. Следовательно, экологической нишей сорных растений являются не только поля, а все разнообразие вторичных нарушенных местообитаний, среди которых пашня – всего лишь их часть (Ульянова, 2005).

Давно осуществлено агроэкологическое районирование территории РФ, показывающее распределение зон возделывания разных сельскохозяйственных культур, основанное на требовательности каждого культурного растения (и его сорта) к природно-климатическим условиям произрастания. Фитосанитарное районирование в отношении сорных растений не может базироваться на агроэкологическом, поскольку, одни и те же виды сорных растений произрастают не только на полях, а на разных типах вторичных местообитаний, а специфических видов, засоряющих только одну культуру, крайне мало. Необходимо определить критерий выделения соподчиненных уровней, а также принцип осуществления фитосанитарного районирования в отношении сорных растений.

### Объекты и методы исследования

Объект исследования – совокупность сорных растений, произрастающих на территории Ленинградской области. Обусловленность формирования региональной совокупности сорных растений основными природными факторами показана с использованием эколого-географического анализа, заключающегося в сопоставлении показателей требовательности отдельного вида сорного растения к фактору тепла (показатель изолинии суммы активных температур выше +5°C, описывающей северную границу ареала вида) и влаги (показатель изолинии ГТК, описывающей южную границу) с показателями тепло- и влагообеспеченности

территории, выраженными теми же показателями (Афонин, Лунева, 2010). Для сравнения флор экотопов использованы классические методы флористики (Шмидт, 1080; Толмачев, 1986).

### **Результаты и обсуждение**

По уровню тепло- и влагообеспеченности территория Ленинградской области подходит для произрастания 117 видов сорных растений (Лунева, Федорова, 2019). Как неполная территориальная совокупность видов растений региональной флоры, приуроченная к определенной категории местообитаний, эта группа растений представляет собой экологический элемент региональной флоры (Камелин, 2017), который из-за принципиального отличия естественных (ненарушенных) мест произрастания природной (естественной) региональной флоры от вторичных (нарушенных) мест произрастания совокупности сорных растений, предложено называть не экологическим элементом флоры, а, собственно, сорной флорой (Лунева, 2021). Сравнительные флористические исследования показали, что видовой состав сорных растений на сегетальных местообитаниях (полях) и других вторичных нарушенных местообитаниях на территории области во многом схож (Мысник и др., 2015), что свидетельствует о единстве сорной флоры области.

В системе защиты растений исследования сорных растений не осуществляются на территориях промышленных, урбанизированных, а также транспортных путей. Фитосанитарное районирование связано с территориями агроландшафтов, под которыми понимаются территории природных ландшафтов, преобразованные сельскохозяйственной деятельностью, включающие местообитания, на которых производится сельскохозяйственная продукция, а также все другие местообитания, предназначенные для осуществления хозяйственной деятельности, направленной на получение этой продукции (Николаев, 1999). Природные регионы выделяются на основе природно-климатических факторов, отличающих один регион от другого, следовательно, агроландшафт, как производное природного региона, имеет такую же природную обусловленность его выделения, то есть, формирование агроландшафта обусловлено, в первую очередь, действием природного фактора. По определению в состав агроландшафта входит целый ряд антропогенных местообитаний, то есть, его формирование обусловлено также и антропогенным фактором. Следовательно, фитосанитарное районирование возможно осуществлять только с учетом обоих факторов.

Агроландшафт понятие территориальное, и как таковой, может быть дифференцирован на территории разного уровня, а районы как одного, так и разных уровней иерархии должны отвечать заранее заданным классификационным характеристикам (География, 2006), и для этого должен существовать критерий их выделения, в поисках которого обратимся к агроландшафту и сорной флоре.

Природный ландшафт Северо-Западного региона имеет естественные природно-климатические границы (Камелин, 2017). Природный ландшафт Ленинградской области имеет искусственные границы, но природно-климатические условия аналогичны условиям регионального ландшафта: то же относится и к агроландшафту Ленинградской области. Структура природной флоры Ленинградской области аналогична структуре флоры региона. Сорная флора Ленинградской области является частью общей флоры области, о чем свидетельствует сходство их структуры (Лунева, 2020). В пределах природного ландшафта области выделяются агроклиматические районы, природная флора каждого из них является частью природной флоры области, а сорная флора агроклиматического района (как совокупность видов сорных растений всех агроландшафтов определенного агроклиматического района) является частью сорной флоры агроландшафта области (Лунева, 2020). Дальнейшая территориальная дифференциация



агроклиматического района на природные регионы не осуществляется, но в пределах каждого агроклиматического района проводятся границы сельскохозяйственных предприятий, которые по определению являются элементарными агроландшафтами. Показано, что сорная флора такого отдельного агроландшафта (элементарная сорная флора) является частью сорной флоры агроклиматического района (Лунева, 2020). Элементарная сорная флора на территории элементарного агроландшафта реализуется на совокупности сегетальных (поля), и рудеральных (сформированных антропогенной деятельностью, кроме полей) местообитаний. Эти совокупности местообитаний в пределах элементарного агроландшафта представляют собой экотопы – типы местообитаний, характеризующиеся определенными признаками, отличающими их от других местообитаний. «Полную территориальную совокупность видов растений любого экологически и флористически своеобразного подразделения ландшафта, предложено называть флорой экотопа или парциальной флорой (Юрцев, 1974)» (Лунева, 2021, с. 144). Следовательно, полная территориальная совокупность видов сорных растений, произрастающих на сегетальных местообитаниях в пределах агроландшафта любого иерархического уровня, представляет собой парциальную сегетальную флору этого агроландшафта. То же относится и к сорным растениям рудеральных местообитаний – их полная территориальная совокупность является парциальной рудеральной флорой, которая формируется в региональном агроландшафте, либо в агроландшафте агроклиматического района, либо отдельного элементарного агроландшафта, но совокупность видов сорных растений одного поля не является флорой (Лунева, 2010). Более того, экология местообитаний, на которых выращиваются культуры сплошного сева и пропашные – принципиально разная, поэтому на таких экотопах формируются разные парциальные флоры (Лунева, 2017).

Таким образом, иерархические уровни сорной флоры соответствуют иерархическим уровням агроландшафта, а структура сорной флоры складывается на основе разнообразия экотопов, входящих в состав агроландшафта. Принятие в качестве критерия выделения иерархических уровней фитосанитарного районирования сорной флоры агроландшафтов, обуславливает выделение трех уровней: уровень региона (области), агроклиматического района и отдельного сельскохозяйственного предприятия, как элементарного агроландшафта (Лунева, 2020). Выше было сказано, что в формировании агроландшафта, а, следовательно, и сорной флоры агроландшафтов, принимают участие два фактора – природный и антропогенный, следовательно, районирование на основе этой сорной флоры следует осуществлять на основе незаменимости действия этих факторов. Районирование – это способ дифференциации определенного объекта по существующим территориальным единицам с учетом их специфики (География, 2006). Объект районирования – совокупности растений сорной флоры, приуроченные к специфическим территориальным единицам (экотопам). При этом дифференциацию сорной флоры на отдельные подразделения мы можем осуществить, объединяя в одно подразделение только одинаковые (равноценные) экотопы. В этом заключается принцип незаменимости и равноценности действия природных и антропогенных факторов при фитосанитарном районировании в отношении сорных растений (Лунева, 2019).

## **Выводы**

Фундаментальный подход к сорным растениям, не как к вредным объектам, а как к видам растений, обусловил принятие сорной флоры, не как случайного набора растений на полях, а как территориальной их совокупности, привязанной к вторичным местообитаниям с нарушенным растительным покровом. Сорная флора, как производное агроландшафта, дифференцируется на три иерархических уровня, соответствующих уровням иерархических подразделений

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

агроландшафта. В пределах агроландшафта каждого уровня сорная флора реализуется на разных типах вторичных местообитаний, формируя парциальные флоры экотопов. Таким образом выявляются сорные флоры сегетальных и рудеральных местообитаний, парциальные флоры посевов пропашных культур и культур сплошного сева, а также отдельных культур. Поскольку это не случайные наборы видов, а подразделения сорной флоры, которая является, в свою очередь, частью общей флоры Ленинградской области, формирование которой на территории Ленинградской области эколого-географически обусловлено, то можно прогнозировать представленность состава этих флор на территории области не только на год (долгосрочный прогноз), но и на 5 лет вперед (многолетний прогноз).

### Благодарности

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 19-016-00135).

### Список литературы / References

- Афонин А.Н., Грин С.Л., Дзюбенко Н.И., Фролов А.Н. (ред.). Агроэкологический атлас России и сопредельных государств: сельскохозяйственные растения, их вредители, болезни и сорные растения. 2008. – <http://www.agroatlas.ru>
- Афонин А.Н., Лунева Н.Н. Эколого-географический анализ распространения видов сорных растений в целях комплексного фитосанитарного районирования. Базы данных и информационные технологии в диагностике, мониторинге и прогнозе важнейших сорных растений, вредителей и болезней растений: тезисы докладов международной конференции (Санкт-Петербург-Пушкин, 14–17 июня 2010 г.). Санкт-Петербург-Пушкин: Инновационный центр защиты растений, 2010. С. 11–13.
- География. Современная иллюстрированная энциклопедия; под ред. А.П. Горкина. Москва: Росмэн, 2006. 624 с.
- Гроссгейм А.А. Растительный покров Кавказа. Москва: Изд-во МОИП, 1948. 265 с.
- Камелин Р.В. Флора Севера европейской России (в сравнении с близлежащими территориями): Учебное пособие. Санкт-Петербург: Изд-во ВВМ, 2017. 241 с.
- Лунева Н.Н. Распределение сорных растений в агрофитоценозах разных типов культур на территории Ленинградской области. Научное обеспечение развития сельского хозяйства и снижение технологических рисков в продовольственной сфере: сборник науч. трудов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава (Санкт-Петербург, 26–28 января 2017 г.) Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2017. Ч. I. С.72–74.
- Лунева Н.Н. Сорные растения: происхождение и состав. Вестник защиты растений. 2018. № 1(95). С. 26–32.
- Лунева Н.Н. Принципы фитосанитарного районирования территорий в отношении сорных растений. Фитосанитарные технологии в обеспечении независимости и конкурентоспособности АПК России: тезисы докладов IV Всероссийского съезда по защите растений с международным участием (Санкт-Петербург, 9–11 сентября 2019 г.). Санкт-Петербург: Всероссийский НИИ защиты растений, 2019. С. 26.
- Лунева Н.Н. Выделение уровней фитосанитарного районирования территории в отношении сорных растений на примере Ленинградской области. Вестник защиты растений. 2020. № 103(2). С. 119–133.
- Лунева Н.Н. Сорные растения и сорная флора как основа фитосанитарного районирования (обзор). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 2. С. 139-150.
- Лунева Н.Н., Федорова Ю.А. Фитосанитарное районирование сорных растений на макроуровне на примере Северо-Западного региона России. Вестник защиты растений. 2019. 2(100). С. 15–23.
- Мальцев А.И. Сорная растительность СССР и меры борьбы с ней. Москва; Ленинград: Сельхозгиз, 1962. 271 с.
- Мысник Е.Н., Лунева Н.Н., Соколова Т.Д. Видовое разнообразие сорных растений местообитаний разного типа на территории Ленинградской области. Вестник защиты растений. 2015. № 1. С. 54–57.
- Никитин В.В. Сорные растения флоры СССР. Ленинград: Наука, 1983. 454 с.

Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference  
“*Agrophysics Trends: from actual challenges in arable farming and crop production towards advanced technologies*”

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

September 14-15, 2021

- Николаев В.А. Адаптивная пространственно-временная структура агроландшафта. Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1999. № 1. С. 22–26.
- Толмачев А.И. Методы сравнительной флористики и проблемы флорогенеза. Новосибирск: Наука, 1986. 195 с.
- Ульянова Т.Н. Сорные растения во флоре России и сопредельных государств. Барнаул: Азбука, 2005. 297 с.
- Шмидт В.М. Статистические методы в сравнительной флористике. Ленинград: Наука, 1980. 176 с.
- Юрцев, Б.А. Дискуссия на тему «Метод конкретных флор в сравнительной флористике» / Б.А. Юрцев // Ботанический журнал. – 1974. – Т. 59, № 9. – С. 1399–1407.

**PHYTOSANITARY ZONING IN RELATION TO WEEDS: APPROACH, CRITERION, PRINCIPLE**

N. N. LUNEVA

*FGBNU «All-Russian Institute of Plant Protection» (FGBNU VISR),  
St. Petersburg, natalja.luneva2010@yandex.ru*

**Abstract.** Phytosanitary zoning for weed plants is carried out at three levels: a region (region), an agro-climatic area, a separate agricultural enterprise with the allocation of weed flora units of different types of habitats (ecotopes) at each zoning level. The ecological and geographical conditionality of the formation of both the general and weed flora of the region determines the prediction of the presence of species of these flora divisions not only for a year (long-term forecast), but also for 5 years ahead (long-term forecast).

**Keywords.** Weed flora, natural and anthropogenic factors, forecast.

## НАСЛЕДУЕМОСТЬ, ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ И ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС НЕКОТОРЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРОДУКТИВНОСТИ У ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Г.А. ЛУПАШКУ, С.И. ГАВЗЕР, Н.И. КРИСТЯ

*Институт генетики, физиологии и защиты растений, Республика Молдова*

**Аннотация.** В статье приведены данные относительно компонентов продуктивности колоса (длина, количество колосков и зерен в колосе, масса одного зерна, масса зерен с одного колоса) у 10-ти перспективных линий и сортов озимой мягкой пшеницы, изученных в течение 5-ти лет. Выявлена дифференцированная вариабельность указанных параметров, зависящая от признака, условий года, генотипа пшеницы. Факторным анализом установлено, что наибольшее значение в источнике вариабельности всех компонентов продуктивности имели условия года – 49,6-80,5%. Взаимодействия *генотип × год* были наивысшими (13,7-14,8%) для показателей количества зерен в колосе и массы зерна с одного колоса. Вклад генотипа в вариабельность признака оказался наиболее значим для длины колоса (35,8%) и массы зерна с одного колоса (35,3%). Один из наиболее информативных показателей – генетический коэффициент вариации – имел наивысшие значения для массы одного зерна (13,4%) и массы зерна с одного колоса (18,0%). Для этих же компонентов продуктивности установлены довольно высокий коэффициент наследуемости (53,7-62,8%) и генетический прогресс (20,7-23,7%). На основе полученных данных можно сделать вывод об аддитивном контроле этих признаков, что представляет наибольший интерес для удачной и ускоренной селекции пшеницы с высокой продуктивностью колоса.

**Ключевые слова:** пшеница, генотип, компонент продуктивности, вариабельность, наследуемость.

### Введение

В последние десятилетия сильные колебания климатических условий привели к нестабильности урожая сельскохозяйственной продукции, что сказалось в свою очередь на снижении продовольственных запасов многих стран и росте цен на продукты питания на мировом рынке (Ray et al., 2015; Bren d'Amour et al., 2016). Очевидно, что надежные системы продовольственной безопасности должны основываться на стабилизации урожайности с.-х. продукции (Frison, Cherfas, Hodgkin, 2011).

В Республике Молдова также отмечаются значительные колебания продуктивности озимых колосовых культур, в том числе мягкой пшеницы, в зависимости от климатических условий, которые в отдельные годы являются лимитирующим фактором для роста и развития растений, а также реализации потенциальной продуктивности сортов.

На базе данных, полученных на примере культивируемых сортов пшеницы во Франции, было установлено, что у местных форм продуктивность и содержание белка было намного выше, чем у коммерческих сортов (Van Frank et al., 2020), на основании чего авторы делают вывод о значимости роли адаптивности сортов к местным условиям.

Согласно мнению некоторых исследователей, продуктивность пшеницы основывается на 3-х основных компонентах: количестве колосьев с одной единицы площади, количестве зерен в колосе и массе одного зерна (Sadeghi-Tehran et al., 2019).

Цель данных исследований – выявить основы вариабельности и степень наследуемости элементов продуктивности колоса у озимой мягкой пшеницы.

### Объекты и методы исследования

В качестве материала для исследований были выбраны 10 генотипов пшеницы: 1 – L Selania/Accent, 2 – L Select/ВТ/Select, 3 – Bas./M30, 4 – L Cub.101/Bas., 5 – L 1/3/M30, 6 – M/M3, 7 – S.i. Basarabeanca, 8 – Moldova 16, 9 – Moldova 66, 10 – Moldova 11, изученных в течение 5-ти лет по показателям: длина колоса, количество колосков и зерен в колосе, масса одного зерна и масса зерна с одного колоса. С каждого образца отобрали и исследовали по 20 колосьев. Были установлены следующие параметры: генетическая ( $\sigma_g^2$  – *genetic variance*) и фенотипическая дисперсия ( $\sigma_{ph}^2$  – *phenotypic variance*), коэффициент наследуемости в широком смысле слова ( $h^2$  – *heritability in broad sense*), фенотипический ( $PCV, \%$  – *phenotypic coefficients of variation, %*) и

генотипический коэффициенты вариации (GCV,% – *genotypic coefficients of variation*, %), генетический прогресс (GA,% – *genetic advance*, %) (Adeniji, 2018; Balkan, 2018).

Данные были обработаны с помощью двухфакторного дисперсионного анализа в пакете программ STATISTICA 8.

**Результаты и обсуждение**

В результате эксперимента установили, что значения элементов продуктивности колоса озимой мягкой пшеницы проявили дифференцированную вариабельность в зависимости от самого признака, года исследований и образца. Так, при средних значениях длины колоса, количества колосков и зерен в колосе, массы одного зерна и массы зерен с одного колоса 10,7 мм; 19,9; 60,0; 45,5 мг и 2,73 г, данные варьировали в пределах 9,2 ... 12,0 мм, 17,4 ... 22,6; 47,2 ... 71,0; 33,3 ... 55,9 и 1,66 ... 3,56 г соответственно (Рис.).

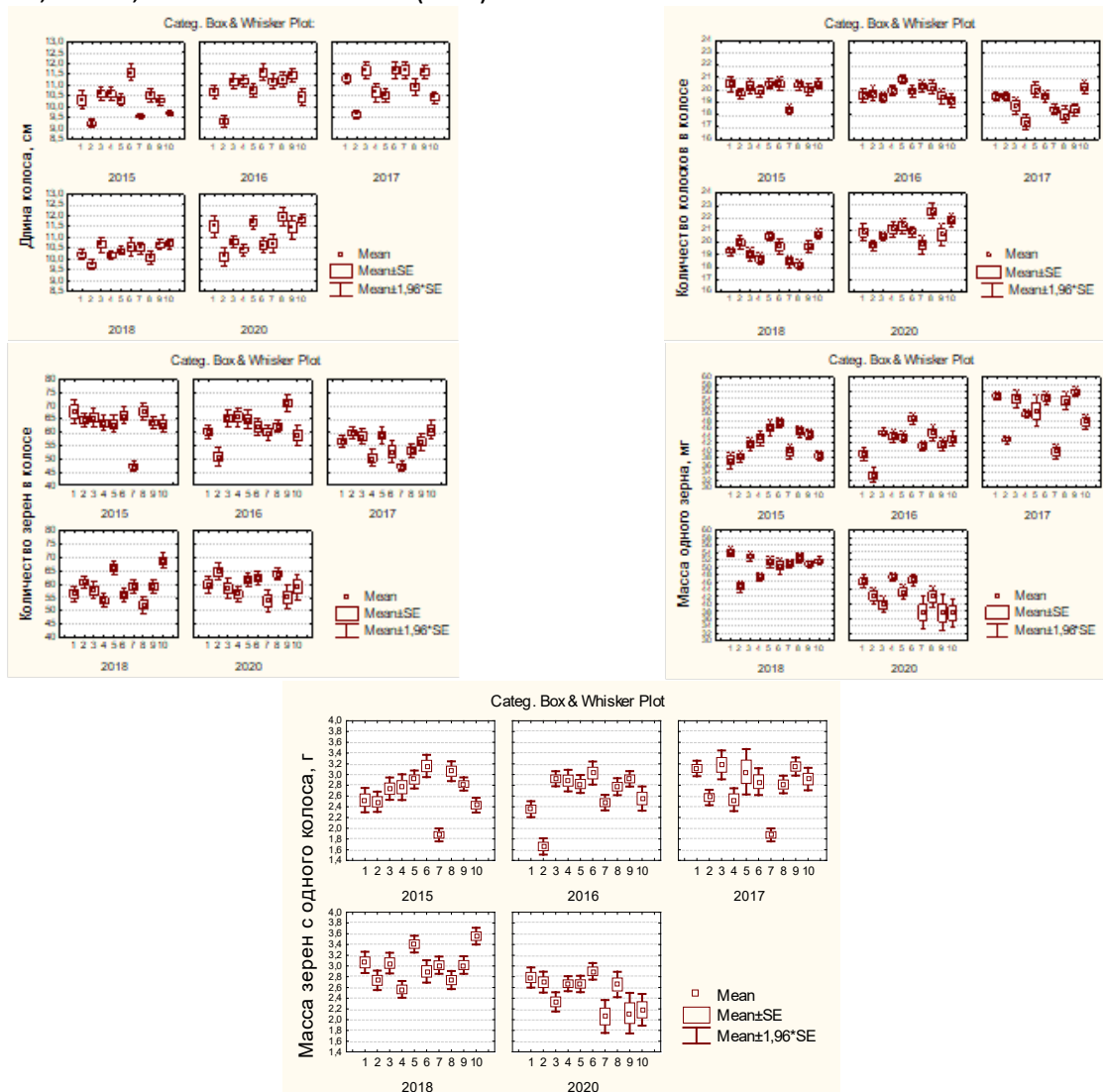


Рис. Показатели элементов продуктивности колоса у мягкой пшеницы по годам.

По горизонтали: 1 – L Selania/Accent, 2 – L Select/ВТ/Select, 3 – Bas./M30, 4 – L Cub.101/Bas., 5 – L 1/3/M30, 6 – M/M3, 7 – S.i. Basarabeanca, 8 – Moldova 16, 9 – Moldova 66, 10 – Moldova 11.

Факторным анализом было установлено, что условия года являлись решающими для формирования элементов продуктивности колоса и их вклад варьировал в пределах 49,56...80,52% (Таб. 1).

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1. Факторный анализ взаимодействий *элемент колоса пшеницы x год*.

Источник вариабельности	Степень свободы	Средняя сумма квадратов	Вклад в источник вариабельности, %
<i>Длина колоса</i>			
Генотип	9	19,7	35,75
Год	4	30,4	55,17
<i>Генотип x год</i>	36	4,4	7,99
Остаточные эффекты	950	0,6	1,09
<i>Количество колосков в колосе</i>			
Генотип	9	22,0	15,43
Год	4	110,0	77,14
<i>Генотип x год</i>	36	9,1	6,38
Остаточные эффекты	950	1,5	1,05
<i>Количество зерен в колосе</i>			
Генотип	9	692	19,17
Год	4	1827	65,60
<i>Генотип x год</i>	36	446	13,53
Остаточные эффекты	950	50	1,69
<i>Масса одного зерна</i>			
Генотип	9	766	14,86
Год	4	4150	80,52
<i>Генотип x год</i>	36	216	4,19
Остаточные эффекты	950	22	0,43
<i>Масса зерен с одного колоса</i>			
Генотип	9	5,048	35,30
Год	4	7,088	49,56
<i>Генотип x год</i>	36	1,957	13,68
Остаточные эффекты	950	0,209	1,46

\*-  $p < 0,05$ .

Следует отметить, что для наиболее важного показателя – массы зерна с одного колоса – вклад генетического фактора был довольно высоким – 35,30% несмотря на то, то вклад генотипа наиболее значимых субкомпонентов – количества зерен в колосе и массы одного зерна был намного ниже – 19,17% и 14,86% соответственно. Это, по-видимому, связано с тем, что между количеством зерен в колосе и массой одного зерна не существует стабильной зависимости ( $r = -0,02 \dots 0,60$ ) (Таб. 2), и у многих генотипов проявляются компенсаторные механизмы между этими субкомпонентами, чем обеспечивается более высокий генотипический контроль продуктивности колоса.

Таблица 2. Корреляционные зависимости ( $r$ ) между элементами продуктивности колоса у озимой мягкой пшеницы.

Зависимость	Год				
	2015	2016	2017	2018	2020
Длина колоса – количество колосков в колосе	0,50	0,16	-0,29	0,20	0,75*
Длина колоса – количество зерен в колосе	0,43	0,82*	-0,47	0,32	0,06
Длина колоса – масса одного зерна	0,73*	0,82*	0,41	0,55	-0,27
Длина колоса – масса зерен в колосе	0,76*	0,91*	0,08	0,60	-0,16
Количество колосков – количество зерен в колосе	0,90*	0,10	0,69*	0,85*	0,31
Количество колосков – масса одного зерна	0,30	0,16	-0,06	-0,14	0,12
Количество колосков – масса зерен в колосе	0,76*	0,15	0,34	0,68*	0,20
Количество зерен в колосе – масса одного зерна	0,22	0,60	0,22	-0,02	0,39
Количество зерен в колосе – масса зерен в колосе	0,78*	0,87*	0,70*	0,85*	0,73*
Масса одного зерна – масса зерен в колосе	0,78*	0,92*	0,85*	0,50	0,91*

\* -  $p < 0,05$ .

Отметим, что масса зерна с одного колоса коррелировала главным образом с количеством зерен в колосе ( $0,70^* \dots 0,87^*$ ,  $p < 0,05$ ) и массой одного зерна ( $0,50^* \dots 0,92^*$ ,  $p < 0,05$ ). Установили, что масса одного зерна и масса зерна с одного колоса отличаются наиболее высокими значениями GCV (%) – 13,39 и 18,04% соответственно. Кроме того, для этих признаков выявлены довольно высокие значения коэффициента наследуемости в широком смысле слова (53,70 ... 62,84%) и генетического прогресса (20,66...23,73%) (Таб. 3).

Таблица 3. Уровень наследуемости, вариабельности и генетического прогресса у разных элементов продуктивности колоса пшеницы.

Параметр	Длина колоса	Количество колосков в колосе	Количество зерен в колосе	Масса одного зерна	Масса зерен с одного колоса
$\sigma^2_G$	0,96	1,03	32,10	37,20	0,24
$\sigma^2_P$	1,56	2,53	82,10	59,20	0,45
GCV, %	9,11	5,11	9,46	13,39	18,04
PCV, %	11,64	8,01	10,44	16,90	24,63
$h^2$ , %	61,40	40,51	39,10	62,84	53,70
GAM, %	11,66	6,60	11,83	20,66	23,73

Полученные результаты свидетельствуют о том, что отбор образцов пшеницы по этим показателям является наиболее эффективным, так как последние основываются на генетическом аддитивном контроле.

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.7007.04 «Биотехнологии и генетические способы выявления, сохранения и использования агробиоразнообразия», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.

---

### Список литературы / References

- Adeniji, O.T. Genetic variation and heritability for foliage yield and yield component traits in edible *Amaranthus cruentus* [L.] genotypes // *Bangl. J. Agril. Res.* 2018. 43(3). P. 513-524.
- Balkan, A. Genetic variability, heritability and genetic advance for yield and quality traits in M2-4 generations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes // *Turkish J. of Field Crops.* 2018. 23. P. 173-179.
- Bren d'Amour C., Wenz L., Kalkuhl M. et al. Teleconnected food supply shocks // *Environ. Res. Lett.* 2016. 11. 035007.
- Frison E.A., Cherfas J., Hodgkin T. Agricultural biodiversity is essential for a sustainable improvement in food and nutrition security // *Sustainability.* 2011. 3. P. 238–253.
- Ray D.K., Gerber J.S., MacDonald G.K. et al. Climate variation explains a third of global crop yield variability // *Nat. Commun.* 2015. 6.
- Sadeghi-Tehran P., Virlet N, Ampe E.M., Reyns P., Hawkesford M.J. DeepCount: In-Field Automatic Quantification of Wheat Spikes Using Simple Linear Iterative Clustering and Deep Convolutional Neural Networks // *Front. Plant Sci.*, 26 September 2019 <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01176>
- Van Frank G., Rivièrè P., Pin S. et al. Genetic Diversity and Stability of Performance of Wheat Population Varieties Developed by Participatory Breeding // *Sustainability.* 2020. 12. 384; doi:10.3390/su12010384

### HERITABILITY, VARIABILITY AND GENETIC PROGRESS OF SOME PRODUCTIVITY COMPONENTS IN THE WINTER COMMON WHEAT

G.A. LUPASHKU, S.I. GAVZER, N.I. KRISTYA

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Republic of Moldova*

**Abstract.** The article provides data on the components of spike productivity (length, number of spikelets and grains in a spike, weight of one grain, weight of grains per spike) in 10 promising lines and varieties of winter soft wheat studied for 5 years. The differentiated variability of the studied parameters was revealed, depending on the trait, year conditions, and wheat genotype. Factor analysis found that the conditions of the year had the greatest value in the source of variability of all components of productivity – 49,6-80,5%. *Genotype x year* interactions were the highest (13,7-14,8%) in the case of the number of grains per ear and the weight of grain per ear. The contribution of the genotype to the variability of the trait turned out to be the most significant for the length of a spike (35,8%) and the weight of grain per spike (35,3%). One of the most informative indicators – the genetic coefficient of variation – had the highest values for the mass of one grain (13,4%) and the mass of grain per spike (18,0%). For the same components of productivity, a rather high coefficient of heritability (53,7-62,8%) and genetic progress (20,7-23,7%) have been established. Based on the data obtained, it can be concluded about the additive control of these traits, which is of the greatest interest for successful and accelerated selection of wheat with high spike productivity.

**Keywords:** wheat, genotype, productivity component, variability, heritability.



**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КРОССИНГОВЕРА В МАРКИРОВАННЫХ СЕГМЕНТАХ ХРОМОСОМ КУКУРУЗЫ НА ГОМОЗИГОТНОМ ГЕНЕТИЧЕСКОМ ФОНЕ**

М.Э. МИХАЙЛОВ

*Институт генетики, физиологии и защиты растений,  
Молдова, Кишинев, institut.gfpp@gmail.com*

**Аннотация.** В экспериментах на кукурузе обнаружен генетический фактор, приводящий к повышению локальной частоты обменов в маркированных сегментах хромосом – гомозиготное состояние соседних участков. Эффект, замеченный первоначально в расщепляющемся поколении F<sub>2</sub>, был тем сильнее, чем длиннее были гомозиготные зоны по обе стороны маркированного сегмента. Для наблюдения максимального эффекта, когда в гомозиготное состояние переходит вся остальная хромосома, на генетический фон инбредных линий Ку123 и МК01 в ходе многократного беккроссирования были перенесены мутантные маркеры и получены изогенные линии, отличающиеся от исходных форм маркированными сегментами. Рекомбинация на гомозиготном фоне наблюдалась в гибридах между изогенными и исходными линиями. Частота рекомбинации на гомозиготном фоне по сравнению с гетерозиготным повысилась с 17 до 33% в сегменте *lg1-gl2*, с 5 до 10% в сегменте *c1-sh1* и с 15 до 36% в сегменте *c1-sh1*.

**Ключевые слова.** Кукуруза, кроссинговер, частота рекомбинации.

**Введение**

В микроэволюции и селекции высших эукариот основная роль принадлежит комбинативной изменчивости, а основным ее видом является кроссинговер, без которого комбинативная изменчивость свелась бы лишь к комбинированию целых хромосом и внехромосомных факторов. Внимание исследователей давно привлекает задача интенсификации кроссинговера, особенно в "молчащих" прицентромерных зонах (молчащих рекомбинационно, а не функционально), так как во многих случаях селекционный процесс тормозится недостаточной частотой рекомбинации. Это известная проблема недоступной рекомбинационной изменчивости, для решения которой предпринимаются поиски факторов, индуцирующих частоту и спектр кроссоверных обменов. В настоящем исследовании изучалось влияние гомозиготного и гетерозиготного генетического окружения на частоту рекомбинации в маркированных сегментах хромосом кукурузы.

**Объекты и методы исследования**

Источником генетических маркеров служила множественно маркированная линия 2-9м, несущая следующие мутации (в скобках номер хромосомы и локализация в сМ согласно карте *Genetic* из *Maize genetics and genomics database*): *p1* (1-70) – белый стержень початка; *ws3* (2-2) – белые листовые влагалища; *lg1* (2-13) – безлигульный лист; *gl2* (2-31) – глянецовые всходы; *y1* (6-30) – белый эндосперм; *c1* (9-16) – неокрашенный алейрон; *sh1* (9-20) – сморщенный эндосперм; *wx1* (9-48) – восковидный эндосперм; *R1* (10-95) – окрашенный алейрон (доминантный аллель). В линии дикого типа МК01 и Ку123 методом многократного беккроссирования были перенесены мутантные маркеры из 2-9м, в результате получены изогенные линии  $M(c,sh,R)_6$ ,  $M(sh,wx)_7$ ,  $M(lg,gl)_6$ ,  $M(R)_7$ ,  $K(c,sh,R)_7$ ,  $K(sh,wx)_5$ ,  $K(lg,gl)_6$ ,  $K(R)_7$ . Начальные буквы М и К означают МК01 и Ку123, в скобках указаны перенесенные мутации (для краткости без номеров), цифровой индекс означает число поколений беккроссирования. Вместе с аллелем *c1* перенесен и доминантный аллель *R1*, чтобы проявлялась антоциановая окраска зерен и можно было наблюдать расщепление по *c1*.

Частоту рекомбинации на гомозиготном фоне наблюдали в 2017 году в генотипах  $MK01 \times M(lg,gl)_6$ ,  $Ky123 \times K(lg,gl)_6$ ,  $M(R)_7 \times M(c,sh,R)_6$ ,  $K(R)_7 \times K(c,sh,R)_7$ ,  $MK01 \times M(sh,wx)_7$ ,  $Ky123 \times K(sh,wx)_5$ . Для контроля проверяли частоту рекомбинации на гетерозиготном фоне в

генотипах  $Ky123 \times M(lg, gl)_6$ ,  $MK01 \times K(lg, gl)_6$ ,  $K(R)_7 \times M(c, sh, R)_6$ ,  $M(R)_7 \times K(c, sh, R)_7$ ,  $M(sh, wx)_7 \times Ky123$ ,  $MK01 \times K(sh, wx)_5$ .

Частоту рекомбинации проверяли отдельно в микро- и мегаспорогенезе, то есть в метелках и початках, тестерами служили соответствующие изогенные линии. В каждом варианте испытывали от 7 до 12 растений, средний объем семейства составлял 270 зерен (для признаков  $c1$ ,  $sh1$ ,  $wx1$ ) или 180 проростков (для признаков  $lg1$ ,  $gl2$ ), семейства объема меньше 50 не учитывались.

### Результаты и обсуждение

Эффект гомозиготности на частоту рекомбинации ( $rf$  – *recombination frequency*) у кукурузы был первоначально замечен в предыдущей нашей работе (Михайлов, Чернов, 2004), когда исследовалась генетическая изменчивость  $rf$  в  $F_2(Ky123 \times 2-9m)$ . Исследование проводилось для поиска QTL кроссинговера, но вместо этого было обнаружено другое явление. Оказалось, что на рекомбинацию между двумя локусами третий локус влияет лишь в том случае, когда он располагается рядом, при этом имеет значение только его гетерозиготное или гомозиготное состояние. Если этот локус гетерозиготен, то  $rf$  в соседнем сегменте несколько выше по сравнению с  $F_1$ , но если локус гомозиготен, неважно по какому аллелю, то  $rf$  повышается против гетерозиготного состояния в 1,05 (эффект  $ws3$  на  $rf(lg1-gl2)$ ), 1,77 (эффект  $gl2$  на  $rf(ws3-lg1)$ ), 1,28 (эффект  $c1$  на  $rf(sh1-wx1)$ ) и 1,58 раз (эффект  $wx1$  на  $rf(c1-sh1)$ ). Замечена связь между эффектом третьего локуса и положением его на хромосоме: эффект тем значительней, чем длиннее находящийся за ним немаркированный участок. Самые значительные эффекты у локусов  $gl2$  и  $wx1$ , от которых до правого края хромосомы 152 и 116 сМ. Менее значителен эффект у локуса  $c1$ , находящегося в 21 сМ от левого края хромосомы 9. У локуса  $ws3$ , находящегося в 2 сМ от левого края, эффект самый слабый.

Мы решили проверить, до каких пределов может пойти повышение  $rf$  при максимальном расширении гомозиготной зоны вокруг маркированного сегмента. Для этого были выведены изогенные линии, отличающиеся от исходных форм  $MK01$  и  $Ky123$  парой маркерных генов. В гибридах изогенных линий с исходными формами и анализировалась рекомбинация на максимально расширенном гомозиготном фоне. Для контроля анализировалась рекомбинация и на гетерозиготном фоне, в неродственных скрещиваниях (Табл. 1).

Если на гетерозиготном фоне частота рекомбинации примерно совпала с ожидаемой по генетической карте, то на гомозиготном фоне она возросла примерно вдвое. Это возрастание проявилось и в микро-, и в мегаспорогенезе, хотя в мегаспорогенезе частота рекомбинации менее устойчива. Если в микроспорогенезе  $rf$  определяется в основном фактором гомо- и гетерозиготности, то в мегаспорогенезе проявляются специфические для генотипа эффекты, которые могут действовать и на повышение, и на понижение.

По нашему предположению, в гетерозиготном участке подавляется кроссинговер, и чем он длиннее, тем сильнее подавление во всех составляющих его сегментах. Что касается частоты обменов в гомозиготных участках, то мы предполагаем, что она стабильно высокая и равна пределу, к которому стремится  $rf$  в гетерозиготных участках при их сокращении. Однако эксперименты на арабидопсисе показали, что возможно и другое объяснение. На арабидопсисе тоже наблюдалось повышение  $rf$  в маркированных сегментах, когда соседние участки переходили в гомозиготное состояние, хотя это повышение было не столь значительным – в 1,1-1,35 раза. В отличие от нашего опыта, здесь была возможность измерять  $rf$  и в условиях гомозиготности внутри маркированного сегмента. Результаты позволили авторам предположить, что в мозаичных генотипах, где чередуются гомо- и гетерозиготные участки,

Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference  
**“Agrophysics Trends: from actual challenges in arable farming and crop production towards advanced technologies”**

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

September 14-15, 2021

происходит перераспределение обменов из гомозиготных участков в гетерозиготные, а общая по геному частота обменов не меняется. Механизм этого явления остается неизвестным, достаточно ясно только, что в нем принимает участие интерференция (Ziolkowski, Berchowicz et al., 2015).

Таблица 1. Частота рекомбинации на гомо- и гетерозиготном фоне

Генетический фон	<i>rf</i> ( <i>lg1-gl2</i> ), %		<i>rf</i> ( <i>c1-sh1</i> ), %		<i>rf</i> ( <i>sh1-wx1</i> ), %	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Гомозиготный						
МК01	27,6±1,4	26,8±1,6	9,8±1,2	10,9±0,9	38,4±0,5	30,2±1,1 ***
Ку123	34,3±0,9	42,4±1,3 **	9,6±0,3	10,1±1,1	36,8±1,3	37,0±1,1
Гетерозиготный						
МК01 x Ку123(изо)	17,2±0,3	16,7±0,7	5,3±0,2	5,2±0,3	16,9±0,5	15,3±0,6
Ку123 x МК01(изо)	19,9±0,9	18,8±0,8	5,8±0,3	5,2±0,3	16,7±0,8	11,2±0,7 **
Среднее отношение гомо/гетеро	1,67	1,95	1,76	2,01	2,34	2,54
Значения, ожидаемые по карте <i>maizeGDB</i> ( <i>genetic</i> )						
Табличное расстояние, сМ	17,9		3,9		27,8	
Ожидаемое <i>rf</i> по Холдейну	15,1		3,75		21,4	
Ожидаемое <i>rf</i> по Косамби	17,2		3,9		25,3	

Примечание. Значимость эффекта пола \*\*P<0,01, \*\*\*P<0,001

Какое из двух объяснений справедливо для кукурузы, станет ясно после получения изогенных линий *c1-Sh1-wx1* и *ws3-Lg1-gl2*. Тогда можно будет проверить *rf* в маркированных сегментах, которые внутри отчасти гомозиготны. Если верны наши предположения, то перевод внутренней части маркированного сегмента в гомозиготу должен сопровождаться повышением *rf* независимо от того, каким будет окружение – гомозиготным или гетерозиготным. Если же справедливо предположение о перераспределении обменов, то результат должен быть обратным.

### Выводы

1. На кукурузе обнаружен цис-эффект гомозиготного состояния соседних участков хромосом, приводящих к повышению частоты рекомбинации в маркированных сегментах. Эффект тем сильнее, чем длиннее прилегающая гомозиготная зона.
2. Максимального выражения цис-эффект достигает, когда в гомозиготное состояние переходит вся хромосома за пределами маркированного участка. В этом случае частота рекомбинации увеличивается в среднем вдвое по сравнению с уровнем, характерном для неродственных скрещиваний и отраженным на генетических картах.
3. В мужском мейозе частота рекомбинации определяется в основном фактором гомо- и гетерозиготности, а в мегаспорогенезе проявляются специфические для генотипа эффекты, которые могут действовать на повышение и на понижение.

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.03 «Эффективное использование генетических ресурсов растений и современных биотехнологических методов для повышения адаптивности сельскохозяйственных культур к климатическим изменениям», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию Республики Молдова.

### Список литературы / References

- Maize genetics executive committee. Maize genetics and genomics database. -<http://www.maizegdb.org/>  
Михайлов М. Э., Чернов А. А. Влияние гетерозиготности по маркерным локусам на частоту рекомбинации в соседних участках хромосом у кукурузы // Генетика. 2004. Т. 40(7). С. 925-929.  
Ziolkowski P. A., Berchowitz L. E. et al. Juxtaposition of heterozygous and homozygous regions causes reciprocal crossover remodelling via interference during Arabidopsis meiosis // eLife. 2015. Vol. 4. e03708  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4407271/>

### CROSSING OVER INTENSIFICATION IN MARKED SEGMENTS OF CORN CHROMOSOMES ON A HOMOZYGOUS GENETIC BACKGROUND

M. E. MIKHAILOV

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau, Republic of Moldova,*  
*institut.gfpp@gmail.com*

**Abstract.** In experiments on maize, the genetic factor was found that leads to an increase in the local frequency of exchanges in marked segments of chromosomes: homozygous state of neighboring regions. The effect initially seen in the F<sub>2</sub> generation was the stronger the longer the homozygous zones on both sides of the marked region were. To observe the maximum effect, when the rest of the chromosome goes into a homozygous state, mutant markers were transferred to the genetic background of the inbred lines Ku123 and MK01 by multiple backcrossing and isogenic lines were obtained that differed from the initial forms by marked segments. Recombination on homozygous background was observed in hybrids between isogenic and parental lines. The recombination frequency on homozygous background compared with a heterozygous one increased from 17 to 33% in the *lg1-gl2* segment, from 5 to 10% in the *c1-sh1* segment, and from 15 to 36% in the *c1-sh1* segment.

**Keywords.** Maize, crossing over, recombination rate.

## МОДЕЛЬНОЕ ИСПЫТАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГЕТЕРОЗИСА В РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ДИГАПЛОИДНОЙ СЕЛЕКЦИИ

М.Э. МИХАЙЛОВ

*Институт генетики, физиологии и защиты растений,  
Молдова, Кишинев, institut.gfpp@gmail.com*

**Аннотация.** Выполнено модельное испытание различных схем применения дигаплоидов для закрепления гетерозиса доминантной природы. Наиболее эффективными оказались схема Гончаровой и схема обогатительно-восстановительной селекции. Возможность закрепления гетерозиса в самой продуктивной дигаплоидной линии зависит от числа локусов, контролирующих гетерозис и средней степени доминирования. При наиболее вероятном для кукурузы варианте – 50-ти локусах и средней степени доминирования равной 0,7 – в модельных испытаниях для закрепления гетерозиса необходимо в среднем 7 циклов, как в схеме Гончаровой, так и в схеме обогатительно-восстановительной селекции.

**Ключевые слова.** Селекция, закрепление гетерозиса, дигаплоиды, кукуруза, моделирование.

### Введение

В селекции растений к трем основным методам получения инбредных линий (педигри, насыщающее беккроссирование и рекуррентная селекция) в последнее время добавился четвертый - дигаплоидная селекция. От предыдущих методов он выгодно отличается тем, что позволяет получать из исходного гетерогенного материала разнообразные гомозиготные рекомбинанты в сжатые сроки. Вскоре после его распространения стали предлагаться схемы его использования для закрепления гетерозиса. К настоящему моменту предложены схема Струнникова (2000), схема Гончаровой (2014) и схема обогатительно-восстановительной селекции (Михайлов, 2010). Данные схемы требуют длительного времени и не гарантируют полного успеха, поэтому перед их практической реализацией необходима предварительная модельная проверка, позволяющая оценить ожидаемые результаты, темпы их достижения и выявить из предложенных схем наиболее эффективные. В данной работе предпринята проверка трех упомянутых схем, а также схемы чередующегося беккроссирования.

### Объекты и методы исследования

Первый цикл во всех схемах одинаков: из гибрида  $F_1$  производится семейство дигаплоидных (DH) линий. В схеме Струнникова DH-линии последующих циклов производятся из потомства от скрещивания лучшей линии предыдущего цикла с  $F_1$ . Здесь  $F_1$  выступает донором селекционно ценных аллелей (плюс-аллелей), отсутствующих в выбранной линии. В схеме Гончаровой предлагается в каждом цикле отбирать две высокопродуктивные и контрастные по молекулярным маркерам DH-линии, и из гибрида между ними получать дигаплоиды следующего цикла. В обогатительно-восстановительной схеме предлагается чередование обогатительных и восстановительных циклов. В обогатительных циклах, как и в схеме Струнникова, дигаплоиды производятся из потомства от скрещивания лучшей линии предыдущего цикла с  $F_1$ , в восстановительных - из гибрида лучшей линии последнего цикла с лучшей линией предпоследнего цикла, для возвращения плюс-аллелей, пропавших в предыдущем цикле. В схеме чередующегося беккроссирования в каждом цикле отбирается самый продуктивный из беккроссов  $DH \times P_1$  и  $DH \times P_2$ , из которого и производятся DH-линии следующего цикла.

В модельном испытании предполагалось, что гетерозис имеет доминантную природу, что теоретически позволяет воспроизвести гетерозисный эффект в гомозиготе. Заданы параметры: в каждом цикле производится 50 дигаплоидных линий, число генов, контролирующих гетерозис – 20, 50 и 100, их эффекты равны, неаллельные взаимодействия отсутствуют. Число хромосом и

их рекомбинационная длина – как у кукурузы. Предполагается, что продуктивность линии однозначно зависит от числа накопленных в ней плюс-аллелей. Плюс-аллели распределяются случайным образом как между родителями, так и по геному, перед каждой имитацией распределение определялось заново. Схема Гончаровой испытывалась в трех вариантах: из 50 ДН-линий отбирались 5, 10 или 15 самых продуктивных, среди которых находили самую контрастную пару. Так как продуктивность беккроссов зависит от степени доминирования  $d/a$ , то схема чередующегося беккроссирования испытывалась в трех вариантах ( $d/a=1$ ,  $d/a=0,7$ ,  $d/a=0,5$ ). В каждом варианте проводилось 100 имитаций 11-ти циклов селекции. Селекционный прогресс измерялся по числу плюс-аллелей, накопленных в самой продуктивной линии.

### Результаты и обсуждение

Судя по модельным испытаниям, темпы селекционного прогресса зависят от числа действующих локусов (Табл. 1), однако при любом их числе селекционные схемы располагаются в одинаковом порядке по эффективности. В Табл. 1 приведены результаты только в нечетных циклах, чтобы сравнение обогатительно-восстановительной схемы с прочими схемами было корректным: в данной схеме четный цикл обеспечивает прогресс не сам по себе, а в комбинации с последующим нечетным.

Наименее эффективной оказалась схема чередующегося беккроссирования, без особой разницы между вариантами с различной степенью доминирования. Несколько более эффективна схема Струнникова, а наиболее эффективны, примерно в равной степени, обогатительно-восстановительная схема и схема Гончаровой. Из испытанных вариантов схемы Гончаровой наименее результативным оказался вариант 15/50. Сравнительная эффективность двух других вариантов зависит от сроков селекции: при более кратких сроках имеет преимущество вариант 5/50, при длительных – вариант 10/50. Два последних варианта имеют некоторое преимущество над обогатительно-восстановительной схемой, которое имеет тенденцию к уменьшению с ростом числа локусов и циклов и исчезает при 100 локусах и 9 циклах.

Схема Гончаровой смоделирована с упрощением: вместо контрастности по молекулярным маркерам рассматривалась контрастность по селекционно значимым локусам, что, несомненно, привело к завышению результатов. Заметим также, что схема Гончаровой опирается на молекулярное генотипирование. Если молекулярное генотипирование применять и в обогатительно-восстановительной схеме, то от нее следует ожидать большей результативности, так как это приведет к более рациональному выбору линии-предшественника при выполнении очередного цикла.

Динамика селекционного прогресса различна для разных схем. Метод Струнникова исчерпал свои возможности к 7-му циклу, метод чередующегося беккроссирования – к 9-му, после чего селекционный прогресс прекратился. В обогатительно-восстановительной схеме и в схеме Гончаровой вплоть до 11 цикла прослеживается постепенно затухающая положительная динамика. Судя по количеству безвозвратно потерянных плюс-аллелей (последний столбец таблицы), метод Гончаровой к 11-му циклу близко подошел к пределу своих возможностей: почти все недостающие плюс-аллели оказались безвозвратно потерянными. Такие потери случаются, когда в двух отобранных контрастных линиях отсутствуют одни и те же плюс-аллели. Они будут отсутствовать и во всем потомстве данной пары линий, во всех следующих циклах. В других схемах никакая потеря не является безвозвратной: любой недостающий аллель может вернуться в обогатительном скрещивании с  $F_1$  или в беккроссе с  $P_1$  или  $P_2$ . Лимитирующим фактором здесь является достижение равновесия, когда приобретается новых плюс-аллелей столько же, сколько теряется ранее собранных. В обогатительно-восстановительной схеме

равновесие к 11-му циклу еще не достигнуто, и данная схема имеет наилучшие перспективы для дальнейшего продолжения селекционного процесса.

Таблица 1. Доля (%) плюс-аллелей, накопленных в наиболее продуктивной ДН линии

Число локусов	Схема селекции	Число циклов						Безвозвратно потеряно
		1	3	5	7	9	11	
20	BC (d/a=1)	74,0±0,5	82,7±0,6	84,1±0,7	85,8±0,6	87,2±0,7	87,2±0,6	
	BC (d/a=0,7)	73,9±0,6	83,5±0,7	86,0±0,7	85,6±0,7	86,6±0,7	86,9±0,6	
	BC (d/a=0,5)	74,3±0,5	84,3±0,5	86,5±0,5	87,5±0,4	87,0±0,4	86,8±0,5	
	Струнников	73,8±0,5	85,1±0,6	88,5±0,5	89,1±0,5	88,9±0,5	89,3±0,5	
	Обогатит.-восстановит.	73,6±0,6	84,5±0,5	90,2±0,5	93,1±0,4	95,1±0,4	95,8±0,4	
	Гончарова 5/50	73,8±0,6	90,1±0,5	93,7±0,5	94,0±0,5	94,0±0,5	94,0±0,5	5,6±0,5
	Гончарова 10/50	74,2±0,6	88,3±0,5	94,2±0,4	95,9±0,4	96,0±0,4	96,1±0,4	2,9±0,3
	Гончарова15/50	73,1±0,5	85,2±0,6	91,5±0,5	94,0±0,4	95,0±0,4	95,3±0,4	2,2±0,3
50	BC (d/a=1)	65,1±0,3	68,2±0,4	68,8±0,4	68,8±0,5	69,1±0,5	70,0±0,5	
	BC (d/a=0,7)	65,2±0,3	68,6±0,4	70,2±0,4	69,8±0,4	70,9±0,4	70,7±0,5	
	BC (d/a=0,5)	66,2±0,3	71,3±0,4	72,1±0,4	73,4±0,4	73,1±0,4	73,8±0,4	
	Струнников	65,7±0,3	73,3±0,3	74,9±0,3	76,1±0,3	75,9±0,3	75,9±0,3	
	Обогатит.-восстановит.	65,5±0,3	73,6±0,4	79,0±0,4	82,3±0,3	83,0±0,4	83,1±0,4	
	Гончарова 5/50	65,7±0,3	77,3±0,4	82,2±0,4	83,1±0,4	83,3±0,4	83,3±0,4	16,2±0,4
	Гончарова 10/50	65,5±0,3	74,7±0,4	80,2±0,4	82,9±0,4	84,2±0,4	84,3±0,4	13,9±0,4
	Гончарова15/50	66,1±0,4	73,5±0,4	78,0±0,4	81,3±0,4	83,1±0,4	84,0±0,4	13,3±0,3
100	BC (d/a=1)	60,8±0,2	62,5±0,3	62,5±0,3	62,7±0,3	64,1±0,3	64,5±0,4	
	BC (d/a=0,7)	61,2±0,3	62,4±0,3	63,4±0,3	63,3±0,3	64,6±0,3	65,0±0,3	
	BC (d/a=0,5)	61,2±0,3	63,5±0,3	64,3±0,3	64,3±0,3	65,3±0,3	65,5±0,3	
	Струнников	60,8±0,2	66,9±0,3	68,2±0,3	68,9±0,2	68,7±0,3	68,9±0,2	
	Обогатит.-восстановит.	61,3±0,3	67,0±0,2	71,1±0,2	74,0±0,2	76,1±0,2	77,5±0,2	
	Гончарова 5/50	60,9±0,2	69,3±0,3	73,1±0,3	74,5±0,3	74,8±0,3	74,9±0,3	24,8±0,3
	Гончарова 10/50	61,1±0,3	67,5±0,3	71,4±0,3	73,6±0,3	74,6±0,3	75,1±0,3	23,2±0,2
	Гончарова15/50	61,1±0,2	66,3±0,3	69,9±0,3	72,3±0,3	73,8±0,3	74,6±0,3	22,4±0,3

Ни в одном варианте даже в 11-м цикле не достигается полного объединения в гомозиготной линии всех плюс-аллелей, участвующих в эффекте гетерозиса (Табл. 1). Максимальное значение - 96% при 20 локусах, то есть 19 локусов из 20-ти. Однако для воспроизведения в инбредной линии гибридной продуктивности объединение всех плюс-аллелей необходимо только в случае полного доминирования (d/a=1). При неполном доминировании доля собранных плюс-аллелей должна составлять  $(1+d/a)/2$ , что при наиболее вероятном для кукурузы значении d/a=0,7 (Михайлов, 2015) составляет 85%. При наиболее вероятном для кукурузы числе локусов n=50 в обогатительно-восстановительной схеме и схеме Гончаровой в 7-м цикле достигается почти полное закрепление гетерозиса: в лучшей дигаметоидной линии собирается 82-83% плюс-аллелей.

## Выводы

1. Для дигаметоидной селекции на закрепление гетерозиса наиболее эффективны обогатительно-восстановительная схема и схема Гончаровой, которые в модели показывают заметное преимущество над схемой Струнникова и схемой чередующегося беккроссирования.

2. При наиболее вероятном для кукурузы случае, когда гетерозис контролируется 50 генами, проявляющими в гетерозиготе среднюю степень доминирования 0,7, возможно получение в 7-м цикле дигаплоидной селекции инбредной линии с продуктивностью, близкой к продуктивности поколения  $F_1$ .

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.5107.03 «Эффективное использование генетических ресурсов растений и современных биотехнологических методов для повышения адаптивности сельскохозяйственных культур к климатическим изменениям», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию Республики Молдова.

### Список литературы / References

- Струнников В. А., Струнникова Л. В. Природа гетерозиса, методы его повышения и закрепления в последующих поколениях без гибридизации // Изв. РАН, сер. биол. 2000. Т. 27(6). С. 679-687.
- Гончарова Ю. К. Метод закрепления гетерозисного эффекта – реализация на растениях (к столетию со дня рождения В. А. Струнникова) // Онтогенез. 2014. Т. 45(6). С. 442-443.
- Михайлов М. Э. О новой возможности использования дигаплоидных линий: схема обогатительно-восстановительной селекции // Генетика. 2010. Т. 46(6). С. 853-860.
- Михайлов М. Э. Учет среднеождаемого сцепления в биометрическом анализе количественных признаков // Генетика. 2015. Т. 51(8). С. 953-962.

### MODEL TESTING OF THE POSSIBILITY OF HETEROISIS FIXING IN DIFFERENT SCHEMES OF DOUBLE HAPLOID BREEDING

M. E. MIKHAILOV

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau, Republic of Moldova,  
institut.gfpp@gmail.com*

**Abstract.** In computer simulations, the effectiveness of different schemes of doubled haploid breeding aimed at fixing heterosis of dominant nature in the inbred line was tested. The most effective were the Goncharova's scheme and the enriching-restoring scheme. The possibility of fixing heterosis in the most productive dihaploid line depends on the number of loci controlling heterosis and average degree of dominance. With the most probable variant for maize, 50 acting loci and average degree of dominance 0.7, in model tests, to fix heterosis, an average of 7 cycles are required, both in the Goncharova's scheme and in the enriching-restoring scheme.

**Keywords.** Breeding, heterosis fixing, doubled haploids, maize, simulation.



## РЕАКЦИЯ СОРТОВ ТОМАТА, НЕСУЩИХ ГЕНЫ *B* (CAROTENE) И *R* (YELLOW FLESH), НА СТРЕССОВЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Н.И. МИХНЯ, Д.П. КЛИМЭУЦАН, К.В. РОШКА

*Институт генетики, физиологии и защиты растений,  
Молдова, Кишинев, mihneanadea@yahoo.com*

**Аннотация.** В статье представлены данные относительно реакции различных сортов томата, несущих гены *b* (*carotene*) и *r* (*yellow flesh*), на стрессовые температуры (40°C и 42°C). Параметрами оценки эффекта служили длина зародышевого корешка, стебелька и проростка. Выявлена существенная дифференциация реакции генотипов томата на указанные температуры. В результате факторного анализа установлено, что вклад температуры в вариабельность формирующихся органов растения томата существенно выше вклада генотипа. Генотипы *Mia*, *Breeding Line*, местная форма из Тимишоара обладают высокой устойчивостью по всем изученным признакам, в связи с чем они представляют интерес для селекционной работы в качестве потенциальных источников жаростойкости.

Во всем мире томаты являются важной частью разнообразного и сбалансированного питания. Поскольку они богаты витаминами, каротиноидами и фенольными соединениями, то тем самым обеспечивают разнообразную смесь питательных веществ в рационе человека [2, 3]. Особое значение в селекции томатов имеют формы, обладающие генами *b* (*carotene*), *r* (*yellow flesh*), которые играют важную роль в питании людей, подверженных аллергии на красные томаты, особенно детей.

Засуха и высокие температуры в последние десятилетия стали основными ограничивающими факторами роста, развития и продуктивности томата [4, 5].

Для эффективного использования генофонда томатов как исследователям, так и производителям, следует создать специальные коллекции томатов с идентифицированными генами. В каждой коллекции необходимо выбрать генотипы, несущие наиболее ценные гены для селективного улучшения этого вида.

Целью наших исследований было определение устойчивости к повышенной температуре сортов томата, содержащих гены *b* (*carotene*) и *r* (*yellow flesh*), и выявление устойчивых генотипов для дальнейшего использования их в качестве доноров устойчивости к жаре.

Материалом для исследований служили 15 генотипов томата разного экологического происхождения. Из них 12 (*Rufina*, *Чаровница*, *Росинка*, *Викинг*, *Golden Jubilee*, местная форма из Тимишоара, *MilOrang*, *Breeding Line*, *Luci*, *Flacăra*, *Chihlimbar*, *Mia*) содержат гены *b* (*carotene*) и 3 генотипа (*Долгоносик*, *Оранжевые сосулки*, *Врожайный*) - *r* (*yellow flesh*).

Опыты проводились в лабораторных условиях. Трехдневные растения подвергали воздействию высоких температур в течение 6 часов. Измеряли длину зародышевого корня, стебелька и проростка у 7-дневных растений [1]. Были использованы 3 уровня температур: оптимальная 25°C и стрессовые 40 и 42°C. Полученные данные обработаны в пакете программ STATISTICA 7.

Тестирование реакции растений на стрессовые температуры показало, что в большинстве случаев имело место ингибирование длины зародышевого корешка, стебелька и проростка. При этом реакция растений зависела от генотипа, анализируемого признака и уровня температуры. Анализ показателя «длина корешка» свидетельствовал о том, что генотипы томата проявили дифференцированную реакцию на стрессовые температуры. (Рис. 1А), причем в оптимальных условиях этот показатель варьировал в пределах 21,4...47,8 мм, в то время, как при 40°C – 16,6...36,4,3 мм.

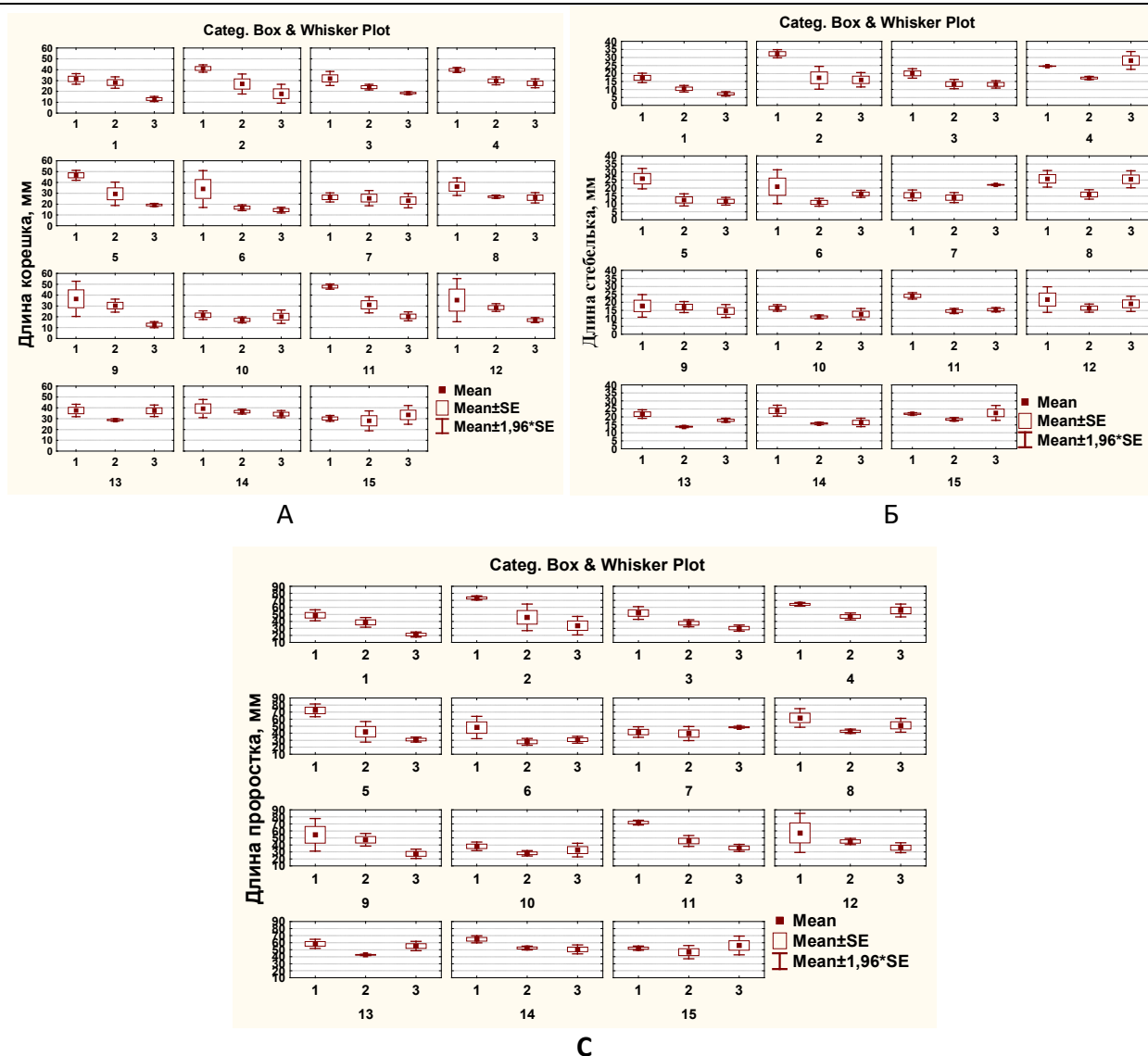


Рис. 1. Влияние различных уровней температуры на органы роста томата

По горизонтали: 1 – t 25°C (контроль); 2 – t 40°C, 3 – t 42°C

1 – Rufina, 2 – Чаровница, 3 – Росинка, 4 – Долгоносик, 5 – Викинг, 6 – Golden Jubilee, 7 – местная форма из Тимишоара, 8 – MilOrang, 9 – Oranjevié sosulki, 10 – Luci, 11 Flacăra, 12 – Chihlimbar, 13 – Врожайний, 14 – Breeding Line, 15 – Mia

Степень подавления роста для изученных форм была в пределах -2,7...-51,0 по сравнению с оптимальными условиями. Сильное ингибирование выявлено у сортов Чаровница (-34,8%), Flacăra (-35,1), Викинг (-36,8%), Golden Jubilee (-51,0%). При температуре 42°C выраженное подавление роста корешка (в пределах -6,5...-65,5%) произошло у большинства изученных генотипов. Стимулирование выявлено лишь у сорта Mia – на 11,0%, а незначительное ингибирование отмечено у сортов Врожайний (-0,8%), Luci (-6,5%) и местной формы из Тимишоара (-11,1%).

В контрольном варианте длина стебелька варьировала в пределах 15,5...32,4 мм (Рис. 1Б). Под действием стрессовых температур генотипы проявили довольно дифференцированную реакцию и высокую вариабельность признака: в 27 случаях произошло ингибирование (-9,7...-57,8%), а в 3-х – стимуляция роста стебелька (+14,6, +41,9 и +2,7%). По сравнению с оптимальной

температурой при режиме 40°C у 5 генотипов рост стебелька был существенно ингибирован, особенно это заметно у сортов Rufina, Чаровница, Викинг, Golden Jubilee, Flacăra, у которых снижение указанного показателя составило 39,3, 46,3, 51,4 и 46,6%, соответственно. Наиболее устойчивыми оказались местная форма из Тимишоара и сорт Mia, длина стебелька которых была ниже контроля на 9,7 и 15,5%. Выявлено, что стрессовая температура 42°C ингибировала рост стебелька в пределах -1,2...-57,8% у 12 генотипов. Значительное снижение этого показателя отмечено у сортов Rufina (-57,8%), Чаровница (-50,3%), Викинг (-54,8%). Стимулирование выявлено у сортов Долгоносик (+14,6%), местная форма из Тимишоара (+41,6%), Mia (+2,7%), а незначительное ингибирование - у MilOrang и Врожайний.

Что касается длины проростка, то снижение этого показателя по сравнению с контролем варьировало в пределах 5,3...42,4% при температуре 40°C и 5,3... 57,4% при 42°C, причем температура 40°C сильнее всего повлияла на генотипы Викинг (42,1%), Golden Jubilee (42,4), Luci (36,6%). При температуре 42°C ингибирование более чем на 50,0% наблюдалось у сортов Чаровница, Викинг, Flacăra (Рис.1С).

Статистическая обработка экспериментальных данных по всем генотипам в двухфакторном дисперсионном анализе позволила определить изменчивость признаков и степень влияния каждого из факторов (генотип, температура), а также их взаимодействия на вариабельность изученных признаков (Табл. 2).

Таблица 2. Факторный анализ взаимоотношений *растение томата x температурный стресс*

Источник вариации	Степень свободы	Средняя сумма квадратов	Вклад в источник вариабельности, %
<b>Длина корешка</b>			
Генотип	14	212,8*	8,8
Температура	2	2073,0*	85,7
Взаимодействие генотип x температура	28	96,2*	4,0
Остаточные эффекты	90	37,0	1,5
<b>Длина стебелька</b>			
Генотип	14	96,00*	12,4
Температура	2	628,6*	81,3
Взаимодействие генотип x температура	28	36,8*	4,8
Остаточные эффекты	90	11,5	1,5
<b>Длина проростка</b>			
Генотип	14	501,6*	10,2
Температура	2	4120,6*	84,1
Взаимодействие генотип x температура	28	205,9*	4,2
Остаточные эффекты	90	71,9	1,5

\*- $p \leq 0,05$ .

Установлено, что вклад генотипа, температуры и их взаимодействия в источник вариабельности признаков «длина корешка» составили 8,8; 85,7; 4,0%, для стебелька – 12,4; 81,3; 4,8% и проростка – 10,2; 84,1; 4,2%, соответственно. Таким образом, для роста корешка, стебелька и проростка наибольшее значение имеет фактор температуры (85,7, 81,3 и 84,1%).

В результате проведенных исследований определили, что реакция растений томата, оцениваемая по параметрам роста корешка, стебелька и проростка, на стрессовые температуры в контролируемых условиях была различной и зависела от органа роста генотипа и уровня температуры.

С помощью факторного анализа установили, что вклад температуры в вариабельность формирующихся органов растения томата существенно выше вклада генотипа.

Сорта Mia, Breeding Line, местная форма из Тимишоара обладают высокой устойчивостью по всем изученным признакам, в связи с чем они представляют интерес для селекционной работы в качестве возможных геноисточников жароустойчивости.

#### **Благодарности**

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.7007.04 «Биотехнологии и генетические способы выявления, сохранения и использования агробиоразнообразия», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.

#### **Список литературы / References**

1. Ивакин А.П. Методические указания. Определение жаростойкости овощных культур по ростовой реакции проростков после прогревания их при высокой температуре. Ленинград: ВИР, г. Павловск, 1979, 9 с.
2. Li Y., Wang H., Zhang Y., Martin C. Can the world's favorite fruit, tomato, provide an effective biosynthetic chassis for high-value metabolites? In: Plant Cell Rep., 2018b, 37, p. 1443–1450.
3. Martí R., Roselló S., Cebolla-Cornejo J. Tomato as a source of carotenoids and polyphenols targeted to cancer prevention. Cancers (Basel), 2016, 8, E58. doi: 10.3390/cancers8060058.
4. Mihnea N., Botnari V., Lupaşcu G. Tomato Varieties with High Indices of Productivity and Resistance to Environmental Factors. In: Ekin J. of Crop Breed. and Genet., 2016, 2(1), p.15-22.
5. Mihnea N., Lupaşcu G. Heritability of the tomato genotypes resistance to the high temperatures of air. International Conference "Agriculture for Life, Life for Agriculture". Horticulture Bucureşti Vol. LXII, 2018, 339-343.

#### **REACTION OF THE TOMATO VARIETIES CARRYING THE B (CAROTENE) AND R (YELLOW FLESH) GENES TO STRESS TEMPERATURES**

N.I. MIHNEA, D. P. KLIMAUTSAN, C. V. ROSHCA

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau, Republic of Moldova,  
mihneanadea@yahoo.com*

**Abstract.** The article presents data on the response of different tomato varieties carrying the  $\beta$  (carotene) and r (yellow flesh) genes to stress temperatures (40°C and 42°C). The parameters for evaluating the effect were the length of the embryonic root, stem, and seedling. A significant differentiation of the response of tomato genotypes to the indicated temperatures was revealed. Strong inhibition under the influence of 40°C was found in the varieties Charovnitza (-34.8%), Flacara (-35.1), Viking (-36.8%), Golden Jubilee (-51.0%). At a high temperature of 42°C, there was a pronounced suppression of root growth in the most of studied genotypes; it was in the range of -6.5...-65.5%. Stimulation was found in the Mia variety; it was of 11.0%. There was an insignificant inhibition in the variety Vrozhainyi (-0.8%), Luci (-6.5%), and the local form from Timisoara (-11.1%). Under the influence of stress temperatures, genotypes showed a rather differentiated response and high variability of the stem length: inhibition (-9.7...-57.8%) occurred in 27 cases, and stimulation of stem growth was in 3 cases (+14.6%, +41.9, and +2.7). As for the length of the seedling, it decreased in comparison with the control within the range of 5.3...42.4% at a temperature of 40°C and 5.3...57.4% at 42°C. As a result of the factor analysis, it was found that the contribution of temperature to the variability of the forming organs of the tomato plant is significantly higher than the contribution of the genotype. The genotypes Mia, Breeding Line, the local form from Timisoara is highly resistant for all studied traits, therefore, they are of interest in breeding work as potential sources of heat resistance.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРАЦИИ В ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ**

Л.А. НЕМЕНУЩАЯ

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГБНУ «Росинформагротех»), [nela-21@mail.ru](mailto:nela-21@mail.ru)

**Аннотация.** Рассмотрены технологии, основанные на физических методах обработки сельскохозяйственного сырья, в частности вибрационном воздействии. Дан анализ отечественных достижений в данной области. Сформулированы основные направления применения вибрации перспективные для АПК. Предложены технологии с использованием вибрации, внедрение которых обеспечит импортозамещение и повышение конкурентоспособности отечественной сельскохозяйственной продукции.

**Ключевые слова.** Вибрации, сельскохозяйственное сырье, обработка.

### **Введение**

Физические процессы лежат в основе практически всех традиционных способов обработки сельскохозяйственного сырья. В переработке сельскохозяйственной продукции очень широко используются теплофизические методы, которые включают в себя в основном сушку, стерилизацию, пастеризацию. К широко применяемым физическим методам обработки сельскохозяйственного сырья, также относят методы охлаждения (хранение при температуре 0–4°C) и замораживания (обработка температурой, обеспечивающей превращение в лед, содержащейся в сельскохозяйственном сырье жидкости). Существуют менее распространенные физические методы обработки сельскохозяйственного сырья, но также достаточно эффективные.

Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы предусмотрено создание и внедрение конкурентоспособных отечественных технологий переработки сельскохозяйственной продукции, за счет чего планируется снижение уровня импортозависимости и повышение продовольственной безопасности страны (ФНТП, эл. рес. 2018). К таким технологиям обработки сельскохозяйственного сырья, относятся методы на основе вибрации.

### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследования являлась технологическая обеспеченность перерабатывающей отрасли для анализа основных направлений совершенствования процессов переработки сельскохозяйственного сырья с помощью вибрационного воздействия. Исследование проводилось с помощью информационно аналитического мониторинга, анализа и обобщения открытых информационных источников о перспективных технологиях и оборудовании, базирующихся на методе вибрации.

### **Результаты и обсуждение**

Вибрационное воздействие способно усовершенствовать многие традиционные технологии обработки сельскохозяйственного сырья (транспортирование, дозирование, разделение, измельчение, резание, смешивание, уплотнение, центрифугирование, фильтрование, массообменные процессы), ускоряя их в десятки раз (Иванова А.П. и др., 2020).

В таблице 1 были обобщены и отобраны научно обоснованные профильными вузами и НИИ возможности использования вибрационного воздействия в технологиях обработки сельскохозяйственного сырья (Яцун С.Ф. и др, 2010; Иванова А.П. и др., 2020; Патент на изобретение № 2305415 РФ, 2007; Мищенко В.Я. и др., 2017; Секерина И.Ю., 2018; Бородулин

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия      14–15 сентября 2021 г.

Д.М. и др., 2019; Патент на изобретение RU 2651281 С1, 19.04.2018; Белов А.Г. и др., 2019; Федоренко И.Я. и др., 2019; Патент на изобретение RU 2671933 С1, 07.11.2018; Машков А.Н., Шувалов А.М., 2018; Мачкарин А.В., Рыжков А.В., 2019; Хропач А.И., 2019; Фалько А.Л. и др., 2018; Патент 2580457 РФ, 10.04.2016; Мишуров Н.П. и др., 2020).

Таблица 1. Технологии с использованием вибрационного воздействия для обработки сельскохозяйственного сырья.

Название технологии и разработчик	Особенности технологии и конкурентные преимущества
Экстрагирование пектиновых веществ из свекловичного жома, Курская ГСХА	Значительно ускоряются процессы массообмена, себестоимость снижается, повышается качество готового продукта. Воздействие механических колебаний создает активный гидродинамический режим, происходит интенсивное обновление межфазной поверхности, скорость экстрагирования увеличивается в 3-10 раз, выход сухих веществ составил около 90-95%. Решаются экологические проблемы. Разработаны оборудование, методика и проведены экспериментальные исследования.
Технология производства сушеной моркови, ВГУИТ	Разработана специальная линия. Позволяет интенсифицировать технологические процессы; обеспечить значительное сокращение продолжительности сушки с 4,5 час. до 35...40 мин. (до влажности 8%); получить продукт с более высоким содержанием ценных питательных веществ; снизить количество отходов за счет использования гидрорезательной машины, снизить степень контактирования с кислородом воздуха в следствие замкнутого контура гидрорезательной машины, что способствует меньшему потемнению и снижению органолептических качеств готового продукта, а также снизить удельные энергозатраты; обеспечить сокращение энергозатрат на проведение технологических процессов; повысить надежность и стабильность работы оборудования при производстве сушеной моркови вследствие осуществления дозированной загрузки оборудования и порционной обработки продукта.
Инновационная технология производства экструдированных кормов с ультрадисперсными частицами, Оренбургский ГУ	За счет используемого эффекта вибрации и ультразвуковых колебаний каждая частица приобретает высокую подвижность и предотвращается их агломерация. По сравнению с другими устройствами заявленный роторно-вибрационный смеситель позволяет повысить эффективность смешивания высокодисперсных, нановеществ и качество готовой смеси. Разработано аппаратное обеспечение.
Технология термической обработки сои, ВНИИТиН	Разработана установка для термической обработки сои, выполненная на базе вибрационного транспортера. Обеспечивает возможность экономии электроэнергии, повышения эффективности охлаждения сои, так как вибрация желоба частично отрывает зерно от желоба и поворачивает его в процессе движения, в результате увеличивается поверхность обдува сои холодным воздухом. Наилучшие результаты по охлаждению получены при обеспечении турбулентного движения воздуха за счет применения отражательных пластин.

Название технологии и разработчик	Особенности технологии и конкурентные преимущества
Технология смешивания в вязкой среде для комбикормового и пищевого производств, Белгородский ГУ	Разработаны новые конструкции вибрационных смесителей, при применении которых повышается производительность, снижаются удельные энергетические затраты, улучшается качество продукции. Причем вибрационные эффекты поддаются быстрому регулированию путем изменения параметров вибрации, что способствует оптимизации основных технологических режимов, в соответствии с высокими требованиями, предъявляемыми к качеству смеси.
Технология смешивания кормосмеси, Оренбургский ГУ, Самарском ГУПС	Повышение эффективности процесса вибросмешивания. Использование вибрационного смесителя со стимулирующими виброактивными поверхностями. При приготовлении кормосмеси влажностью до 15% для молодняка кур степень ее однородности на 1,1–1,55%, при сравнении с традиционной технологией.
Инновационный способ панировки рыбных тушек, Керченский государственный морской ГУ	Основан на применении вибрационного перемещения по ступенчатой ситовой или стержневой поверхности рабочего органа. При таком перемещении происходит отвод лишней влаги от сырья, что в результате экономит пищевой материал для панировки, который налипает оптимальным и однородным слоем.
Технология производства сметаны, Курская ГСХА	Применение вибрационных смесителей обеспечивает сокращение технологического процесса и наилучшее качество продукции.

### **Выводы**

Использование физического эффекта вибрации особенно широко применяется при смешивании сырья, почти в 2 два раза повышая его однородность (приготовление кормосмесей Оренбургский ГУ, Самарский ГУПС); в технологиях экстрагирования вибрация ускоряет процесс в 3-10 раз (извлечение пектиновых веществ из свекловичного жома, Курская ГСХА), вибрация обеспечивает сокращение продолжительности сушки с 4,5 ч. до 40 мин (технология производства сушеной моркови, ВГУИТ).

Все представленные технологии подтверждают положительное влияние вибрационного воздействия, которое обеспечивает: интенсификацию процессов, улучшение качества продуктов, снижение энергозатрат. Для дальнейшего развития вибрационных технологий и их широкого применения в переработке сельскохозяйственного сырья требуется детальная характеристика протекания соответствующих процессов, разработка технологических регламентов для производства и внедрения эффективного промышленного оборудования.

### **Список литературы / References**

- Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства [Электронный ресурс] URL: <https://www.fntp.ru/o-programme>. (дата обращения 25.04.2020).
- Яцун, С.Ф., Серебровский, В.В., Серебровский, В.И., Мищенко, В.Я., Мищенко, Е.В. Вибрационная техника в пищевой и перерабатывающей промышленности: учеб. пособие / Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак. 2010. 144 с.
- Иванова А.П., Васильева М.А., Делигирова (Гунько) В.В., Панов Е.И. Возможный резерв повышения эффективности процесса вибросмешивания // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 1 (81). С. 97-101.
- Яцун, С.Ф., Коновалов, М.Б., Мищенко, В.Я. Способ получения пектина. Патент на изобретение № 2305415 РФ. Кл. МПК А23L 1/0524 / Б.И. 2007. № 25. 3 с.
- Мищенко В.Я., Мищенко Е.В. Применение модульного принципа проектирования при создании вибрационного технологического оборудования // МНТФ Первые Косыгинские чтения 2017. Современные инженерные проблемы. 11-12 октября 2017 года. ISBN 978-5-87055-533-1. С 83-86.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

- Секерина И.Ю. Применение вибрационных процессов для интенсификации технологических процессов в биотехнологии // Молодежь и XXI век - 2018 Материалы VIII Международной молодежной научной конференции. В 5-ти томах. Ответственный редактор А.А. Горохов. 2018. С. 95-97.
- Бородулин Д.М., Зорина Т.В., Комаров С.С., Сахабутдинова Г.Ф. Определение рациональных параметров работы вибрационного смесителя при получении сухих комбинированных продуктов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 2. С. 119-129.
- Калашников Г.В., Черняев О.В. Линия производства сушеной моркови // Патент на изобретение RU 2651281 С1, 19.04.2018. Заявка № 2017116459 от 12.05.2017.
- Белов А.Г., Шахов В.А., Путрин А.С., Козловцев А.П., Филатов М.И., Борулько В.Г. Инновационная разработка технологии и оборудования для производства экструдированных кормов с ультрадисперсными частицами // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 155-158.
- Федоренко И.Я., Левин А.М., Табаев А.В. Инновационные конструкции вибрационных дробилок фуражного зерна // Перспективы внедрения инновационных технологий в АПК. Сборник статей II Российской (Национальной) научно-практической конференции. 2019. С. 104-106.
- Васильев А.М., Стрелюхина А.Н., Потапова М.А. Способ возбуждения механических колебаний силовых факторов с регулируемыми параметрами // Патент на изобретение RU 2671933 С1, 07.11.2018. Заявка № 2017143862 от 14.12.2017.
- Машков А.Н., Шувалов А.М. Расчет параметров системы охлаждения темперированной сои // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 3 (28). С. 554-560.
- Мачкарин А.В., Рыжков А.В. Теоретические исследования вибросмешивания сыпучих кормов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. №3(23). С.43-54.
- Хропач А.И. Сравнительный анализ технологического оборудования для производства сметаны // Молодежь и XXI век – 2019. Материалы IX Международной молодежной научной конференции. 2019. С. 263-265.
- Фалько А.Л., Кашуба М.В., Сюгина Е.Г. Исследование вибрационного перемещения рыбных тушек в панировочной машине // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2018. № 1-1 (27). С. 92-97.
- Патент 2580457 РФ, МПК А01С 1/00 (2006.01). Вибрационный станок для шлифования семян / Серга Г. В., Резниченко С. М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования Кубанский государственный аграрный университет. – № 2015100322/13; заявл. 12.01.2015; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10. – 5 с.: ил.
- Мишуров Н.П., Неменушчая Л.А., Павлов Ю.С., Кондратенко В.В., Тришканева М.В., Королев А.А. Физические методы обработки сельскохозяйственного сырья // Москва, 2020. – 88 с.

## APPLICATION OF VIBRATION IN THE PROCESSING OF AGRICULTURAL RAW MATERIALS

L.A. NEMENUSHCHAYA

*Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex» (FGBNU "Rosinformagrotech"), nela-21@mail.ru*

**Abstract.** The technologies based on the physical methods of processing agricultural raw materials, in particular, the vibration effect, are considered. The analysis of domestic achievements in this field is given. The main directions of application of vibration promising for the agroindustrial complex are formulated. Technologies using vibration are proposed, the introduction of which will ensure import substitution and increase the competitiveness of domestic agricultural products.

**Keywords.** Vibration, agricultural raw materials, processing.



**АГРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ КРЕМНЕЗОЛЬНЫХ НАНОКОМПОЗИЦИЙ**

Г. Г. ПАНОВА<sup>1</sup>, О.А. ШИЛОВА<sup>2</sup>, Т. В. ХАМОВА<sup>2</sup>, Д.В. КОРНЮХИН<sup>3</sup>, А.М. ШПАНЕВ<sup>1</sup>, О.Р. УДАЛОВА<sup>1</sup>, А.М. АРТЕМЬЕВА<sup>3</sup>, А.С. ГАЛУШКО<sup>1</sup>, А. С. КОВАЛЕНКО<sup>2</sup>, А.М. НИКОЛАЕВ<sup>2,4</sup>, А.С. ЖУРАВЛЕВА<sup>1</sup>, Е. В. КАНАШ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ), Санкт-Петербург, [granova@agrophys.ru](mailto:granova@agrophys.ru);

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук» (ИХС), Санкт-Петербург;

<sup>3</sup> ФГБНУ ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ФГБНУ ФИЦ ВИР), Санкт-Петербург;

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** Приведена информация об основных результатах исследований влияния созданных нами кремнезольных наноконпозиций на фито тест-объекты в регулируемых и полевых условиях. Показано их комплексное положительное действие при обработке семян растений на примере ряда зерновых и овощных культур, а именно: образование на семенах защитной нанопористой пленки, содержащей полезные макро-микроэлементы, включая кремний, другие физиологически активные соединения, обеспечивающей регуляцию состава эпифитных микроорганизмов на поверхности семян, стимуляцию их прорастания, увеличение показателей роста, развития и продуктивности растений, улучшение качества получаемой растительной продукции, повышение устойчивости растений на ранних этапах их развития к поражению фитопатогенами и усиление фитопротекторного эффекта при комбинированном применении с фунгицидом на протяжении всего онтогенеза растений.

**Ключевые слова:** кремнезольные наноконпозиции, семена растений, нанопористая пленка, прорастание, рост и развитие, продуктивность, устойчивость, фитопатогены.

**Введение**

Разработка экологически безопасных высокоэффективных технологий и средств повышения конкурентоспособности и устойчивости растений к стрессовым условиям на ранних этапах их развития остается весьма актуальной и востребованной задачей современной науки. Среди известных способов – обработка семян водными растворами препаратов, дражирование, гидрофобизация растворами пленкообразующих полимерных веществ (Красавцев, Александров, 2017; Корзинников с соавт., 2001). Накопление последних в окружающей среде может неблагоприятно отразиться на экологическом равновесии и, в конечном итоге, – состоянии биоты. Нами предложена идея и разработан метод (Пат. РФ № 2618143, 2017) создания на поверхности семян тонкой пористой кремнеземной «оболочки» с использованием золь на основе гидролизованного тетраэтоксисилана, которая в отличие от покрытий методом дражирования имеет субмикронную толщину и при этом обеспечивает сохранность полезных для растений веществ и не препятствует доступу влаги к семенам. Этиловый эфир ортокремниевой кислоты, являющейся, как известно, естественным компонентом почвенного раствора, сохраняет эффективность и в низких концентрациях, что представляет большой интерес к созданию на его основе наноконпозиций и исследованию влияния на растения. На сегодняшний день очень мало в мире исследования по использованию кремнезоль для предпосевной обработки семян.

Целью данной работы - на основе обобщения полученных данных исследований представить основные выявленные особенности влияния созданных кремнезольных наноконпозиций на фито тест-объекты в благоприятных условиях и при действии стрессовых факторов.

### Объекты и методы исследования

Синтез кремнезольных наночастиц на основе 0,1 мас.% - 30 мас.% тетраэтоксисилана-  $\text{Si}(\text{OEt})_4$ , pH~3 или pH~7 с добавками шихты детонационного наноалмаза (АШ), детонационного наноалмаза (ДНА), диоксида титана в форме анатаза, растворов макро- и микроэлементов и др. осуществляли по оригинальной методике (Пат. РФ № 2618143, 2017). Обработка семян кремнезольными проводили по разработанной ранее методике (Шилова с соавт., 2018). Морфология поверхности семян до и после предпосевной обработки оценивалась с помощью сканирующей электронной микроскопии, которая была выполнена с использованием растрового электронного микроскопа высокого разрешения Carl Zeiss NVision 40 при ускоряющем напряжении 1 кВ. Для оценки изменения состава поверхности семян использован микроанализ элементного состава (МРСА), который был выполнен с помощью энергодисперсионного спектрометра Oxford Instruments X-MAX (80 мм<sup>2</sup>) при ускоряющем напряжении 20 кВ. Количественное определение элементного состава поверхности семян проводили путем усреднения данных МРСА анализа по нескольким точкам. Изучение биологической активности проводили по реакции обработанных семян растений в соответствии с правилами международной ассоциации тестирования семян (ISTA) и общепринятых методов (ГОСТ 12038-84, 1985; ISTA, 2016). Оценку влияния предпосевной обработки семян на примере ярового ячменя сорта Ленинградский экспериментальными образцами кремнезольных наночастиц на устойчивость к возбудителю корневой гнили *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur проводили по методике, описанной в работе (Панова с соавт., 2018). Все эксперименты трижды повторены. Оценку влияния обработки семян созданными кремнезольными наночастицами на физиологическое состояние растений (яровой ячмень, пекинская капуста, салат), их рост, продуктивность биохимический состав проводили в регулируемых благоприятных условиях и при моделировании стресса, вызванного дефицитом или избытком азотного питания, фитопатогенами, а также в природных условиях Ленинградской области, используя стандартные или общепринятые методы анализа.

### Результаты и обсуждение

Ранее были определены состав и концентрации компонентов кремнезольных наночастиц на основе тетраэтоксисилана (ТЭОС) -  $\text{Si}(\text{OEt})_4$  (pH 2-3 или 7-8), а также технология их синтеза (Панова с соавт., 2017; Шилова с соавт., 2018), при которых отмечается положительное влияние на прорастание семян, рост и развитие различных сортов ярового ячменя, пекинской капусты, и с помощью электронной микроскопии наглядно показано образование пленки на поверхности семян, обработанных композициями кремнезольных наночастиц с концентрацией ТЭОС более 1%. На примере ярового ячменя выявлена тенденция к повышению устойчивости растений к фитопатогену – возбудителю корневой гнили *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur при обработке семян кремнезольными наночастицами с pH 2-3 на основе ТЭОС и макро-, микроэлементов (Панова с соавт., 2017).

Для усиления фитопротекторных свойств кремнезольных наночастиц на основе ТЭОС, в их состав введена фоточувствительная добавка – диоксид титана в форме анатаза, а также детонационный наноалмаз (ДНА) и его шихта, легированная бором (АШ с В). По результатам исследований в ходе проведения микровегетационных экспериментов при проращивании семян растений ярового ячменя сорта Ленинградский, предварительно обработанных кремнезольными наночастицами на основе 1% и 20% масс ТЭОС, легированных ДНА, или АШ с В или диоксидом титана в форме анатаза, и их выращивании на протяжении 20 суток в присутствии в корнеобитаемой среде возбудителя корневой гнили *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur показано, что варианты обработки семян кремнезольными наночастицами на основе 20 масс. % ТЭОС pH 7-8 с 2,5 масс.% ДНА и на основе

1 масс.% ТЭОС рН 2-3 с 0,1масс% TiO<sub>2</sub> оказывали существенный фитопротекторный эффект. Растения в данных вариантах по массе не отличались от таковых в незараженном контроле. Балл поражения по шкале Гоймана составлял соответственно 0 и 1, число выживших растений – 75% и 125 % соответственно относительно незараженного контроля.

Микробиологический анализ поверхности семян ярового ячменя показал, что обработка их кремнезолями на основе 1 масс.% и 20 масс.% ТЭОС с рН 2-3 и рН 7-8. приводит преимущественно к снижению численности микроорганизмов различных групп, включая и мицелиальные грибы. При этом значимое нарушение соотношения численности спорообразующих бактерий и остальных микроорганизмов наблюдается при обработке семян 1 масс.% и 20 масс.% ТЭОС с рН 7-8. Учитывая влияние на энергию прорастания, всхожесть семян и ростовые характеристики проростков, а также воздействие на микроорганизмы на поверхности семян можно в качестве перспективных для дальнейшего изучения и усовершенствования выделить 1 масс.% ТЭОС с рН 2-3, легированного макро- и микроэлементами. Добавление в состав кремнезоля на основе 1 масс.% ТЭОС с рН 2-3 глицерина и диоксида титана способствовало более благоприятному для растений изменению численного состава микроорганизмов на поверхности обработанных семян – уменьшалось количество микромицетов и увеличивалась численность бактерий, потенциально функционально полезных растениям, что положительным образом отражалось на прорастании семян и ростовых характеристиках проростков ячменя.

Оценка влияния обработки семян ярового ячменя кремнезольными наноконпозициями на рост, развитие и продуктивность растений в регулируемых благоприятных условиях при их выращивании на дерново-подзолистой супесчаной почве с различным уровнем азотного питания (N<sub>30</sub>; N<sub>60</sub>; N<sub>240</sub>) выявила, что наиболее выраженный положительный эффект оказывает обработка семян кремнезольными наноконпозициями на основе 0,1 масс. % ТЭОС (рН-2-3) с АШ, легированной бором, способствуя формированию у растений большего числа продуктивных стеблей, более крупного колоса относительно таковых у необработанных растений. Однако, указанные изменения значений этих показателей положительным образом отражаются на числе семян и их массе только в вариантах с исходным уровнем питания N<sub>60</sub>. В вариантах с исходным уровнем азотного питания N<sub>30</sub> и N<sub>240</sub> наблюдается достоверное снижение числа семян на растении и зерновой продуктивности.

Проверка эффективности в полевых экспериментах созданных и отобранных по результатам исследований в регулируемых условиях наноконпозиций на основе 1 масс.% ТЭОС рН 2-3 с 0,1масс.% TiO<sub>2</sub> или 1 масс.% ТЭОС рН 2-3 с 0,1масс.% АШ, легированной бором, на примере ярового ячменя сорта Ленинградский показала выраженное положительное влияние на растения в сочетании с химическим фунгицидом Иншур Перформ, КС, выражающееся в увеличении биологической эффективности указанной комбинированной обработки по сравнению с действием данных веществ по отдельности. Отмечалось преимущественно усиление сдерживающего эффекта при комбинированной обработке указанных выше фунгицида и кремнезольных наноконпозиций на развитие корневых гнилей (*Fusarium* spp. + *Bipolaris sorokiniana* - гельминтоспориозно-фузариозная корневая гниль) и листовых болезней (*Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur - темно-бурая пятнистость; *Pyrenophora teres* Drechsler - сетчатая пятнистость; *Pyrenophora graminea* (S. Ito & Kurib.) анаморфа *Drechslera graminea* (Rabenh.) Shoemaker - полосатая пятнистость; *Blumeria graminis* (DC) Speer f. sp. hordei Marchal - мучнистая роса; *Rhynchosporium secalis* (Oudem.) J. J. Davis – ринхоспориоз; *Puccinia hordei* G.H. Otth. - карликовая ржавчина; и др.), а также увеличение показателей продуктивности растений ярового ячменя.

На примере растений салата сорта Тайфун в регулируемых условиях выявлено влияние обработки семян кремнезольными композициями на биохимический состав получаемой растительной продукции. Показано преимущественно повышение содержания сахаров, калия, меди, марганца, снижение содержание нитратов в листьях салата в вариантах обработки их семян кремнезольными композициями относительно контроля. Судя по изменению показателей продуктивности растений салата, наиболее выраженное положительное влияние оказал вариант обработки семян кремнезольной композицией на основе 1 масс.% ТЭОС с добавками макро-, микроэлементов и АШ, легированной бором. В совокупности полученные данные свидетельствуют о положительном влиянии разработанных составов кремнезольных наноконпозиций на качество урожая получаемой растительной продукции.

### **Выводы**

Таким образом, полученные данные о влиянии на растения созданных кремнезольных наноконпозиций на основе тетраэтоксисилана с различными физиологически активными допантами в установленных концентрационных соотношениях свидетельствуют об их комплексном положительном действии при обработке семян растений на примере ряда зерновых и овощных культур, а именно: образование на семенах защитной нанопористой пленки, содержащей полезные макро- микроэлементы, включая кремний, другие физиологически активные соединения, обеспечивающей регуляцию состава эпифитных микроорганизмов на поверхности семян, стимуляцию их прорастания, увеличение показателей роста, развития и продуктивности растений, улучшение качества получаемой растительной продукции, повышение устойчивости растений на ранних этапах их развития к поражению фитопатогенами и усиление фитопротекторного эффекта при комбинированном применении с фунгицидом на протяжении всего онтогенеза растений. Среди созданных кремнезольных наноконпозиций более высокую ростостимулирующую способность в отношении растений проявляют 20 масс.% ТЭОС pH 7-8 с 0,1 масс.%  $TiO_2$ , а также 1 масс.% и 20 масс.% ТЭОС (pH 2-3 или 7-8), легированные 0,1 масс.% шихтой детонационного наноалмаза с добавкой бора; фитопротекторную – 20 масс.% ТЭОС pH 7-8 с 2,5 масс.% ДНА и 1 масс.% ТЭОС pH 2-3 с 0,1 масс.%  $TiO_2$  или с АШ, легированную бором. Отмеченное в совокупности свидетельствует о перспективности дальнейшего продолжения исследования в направлении усовершенствования созданных кремнезольных наноконпозиций и разработки технологии их применения в сочетании с фунгицидами и другими нанопрепаратами для усиления и стабилизации положительного влияния на сельскохозяйственные растения.

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке Федерального бюджетного государственного научного учреждения «Агрофизический научно-исследовательский институт» из средств Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2021 годы, этап № 0667-2019-0013 и в части создания и изучения свойств биологически активных средств на основе наноматериалов и их композиций – при поддержке РФФИ №. 15-29-05837офи\_м, РФФИ №. 19-13-00442 (в части получения кремнезольных наноконпозиций из водных растворов без добавления спирта).

**Список литературы / References**

- ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести, Москва, 1985, 58 с.
- International Seed Testing Association – ISTA. International Rules for Seed Testing. V. 2016. N 1. P1-384 DOI: 10.15258/istarules.2016.f
- Красавцев Б.Е., Александров Б.Л. Разработка состава парафино–воскового защитного покрытия для предпосевной обработки семян озимой пшеницы // Научный журнал КубГАУ, 2017. №126(02). С. 1-12. DOI: 10.21515/1990-4665-126-058
- Корзинников Ю. С., Тагаева Е. Ю., Троязыков Д. Д. Химические средства предпосевной подготовки семян // Интеллектуальные и материальные ресурсы Сибири. ИрО АН ВШ. Иркутск: 2001. С. 46 -51.
- Панова Г.Г., Семенов К.Н., Шилова О.А., Корнюхин Д.Л., Шпанев А.М., Аникина Л.М., Хамова Т.В., Артемьева А.М., Канаш Е.В., Чарыков Н.А., Удалова О.Р., Галушко А.С., Журавлева А.С., Филиппова П.С., Кудрявцев Д.В., Блохина С.Ю. Влияние углеродных и кремнезольных наноматериалов на устойчивость ярового ячменя к заболеванию корневыми гнилями // Агрофизика, 2018. № 3. С. 48-57
- Панова Г.Г., Шилова О.А., Хамова Т.В., Аникина Л.М., Артемьева А.М., Корнюхин Д.Л., Удалова О.Р., Гусакова Л.П., Синявина Н.Г., Блохина С.Ю., Долматов В.Ю. Влияние наноконпозиционной кремнезольной оболочки на поверхности семян на начальные этапы развития растений // Агрофизика, 2017. № 2. С.30-39.
- Патент РФ на изобретение № 2618143 Способ предпосевной обработки семян ячменя / Шилова О.А., Хамова Т.В., Панова Г.Г., Аникина Л.М. 2017 Бюл. № 13.
- Шилова О.А., Хамова Т.В. Панова Г.Г., Аникина Л.М., Артемьева А.М., Кирюхин Д.Л. Использование золь гель технологии для обработки семян ячменя // Физика и химия стекла. 2018. Т.44. №1. С. 39-47 [Shilova, O.A., Khamova, T.V., Panova, G.G. et al. Using the Sol–Gel Technology for the Treatment of Barley Seeds // Glass Phys Chem (2018) 44: 26. <https://doi.org/10.1134/S108765961801011X>].

**AGROBIOLOGICAL ASPECTS OF THE SILICA SOLS NANOCOMPOSITIONS INFLUENCE**

G. G. PANOVA<sup>1</sup>, O.A. SHILOVA<sup>2</sup>, T.V. KHAMOVA<sup>2</sup>, D.L. KORNYYUKHIN<sup>3</sup>, A.M. SPANEV<sup>1</sup>, O.R. UDALOVA<sup>1</sup>, A.M. ARTEM'YEV<sup>3</sup>, A.S. GALUSHKO<sup>1</sup>, A.S. KOVALENKO<sup>2</sup>, A.M. NIKOLAEV<sup>2,4</sup>, A.S. ZHURAVLEVA<sup>1</sup>, E. V. KANASH<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, [gpanova@agrophys.ru](mailto:gpanova@agrophys.ru);

<sup>2</sup> Institute of Silicate Chemistry of Russian Academy of Sciences (ICHS), St. Petersburg, Russia;

<sup>3</sup> Federal Research Center the Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia;

<sup>4</sup> Saint Petersburg State University, Russia;

**Annotation.** Information is presented on the main research results for the effect of the created by us the silica sols nanocompositions on phytotest objects under controlled and field conditions. It is shown their complex positive effect in the plant seeds treatment on the example of a grain and vegetable crops number, namely: the formation of a protective nanoporous film on the seeds containing useful macro- and microelements, including silicon, other physiologically active compounds, which ensures the regulation of the composition of epiphytic microorganisms on the surface of the seeds, stimulation of their germination, an increase in the growth, development and productivity of plants, an improvement in the quality of the resulting plant production, an increase in the resistance of plants in the early stages of their development to damage by phytopathogens and an increase in the phytoprotective effect when combined with a fungicide throughout the entire ontogenesis of plants.

**Keywords.** silica sols nanocompositions, plant seeds, nanoporous film, germination, growth and development, productivity, resistance, phytopathogens.

---

## ВЛИЯНИЕ БАВ РЕГЛАЛГ НА СКОРОСТЬ СОЗРЕВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНОТИПОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

Н.Н. ПЛАТОВСКИЙ, Н.В. ЗДИОРУК, Т.Х. РАЛЯ, А.В. ГОРЕ  
Институт Генетики, Физиологии и Защиты растений,  
г. Кишинев, Молдова, [nik.plat@hotmail.com](mailto:nik.plat@hotmail.com)

**Аннотация.** Вопросы снижения рисков потери урожайности от действия внешних неблагоприятных факторов среды являются весьма острыми. На сегодняшний день широкое применение в этом аспекте нашли биологически активные вещества (БАВ), роль которых заключается в регуляции физико-биохимических процессов, направленных на подавление как внешних, так и внутренних раздражителей. В наших исследованиях был применен БАВ *Реглалг*, действие которого направлено на снижение влияния абиотических факторов на растение. В ходе данной работы удалось установить, что применение БАВ *Реглалг* задерживает созревание семян озимой пшеницы.

**Ключевые слова:** мягкая пшеница (*Triticum aestivum*), индекс хлорофилла, биологически активные вещества.

### Введение

На фоне стремительного изменения климата и неуклонного роста мирового населения одной из наиболее фундаментальных проблем становится увеличение производства продовольствия. В истории возделывания сельскохозяйственных культур человечество неоднократно сталкивалось с данной проблемой, вследствие чего оно нашло решение этого вопроса путем отбора и селекции новых перспективных, высокопродуктивных культурных растений, а также путем увеличения площади земельных участков под возделывание сельскохозяйственных культур. Необходимо отметить, что на сегодняшний день ситуацию усугубляет исчерпывание резервов расширения площадей пахотных земель. Более того, они уменьшаются под посевы для некоторых культур. Согласно статистическим данным в мире с 1996 по 2010 гг. посевные площади пшеницы уменьшились в среднем на 5,5%. Также, еще одним отрицательным фактором, влияющим на производство продовольствия, является глобальное климатическое потепление, приводящее к увеличению среднегодовой температуры, и, как следствие, к недостаточному выпадению осадков или, наоборот, их ливневому характеру, что непременно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур (Powell et al., 2012). На протяжении нескольких десятилетий наблюдается тенденция к снижению прироста урожайности большинства злаковых культур. По некоторым данным, для целого ряда стран за последние 10 лет урожайность важных для человечества культур, таких как пшеница и рис, не увеличивается (Long et. al., 2006). Прирост урожайности пшеницы в мире в период с 1968 по 1987гг. варьировал на уровне 30–32%, а в 1998–2007 гг. снизился до 1% (Стасик и др., 2016).

Для сельского хозяйства пшеница является одной из самых распространённых зерновых культур, которая поддерживает глобальную продовольственную безопасность, поскольку занимает 1/5 часть человеческого рациона (FAO). В связи с чем, увеличение производства данной культуры является весьма перспективным. Для решения данной задачи селекционеры провели колоссальную работу, которая позволила увеличить урожайность и качество зерна за счет выведения высокопродуктивных сортов с низкой высотой стебля, большим колосом и объёмом листовой массы. Однако, увеличение относительной массы зерна и листовой индекс посевов уже достигли предельно возможных значений, превышение которых может негативно сказываться на продуктивности. В кругу исследователей давно зреют мысли о возможностях применения различных агротехнологических приемов, которые направлены на повышение потенциальной продуктивности растений. Наряду с агротехникой, также широко применяются различные биологические вещества, действие которых нацелено на увеличение урожайности путем активации фотосинтетического аппарата. С точки зрения фотосинтеза, наиболее

перспективными подходами являются повышение активности рибулозо-1,5-бис-фосфаткарбоксилазы/оксигеназы за счет возрастания содержания фермента в листе и улучшения его кинетической активности, увеличения скорости регенерации рибулозо-1,5-бис-фосфата в цикле Кальвина. Биорегулятор роста *Реглалг*, применяемый нами для обработки семян пшеницы перед посевом, содержит смесь ненасыщенных жирных кислот, органических кислот, фенольных соединений, кетонов и других биологически активных компонентов, выделенных из водорослей рода *Spirogira sp.* в специальных условиях (Желев и др., 2019). Влияние данного препарата приводит к уменьшению длины эпикотилия и улучшает некоторые физиологические показатели в процессе развития растений (Платовский и др., 2021). Целью данной работы является исследование влияния БАВ *Реглалг* на скорость старения различных генотипов пшеницы.

### **Объекты и методы исследования**

Для проведения исследований были отобраны 8 генотипов озимой пшеницы: *Молдова 5*, *Молдова 77*, *Молдова 11*, *Лэутар*, *Молдова 614* (молдавская селекция); *Писанка*, *Куяльник* и *Эпоха* (украинская селекция), выращенные на опытном поле Института Генетики, Физиологии и Защиты растений Молдовы. Семена перед посевом обрабатывались БАВ *Реглалг* в концентрации 1/200, высев проводился в третьей декаде сентября при норме 5,5 млн. шт. сем./га и глубине посева 5-6 см. Контролем служили семена, не обработанные БАВ.

Определение индекса хлорофилла на площади посева проводили с помощью хлорофиллометра СМ-1000 (Германия), способного измерять индекс хлорофилла от 0 до 999 на расстоянии до 1,5 м на площади 11,8 см с точностью воспроизводимых показаний  $\pm 5\%$ . Определение содержания концентрации хлорофилла проводили по Шлыку. (Третьяков, 1990). Определение концентрации фермента рибулозо-1,5-бис-фосфаткарбоксилазы/ оксигеназы (КФ 4.1.1.39 RuBisCo) в флаговых листьях проводили согласно методике Лэмлли с модификациями (Wang et al., 2004). Статистическая обработка данных (Доспехов, 1979).

### **Результаты и обсуждение**

Для оценки состояния посевов пшеницы в зависимости от применения БАВ и влияния на них внешних факторов среды, проводились измерения индекса хлорофилла. Начиная с фазы кущения, содержание индекса хлорофилла стремительно увеличивалось, вплоть до фазы появления второго листа, после чего тенденция накопления пигмента замедлилась. Максимальный прирост содержания хлорофилла в зеленой части растений достиг в фазе начала цветения. Окончание фазы цветения характеризуется резким падением содержания хлорофилла, что, по-видимому, связано с началом роста семян в колосе. Отметим, что фаза цветения считается самой уязвимой фазой развития растений пшеницы. С началом роста зерна в колосе и вплоть до начала молочной спелости содержание хлорофилла остается на одинаковом уровне, но по мере старения растительного организма происходит его быстрое убывание. На рисунке 1 представлены показатели индекса хлорофилла, начиная с момента развития растений пшеницы до полного их созревания.

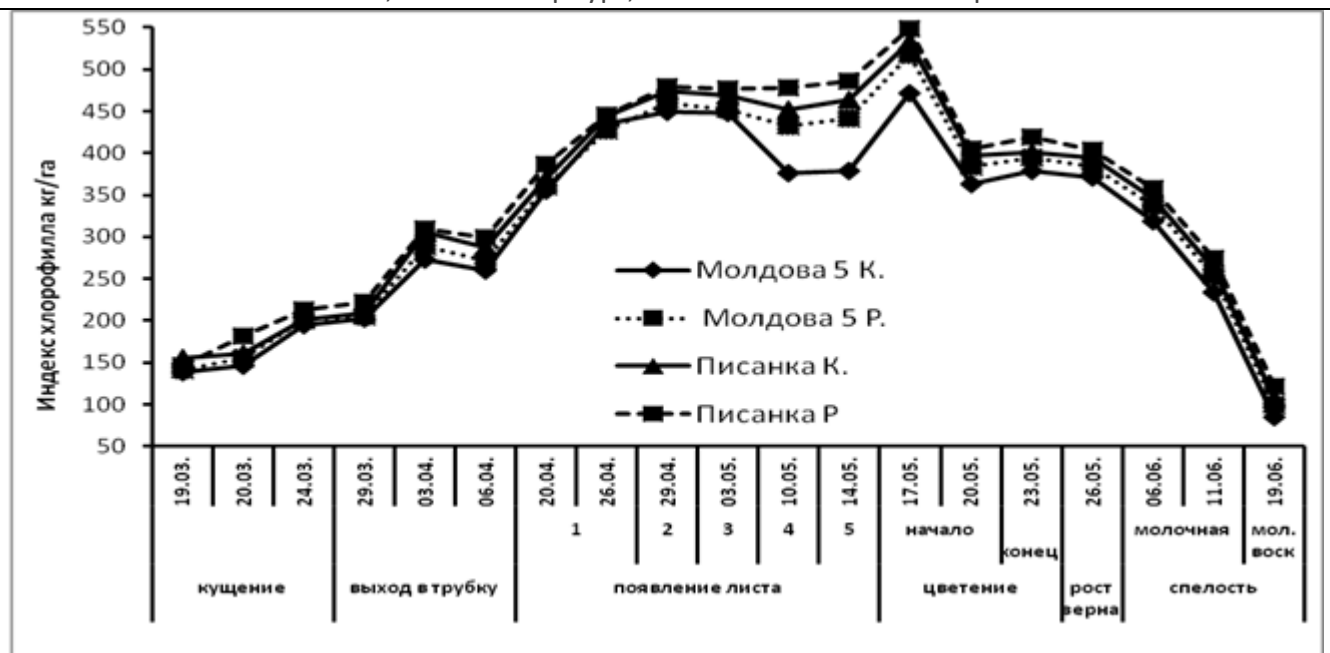


Рис. 1. Динамика индекса хлорофилла в течение всего периода вегетации растений пшеницы сортов Молдова 5 контроль (Молдова 5 К), Молдова 5 Реглалг (Молдова 5 Р.) и Писанка контроль (Писанка К), Писанка Реглалг (Писанка Р).

Согласно данным, представленным на рисунке 1, наиболее высокие показатели у сортов *Писанка* и *Лэутар*, низкие показатели у сортов *Молдова 5* и *Молдова 79*. Варианты, которые были обработаны БАВ *Реглалг*, содержат в среднем по всем сортам на 12–15% больше хлорофилла, по сравнению с контрольными растениями. Резкое снижение содержания хлорофилла наблюдается в фазе молочной спелости, что связано с началом гибели зеленой части растения. К фазе восковой спелости индекс хлорофилла достигает нулевых значений.

На рисунке 2 представлено содержание хлорофилла в флаговом листе в период фазы колошения и молочной спелости сортов *Молдова 5* и *Куяльник*. Как видно из данного графика по мере старения листа содержание хлорофилла *a* и *b* снижается, но соотношение по скорости убывания хлорофилла *a* больше по сравнению с хлорофиллом *b*. Принято считать, что соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* является хорошим маркером по диагностике состояния растительного организма. При действии какого-либо фактора на растительный организм содержание хлорофилла *a* снижается быстрее, чем *b* и, чем выше эта разница, тем лучше себя чувствует растительный организм. Данные, представленные на графике 2 демонстрируют, что суммарное содержание хлорофилла *a* + *b* снижается по мере старения листовой пластинки. Помимо этого, соотношение содержания хлорофилла *a* к *b* снижается от начала к концу жизненного пути листа. Данный показатель представляет высокий интерес в физиологии растений, так как позволяет тестировать влияние на растения различного рода факторов. Исходя из результатов, представленных на рисунке 2 видно, что растения, полученные из семян, обработанных БАВ *Реглалг*, имеют тенденцию не только к снижению скорости убывания хлорофилла, но и к увеличению соотношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b*.



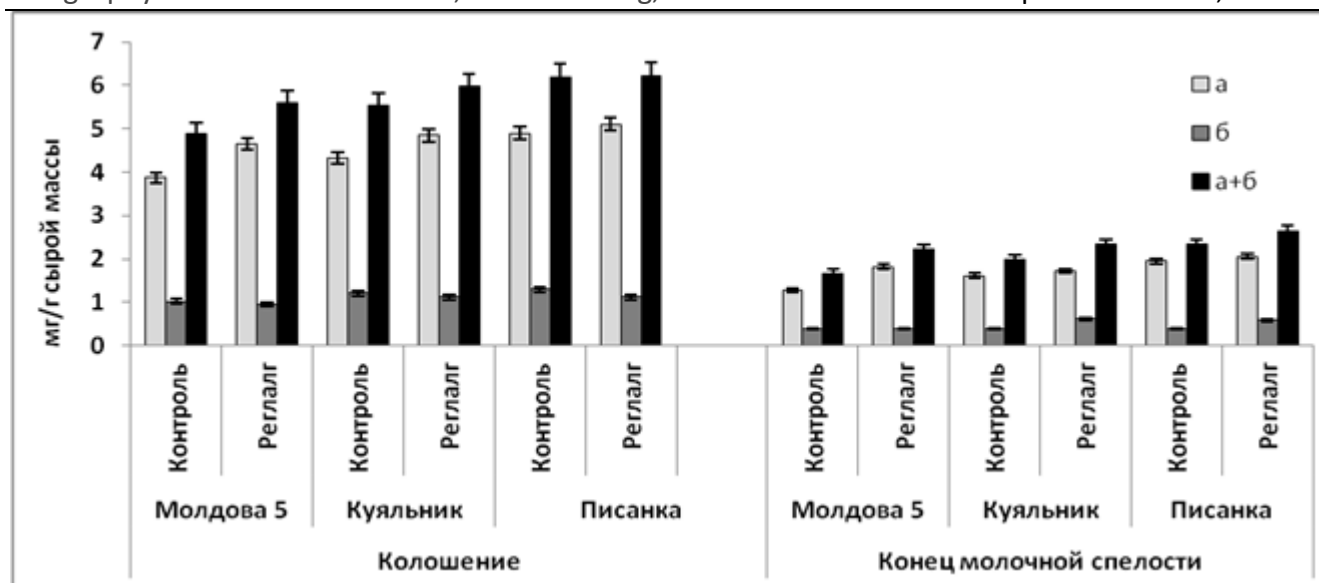


Рис. 2. Содержание хлорофилла *a*, *b*, суммы *a* + *b* в флаговом листе растений пшеницы сорта Молдова 5, Куяльник и Писанка (варианты контроль и *Реглалг*) в начале фазы колошения и конце фазы молочной спелости зерна

Также нами проводились исследования полипептидного состава фермента рибулозо-1,5-бис-фосфаткарбоксилазы/оксигеназы в флаговых листьях растений. Электрофореграммы показали убывание полипептидного спектра фермента по мере старения листовой пластинки. Удалось установить, что к моменту наступления молочной спелости семян содержание концентрации рибулозо-1,5-бис-фосфаткарбоксилазы/оксигеназы у растений опытных вариантов (обработанных *Реглалгом*) снижается менее интенсивно по сравнению с контрольными растениями (необработанные БАВ).

### Выводы

Благодаря возможности рационального применения БАВ на растениях, можно регулировать физико-биохимические процессы, тем самым влияя на состояние растительного организма после действия внешних неблагоприятных факторов среды.

Применение БАВ *Реглалг* благоприятно сказывается на росте и развитии растений в течение всего периода вегетации.

Результат применения БАВ *Реглалг* влияет на скорость старения растительного организма, тем самым способствуя задержке работы зеленой части листа и, как следствие, к увеличению периода ассимиляции сухих веществ в зерне колоса, повышая качество зерна и продуктивность.

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы „20.80009.7007.07” Определение параметров, характеризующих устойчивость растений с разным уровнем организации к действию экстремальных температур с целью уменьшения влияния климатических изменений», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.

---

### Список литературы / References

- Доспехов В.А. Методика полевого опыта Москва, Колос. 1979г. с.352.
- Желев Н.Н., Даскалюк А. П. Влияние природного регулятора роста реглалг на устойчивость растений озимой пшеницы *Triticum aestivum* L. к низким экстремальным температурам // 2019. Агрехимия. №6. С. 34-43: DOI: 10.1134/S0002188119040136)
- Платовский Николай, Здиорук Нина, Раля Тудор Применение биологического регулятора роста реглалг для увеличения устойчивости гексаплоидной пшеницы к действию абиотических факторов среды. Селекційно-генетична наука і освіта (Парієві читання). Матеріали Х Міжнародної наукової конференції (19 березня 2021 р.). Умань, 2021. С. 185–190.
- Стасик О.О., Киризий Д.А., Прядкина Г.А. Фотосинтез и продуктивность сельскохозяйственных растений. // Физиология растений и генетика. 2016. Т. 48. №3. С. 232 – 251. ISSN 2308-7099.
- Третьяков Н.Н. Практикум по физиологии растений. 1990. с.86-94
- Long S.P., Zhu H.G., Naidu S.L. et. al. Can improvement in photosynthesis increase crop yield? // Plant Crop. Environ. 2006. – 29. N I. – P. 315-330.
- Powell N., Ji X., Ravash R. et. al. Yield stability for cereals in a changing climate // Funct. Plant biol. 2012. 39, N 7. p. 539-552.
- Wang W., Vinocur B., Shoseyov O., Altman A. 2004. Role of plant heat shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. Trends plant sci. 9 (5): 244-252
- FAO. How to feed the world in 2050. 2009. <http://www.fao.org>

### INFLUENCE OF BAS REGLALG ON THE AGING RATE OF VARIOUS GENOTYPES OF WHEAT (TRITICUM AESTIVUM L.)

N.N. PLATOVSCII, N. V. ZDIORUK, T.H. RALEA, A.V. GORE

*Institute of Genetics, Physiology & Plant Protection,  
Chisinau, Moldova, nik.plat@hotmail.com*

**Abstract.** The issues of reducing the risks of loss of yield from the action of external unfavorable environmental factors are very acute. To date, biologically active substances (BAS) have found wide application in this aspect, the role of which is to regulate physical and biochemical processes aimed at suppressing both external and internal stimuli. In our studies, BAS Reglalg was used, the action of which is aimed at reducing the influence of unfavorable external factors on the plant. In the course of this work, it was found that the use of BAS Reglalg delays the ripening of winter wheat seeds.

**Keywords:** soft wheat (*Triticum aestivum*), chlorophyll index, biologically active substances.

## **БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АНТИМИКРОБНЫХ ПЕПТИДОВ РАСТЕНИЙ В СОСТАВЕ ГИБРИДНЫХ БЕЛКОВ**

Е.А. РОГОЖИН, А.С. БАРАШКОВА, Д.Ю. РЯЗАНЦЕВ, С.К. ЗАВРИЕВ

ООО «Международная лаборатория Резистом», Москва, [rea21@list.ru](mailto:rea21@list.ru)

**Аннотация** В работе представлено краткое описание подходов к получению рекомбинатных растительных антимикробных пептидов в составе гибридных (химерных) белков путем гетерологической экспрессии в прокариотической и эукариотической системах. Для данных белков показано наличие антимикробной активности по отношению к ряду фитопатогенных микроорганизмов в условиях лабораторного эксперимента. Разработанные системы производства жидких концентратов, обогащенных целевыми белками, содержащими фрагмент антимикробного пептида, могут позволить действующие вещества для дизайна фунгицидов «нового поколения» для защиты широкого спектра сельскохозяйственных культур от грибных болезней.

**Ключевые слова.** Антимикробные пептиды растений, рекомбинантные аналоги, гетерологическая система экспрессии, обогащенный концентрат.

### **Введение**

Поиск новых технологий в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства является одной из наиболее актуальных задач научно-технического комплекса. Немаловажное внимание в этой связи уделяется подходам к увеличению эффективности в растениеводстве и животноводстве, в частности, посредством снижения потерь, вызываемых неблагоприятными биотическими факторами, главным образом болезнями. Не секрет, что современная интегрированная система защиты культурных растений основана преимущественным образом на систематическом использовании химических пестицидов и агрохимикатов, негативные последствия применения которых широко известны. Поэтому с целью снижения отрицательного влияния устоявшихся схем применения химических средств защиты растений, один из приоритетных векторов фундаментально-ориентированных исследований в предметной области заключается в разработке биотехнологических подходов к получению эффективных и экологически безопасных аналогов природных метаболитов с антимикробными свойствами, на основе которых в будущей перспективе может базироваться комплекс основополагающих мероприятий по ограничению степени вредоносности экономически значимых фитопатогенов.

### **Объекты и методы исследования**

Основа гетерологической экспрессии синтетических генов антимикробных пептидов в микробной системе (бактериальной или дрожжевой) заключается в наличии следующих стадий: клонирование синтетического гена в вектор для клонирования с последующей трансформацией биотехнологического штамма микроорганизма, в котором обеспечивается наработка целевой вставки в составе плазмидного вектора. В дальнейшем происходит подтверждение наличия нуклеотидной вставки с последующим отбором будущих клонов-продуцентов. Наиболее перспективные клоны служат источником для выделения плазмидной ДНК и переклонирования вставки в экспрессионный вектор, который впоследствии после трансформации (химической или электропорации) послужит основой для индукции экспрессии нужного белка. Выделение интересующего продукта осуществляется из клеточного лизата (в случае бактериальной внутриклеточной локализации) или культуральной жидкости (если речь идет о секретируемой форме, получаемой в низших эукариотах).

### **Результаты и обсуждение**

Результат проведенной работы позволил получить рекомбинантные аналоги растительных антимикробных пептидов различных структурных семейств в прокариотической системе

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

экспрессии (посредством внутриклеточной локализации в *Escherichia coli*): альфа-харпининов, или харпино-подобных пептидов семян сорных растений – ежовника (*Echinochloa crusgalli*) (Rogozhin et al., 2012; Ryazantsev et al., 2014), звездчатки (*Stellaria media*) (Slavokhotova et al., 2014), а также геВЕино-подобных пептидов дикорастущего солеустойчивого злака – колосняка песчаного (*Leymus arenarius*) (Уткина и др., 2010) и гексаплоидной пшеницы (*Triticum kiharae*) (Odintsova et al., 2009). Все указанные пептиды были синтезированы в виде слитых конструкций с якорным бактериальным белком – тиоредоксином, функция которого в том числе заключается в обеспечении корректной пространственной укладки молекулы на этапе посттрансляционных модификаций. При этом стоит отметить, что в процессе микробного биосинтеза достигается довольно значительный выход целевого продукта (в среднем 200-600 мг/литр бактериальной культуры). Для ряда указанных белков было продемонстрировано наличие антимикробной активности в экспериментах *in vitro* (Истомина и др., 2017; Рогожин. 2018), что делает данное молекулы привлекательными с точки зрения компонентов действующих веществ фунгицидов принципиально нового типа действия.

#### **Выводы**

Представлены результаты успешного получения ряда антимикробных пептидов растений в составе слитых белков. Показано наличие антимикробных свойств химерных молекул, содержащих в своем составе антимикробные пептиды. Заявлена перспектива использования подобных полипептидных молекул как основа для разработки действующих веществ фунгицидов «нового поколения».

#### **Благодарности**

Проект профинансирован в соответствии с Соглашением о предоставлении гранта Фонда «Сколково» № Г18/19 от 26.04.19. ООО «Международная лаборатория Резистом» (ООО «МЛ Резистом») является участником проекта создания и обеспечения функционирования инновационного центра «Сколково».

#### **Список литературы / References**

- Rogozhin E.A., Ryazantsev D.Y., Grishin E.V., Egorov T.A., Zavriev S.K. Defense peptides from barnyard grass (*Echinochloa crusgalli* L.) seeds // *Peptides*, 2012, V. 38 (1), P. 33-40.
- Slavokhotova A.A., Rogozhin E.A., Musolyamov A.K., Andreev Y.A., Oparin P.B., Berkut A.A., Vassilevski A.A., Egorov T.A., Grishin E.V., Odintsova T.I. Novel antifungal  $\alpha$ -hairpinin peptide from *Stellaria media* seeds: structure, biosynthesis, gene structure and evolution // *Plant Mol Biol*. 2014. V. 84 (1-2). P. 189-202.
- D.Yu. Ryazantsev, E.A. Rogozhin, T.V. Dimitrieva, P.E. Drobyazina, N.V. Khadeeva, T.A. Egorov, E.V. Grishin, S.K. Zavriev. A novel hairpin-like antimicrobial peptide from barnyard grass (*Echinochloa crusgalli* L.) seeds: Structure-functional and molecular-genetics characterization // *Biochimie*, 2014, V. 99, P. 63-70.
- Odintsova T.I., Vassilevski A.A., Slavokhotova A.A., Musolyamov A.Kh., Finkina E.I., Khadeeva N.V., Rogozhin E.A., Korostyleva T.V., Pukhalsky V.A., Egorov Ts.A., Grishin E.V. A novel antifungal hevein-type peptide from *Triticum kiharae* seeds with a unique 10-cysteine motif // *FEBS J*. 2009. V. 276 (15). P. 4266-4275.
- Уткина Л.Л., Жабон Е.О., Славохотова А.А., Рогожин Е.А., Шиян А.А., Гришин Е.В., Егоров Ц.А., Одинцова Т.И., Пухальский В.А. Гетерологическая экспрессия синтетического гена нового геВЕиноподобного пептида *Leymus arenarius* в клетках *Escherichia coli*. *Генетика*. 2010. Т. 46. №12. С.1-7.
- Истомина Е.А., Славохотова А.А., Коросытлева Т.В., Семина Ю.В., Щербакова Л.А., Пухальский В.А., Одинцова Т.И. Гены геВЕиноподобных антимикробных пептидов семейства WAMP видов рода *Aegilops* // *Генетика*. 2017. Т. 53. № 12. С. 1402-1410.
- Рогожин Е.А. Биотехнология получения биопестицидов нового поколения на основе антимикробных белков и пептидов растительного и микробного происхождения // Сборник тезисов Международной научной конференции «Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего – PLAMIC 2018», Республика Башкортостан, г. Уфа, 13-17 июня 2018 года, С. 217

---

**BIOTECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF PLANT ANTIMICROBIAL PEPTIDES INSIDE FUSION PROTEINS**

E.A. ROGOZHIN, A.S. BARASHKOVA, D.Y. RYAZANTSEV, S.K. ZAVRIEV

*International Laboratory «Rezistom», Moscow, rea21@list.ru*

**Abstract.** The paper presents a brief description of approaches to the production of recombinant plant antimicrobial peptides as part of hybrid (chimeric) proteins by heterologous expression in prokaryotic and eukaryotic systems. For these proteins, the presence of antimicrobial activity was shown in relation to a number of phytopathogenic microorganisms in a laboratory experiment. The developed systems for the production of liquid concentrates enriched with target proteins containing a fragment of an antimicrobial peptide may allow the active substances to design "new generation" fungicides to protect a wide range of crops from fungal diseases.

**Keywords.** Plant antimicrobial peptides, recombinant analogues, heterologous expression system, enriched concentrate.

## МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ГЕНЕТИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ПЕРЕКРЁСТНИКОВ

Е.И. РОНИН, Д.И. МЕСТЕР, Д.М. МИНКОВА

*Институт Эволюции при Хайфском университете, Израиль, yefimr@mail.ru*

**Аннотация.** Разрабатываемый нами подход построения плотных генетических карт, основан на: (а) специфичном методе фильтрации информативных маркеров, (б) повторных построениях карт на основе возмущённых данных; (с) использовании моделей, учитывающих различие рекомбинаций в мужском и женском мейозе. Всё это может значительно увеличить качество генетического картирования. Предлагаются новые методы анализа, позволяющие за малое число итераций вычислять рекомбинационные параметры мужского и женского мейозов.

**Ключевые слова.** Плотные генетические карты, фильтрация, возмущённые данные, рекомбинации мужского и женского мейозов.

### Введение

В контексте задачи генетического картирования, исходные данные можно подразделить на несколько групп в соответствии с типом скрещивания и сегрегации маркеров в рассматриваемых популяциях. Для перекрестников, при скрещивании  $P1(\text{♀}) \times P2(\text{♂})$ , гетерозиготных по пересекающимся подмножествам маркеров, можно выделить следующие варианты сегрегации маркеров: (1) типа беккросса (**BC**), когда маркерный локус гетерозиготен только у одного из родителей:  $(a_1a_2 \times bb)$  у **BC<sub>f</sub>**, либо  $(aa \times b_1b_2)$  у **BC<sub>m</sub>**; (2) типа **F<sub>2</sub>**, когда 2-аллельный локус гетерозиготен у обоих родителей  $(ab \times ab)$ ; (3) типа **F<sub>1</sub>xF<sub>1</sub>**, для 3-аллельного  $(a_1a_2 \times a_1a_3)$  и 4-аллельного  $(a_1a_2 \times a_3a_4)$  локусов, соответственно. Качество картирования сильно зависит от пропорций этих вариантов сегрегации маркеров в анализируемых данных. В контролируемых скрещиваниях в основном используются маркеры типа **BC<sub>f</sub>**, **BC<sub>m</sub>** или **F<sub>2</sub>**. В случае **F<sub>2</sub>** (тип 2) обычно ограничиваются единственным усреднённым (между полами) значением рекомбинации. Для перекрестников, использование маркеров **F<sub>1</sub>xF<sub>1</sub>** (тип 3) позволяет учесть половые различия в частотах рекомбинации для соответствующих интервалов. Вместе с результатами, полученными для маркеров типа 1, это дает возможность учета половых различий вдоль каждой группы сцепления. К сожалению, доля маркеров типа **F<sub>1</sub>xF<sub>1</sub>** обычно довольно низка (в отличие от маркеров типа **F<sub>2</sub>**), что сильно ограничивает качество консенсусного решения задачи картирования при значительных половых различиях по рекомбинации. Маркеры типа **F<sub>2</sub>** были бы полезны для этих целей, поскольку их ко-сегрегация с другими маркерами очевидным образом зависит от мужской и женской рекомбинации. Мы предлагаем использовать эту возможность в рамках нашего подхода к построению ультраплотных генетических карт (Mester et al. 2003; Ronin et al. 2017).

Разработаны быстрые алгоритмы вычисления рекомбинационных расстояний для женских и мужских гамет между маркерами четырёх типов пар: (**BC**, **BC**), (**F<sub>2</sub>**, **F<sub>2</sub>**), (**BC**, **F<sub>2</sub>**) и (**F<sub>1</sub>xF<sub>1</sub>**, **F<sub>2</sub>**). Для пар (**BC**, **F<sub>1</sub>xF<sub>1</sub>**) и (**F<sub>1</sub>xF<sub>1</sub>**, **F<sub>1</sub>xF<sub>1</sub>**), алгоритм вычисления совпадает с алгоритмом, используемым для пары (**BC**, **BC**). Наибольшую вычислительную сложность представляют пары маркеров типа **F<sub>2</sub>**. Вторая проблема, также связанная с парами этого типа, состоит в определении того, какое из двух расстояний соответствует женскому мейозу и какое мужскому. Эта проблема может иметь решение при наличии соседних маркеров, с которыми у рассматриваемой пары маркеров имеются уже вычисленные расстояния и их соответствие полу известно. Третья проблема - наличие большого числа маркеров, значительная часть которых не разделена рекомбинацией в силу тесного сцепления и/или малого размера выборки, так называемые маркеры-близнецы (Ronin et al. 2017). Решением является выявление 'скелетных' маркеров, которые будут составлять основу синтезируемых генетических карт. Естественно, решение задачи предполагает приведение к правильной фазе отдельно женской и мужской составляющих для каждой из групп

сцепления. Наконец, последний шаг - построение интегральной карты с использованием алгоритмов консенсусного анализа (Mester et al. 2006,2015). Карты считаются согласованными, если порядки общих (одноимённых) маркеров совпадают.

**1. Об абсолютно сцепленных маркерах. Скелетные маркеры и маркеры-близнецы.**

Начнём с третьей проблемы (Рис. 1), так как её решение значительно сокращает дальнейшие вычисления, особенно в условиях огромного количества маркеров, используемых при построении плотных генетических карт. Для каждой из групп сцепления, рассмотрим отдельно каждый из типов маркеров, начиная с  $F_1 \times F_1$ . Для пары маркеров типа  $F_1 \times F_1$  проверяем у каждой особи совпадение аллелей, отдельно в женской и мужской гамете. Можно установить некоторый порог для относительного (к объёму популяции) числа пропущенных измерений ('нулей') для двух абсолютно сцепленных маркеров. Этот порог связан с уровнем допустимой потери маркерной информации (missing). Если для всех особей с ненулевыми аллелями по обоим маркерам эти аллели попарно совпадают, то маркеры считаются 'близнецами' (т.е. абсолютно сцепленными). Очевидно, что абсолютное сцепление – не транзитивное отношение.

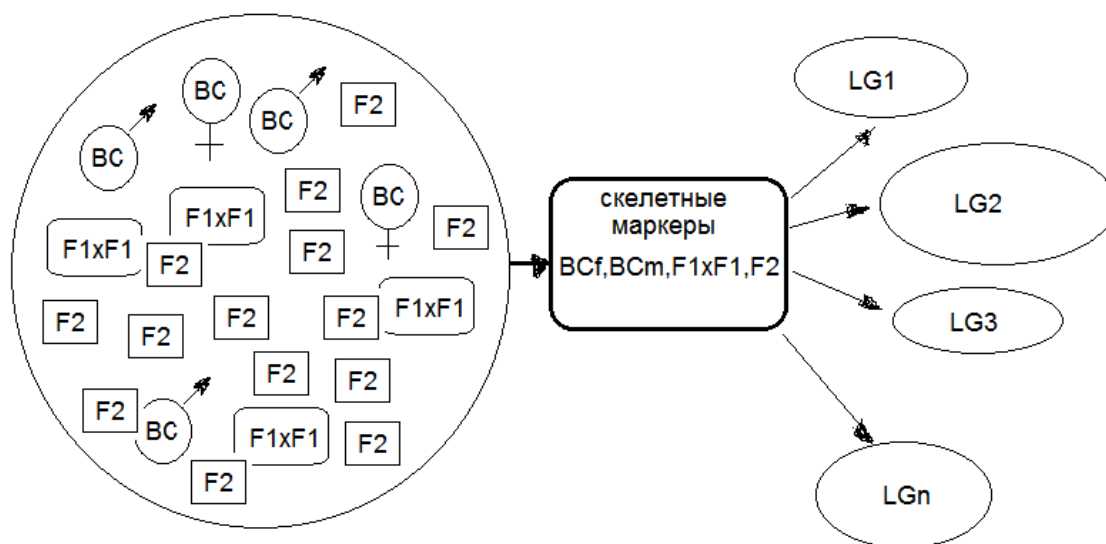


Рис. 1. Построение подмножества скелетных маркеров и формирование на их основе групп сцепления.

Выбор маркеров-близнецов осуществляется следующим образом. Сначала упорядочиваются все маркеры в порядке возрастания суммы числа нулей в мужской и женской гаметах или в порядке уменьшения критерия качества маркера, зависящего как от missing(a), так и степени отклонения сегрегации от ожидаемого отношения. Затем, начиная с первого маркера, ищем среди следующих за ним маркеров, абсолютно сцепленные с ним; и так для каждого последующего маркера, ещё не названного «близнецом» какого-нибудь из предыдущих маркеров. Таким образом, мы находим близнецов для маркеров с минимальным числом нулей (т.е., максимальным значением критерия качества), из которых затем строится скелетная карта. При фазовом искажении, при котором переставлены наименования аллелей в мужской или (и) женской гаметах, необходима проверка абсолютного сцепления соответствующих маркеров. Следующий этап – поиск маркеров-близнецов для маркеров типа BC. Упорядочиваем отдельно маркеры женского и мужского мейозов, в соответствии с критерием качества маркеров, и

проводим процедуру поиска близнецов, отдельно для мужских и для женских маркеров (здесь также необходимо проверять наличие фазовых искажений). Полученные скелетные маркеры, а также оставшиеся «единичные» (не присоединившиеся) маркеры проверяем на абсолютное сцепление со скелетными маркерами типа  $F_1 \times F_1$  и оставшимися единичными маркерами этого же типа. Если имеет место абсолютное сцепление с женской или с мужской компонентой маркера типа  $F_1 \times F_1$ , то этот маркер типа BC вместе со своими близнецами изымается из числа скелетных маркеров типа BC, и они становятся близнецами маркера типа  $F_1 \times F_1$ . Очевидно, что и единичные маркеры типа BC, абсолютно сцепленные с одним из скелетных маркеров или единичных маркеров типа  $F_1 \times F_1$ , получают статус близнецов для маркеров типа  $F_1 \times F_1$ .

При отсутствии в исходных данных маркеров типа  $F_2$ , получим следующую структура маркеров: а) скелетные маркеры типа  $F_1 \times F_1$ , упорядоченные по числу близнецов типа  $F_1 \times F_1$  и типа BC, б) скелетные маркеры типа BC, упорядоченные по числу близнецов типа BC, в) одиночные маркеры типа  $F_1 \times F_1$  и одиночные маркеры типа BC. При достаточном количестве скелетных маркеров обоих типов мы могли бы построить независимо карты для женского и мужского мейозов. При этом возникающая проблема возможных противоречивых порядков для маркеров типа  $F_1 \times F_1$ , может быть решена с помощью алгоритмов консенсусного картирования (Mester et al. 2006, 2015). Уменьшение числа маркеров типа  $F_1 \times F_1$  значительно снижает качество интегральной карты, несмотря на то что каждая из двух карт, мужская и женская, могут быть очень плотными благодаря большому числу маркеров типа BC. Наличие значительного количества маркеров типа  $F_2$  могут улучшить ситуацию. После того, как найдены все скелетные маркеры  $F_2$ , осуществляем среди них, а также среди оставшихся единичных маркеров типа  $F_2$ , поиск близнецов для полученных ранее скелетных маркеров типа  $F_1 \times F_1$ , а также для оставшихся единичных маркеров типа  $F_1 \times F_1$ .

## 2. Вычисления рекомбинационных расстояний между парами маркеров типа ( $F_1 \times F_1$ , $F_2$ ).

Учитывая, что для пар маркеров (BC,  $F_2$ ) решение на основе метода максимального правдоподобия достигается максимально быстро, т.к. в этом случае осуществляется поиск только по одному параметра (частоте рекомбинаций в женском или мужском мейозе,  $r_0$  или  $r_1$ ), мы сосредоточимся на более сложных расчётах для пар маркеров ( $F_1 \times F_1$ ,  $F_2$ ) и ( $F_2$ ,  $F_2$ ), включающих оба параметра,  $r_0$  и  $r_1$ . Для анализа используем известный итерационный алгоритм Ньютона-Раффсона. Проверка на симуляционных данных показывает, что при правильном выборе начального приближения для вектора ( $r_0$ ,  $r_1$ ) сходимость может достигаться за несколько итераций.

Для рассматриваемой пары маркеров возможны несколько вариантов искажения фазы, которые детектируются сразу после подсчёта пары рекомбинационных расстояний ( $r_1$ ,  $r_0$ ). Если оказывается, что  $r_1 > 0.5$ ,  $r_0 > 0.5$  и один из маркеров имеет правильную фазу, например, маркер типа  $F_1 \times F_1$ , то необходимо инвертировать обозначения аллелей маркера  $F_2$ , если наоборот, у маркера типа  $F_2$  – правильная фаза, то инвертируем аллели обеих гамет маркера  $F_1 \times F_1$ . Если же  $r_1 > 0.5$ ,  $r_0 < 0.5$  и правильная фаза у маркера  $F_2$ , то инвертировали аллели маркера  $F_1 \times F_1$  мужских гамет. При  $r_1 < 0.5$ ,  $r_0 > 0.5$  в этом же случае, необходимо инвертировать аллели маркера  $F_1 \times F_1$  у женских гамет. Если же в рассмотренной ситуации  $r_1 > 0.5$ ,  $r_0 < 0.5$  правильная фаза у маркера  $F_1 \times F_1$ , то проблема с фазой маркера  $F_2$ , которая в этом случае неразрешима.

## 3. Схемы вычисления рекомбинационных расстояний между маркерами ( $F_2$ , $F_2$ ).

Построена двухэтапная итерационная процедура поиска ( $r_1$ ,  $r_0$ ). В отличие от предыдущего случая, сходимость вычислений может быть более медленной (до сотни итераций). Но основная



трудность - выяснение половой принадлежности найденных оценок рекомбинации. Задача построения женской и мужской генетических карт решается с помощью следующей последовательности шагов.

1. Выбрав первую пару маркеров в пределах группы сцепления (желательно со значимым различием между  $r_1, r_0$ ) и, придав им первый и второй номер в группе сцепления, начинаем заполнять две симметричные матрицы рекомбинационных значений  $X$  и  $Y$  для противоположных полов, даже если мы и не знаем, какая из них соответствует женскому, а какая мужскому мейозу. Дополнительную информацию, позволяющую идентифицировать 'половую принадлежность' если для данной группы сцепления найден хотя бы один маркер типа BC с известной половой принадлежностью, или типа  $F_1 \times F_1$ .

2. Рассматривается группа из 3-х маркеров типа  $F_2$  -  $m_1, m_2, m_3$ . Для каждой пары маркеров найдены два рекомбинационных расстояния, но только для одной пары маркеров ( $m_1, m_2$ ) известно, которое из них женское  $r_{12}^{\text{♀}}$  и мужское -  $r_{12}^{\text{♂}}$ . Обозначим условно пары значений для ( $m_1, m_3$ ) и ( $m_2, m_3$ ) соответственно через  $r_{13}^x, r_{13}^y$  и  $r_{23}^x, r_{23}^y$ . Пусть, для определённости всегда  $r^x < r^y$ . Существует всего 3 различных расположения трёх маркеров друг относительно друга ( $m_1, m_2, m_3$ ), ( $m_1, m_3, m_2$ ), ( $m_3, m_1, m_2$ ). Для каждого из этих 3-х взаимных расположений маркеров существует 4 различных значения связи расстояний между ними, зависящих от того какому полу соответствуют  $x$  и  $y$  для пар маркеров с неопределённым пока полом имеющих расстояний. Критерием правильности выбранного решения, как для порядка маркеров, так и для пола рекомбинационных расстояний будет служить минимум сумм пар абсолютных невязок из 12 вариантов уравнений связи.

Для ( $m_1, m_2, m_3$ ):

Предположение:  $r_{13}^x = r_{13}^{\text{♀}}$ ,  $r_{23}^x = r_{23}^{\text{♀}}$ .

$$1. \text{del}^{123}_{111} = |r_{13}^x - (r_{12}^{\text{♀}} (1 - r_{23}^x) + (1 - r_{12}^{\text{♀}}) r_{23}^x)| + |r_{13}^y - (r_{12}^{\text{♂}} (1 - r_{23}^y) + (1 - r_{12}^{\text{♂}}) r_{23}^y)|$$

Предположение:  $r_{13}^x = r_{13}^{\text{♂}}$ ,  $r_{23}^x = r_{23}^{\text{♂}}$ .

$$2. \text{del}^{123}_{121} = |r_{13}^x - (r_{12}^{\text{♀}} (1 - r_{23}^y) + (1 - r_{12}^{\text{♀}}) r_{23}^y)| + |r_{13}^y - (r_{12}^{\text{♂}} (1 - r_{23}^x) + (1 - r_{12}^{\text{♂}}) r_{23}^x)|$$

Предположение:  $r_{13}^y = r_{13}^{\text{♀}}$ ,  $r_{23}^y = r_{23}^{\text{♀}}$ .

$$3. \text{del}^{123}_{112} = |r_{13}^y - (r_{12}^{\text{♀}} (1 - r_{23}^x) + (1 - r_{12}^{\text{♀}}) r_{23}^x)| + |r_{13}^x - (r_{12}^{\text{♂}} (1 - r_{23}^y) + (1 - r_{12}^{\text{♂}}) r_{23}^y)|$$

Предположение:  $r_{13}^y = r_{13}^{\text{♂}}$ ,  $r_{23}^y = r_{23}^{\text{♂}}$ .

$$4. \text{el}^{123}_{122} = |r_{13}^y - (r_{12}^{\text{♀}} (1 - r_{23}^y) + (1 - r_{12}^{\text{♀}}) r_{23}^y)| + |r_{13}^x - (r_{12}^{\text{♂}} (1 - r_{23}^x) + (1 - r_{12}^{\text{♂}}) r_{23}^x)|$$

Аналогично выписываются невязки для ( $m_1, m_3, m_2$ ) и ( $m_3, m_1, m_2$ ). Предположения, которым соответствует минимальное значение невязки, считаем наиболее правдоподобными.

### Примеры и анализ результатов

Задаются две пары рекомбинационных расстояний между маркерами в следующих обозначениях  $r_{12}^{\text{♀}}$ ,  $r_{12}^{\text{♂}}$  – расстояние между первым и вторым маркерами в женской и мужской гаметах соответственно  $r_{23}^{\text{♀}}$ ,  $r_{23}^{\text{♂}}$  – расстояние между вторым и третьим маркерами в женской и мужской гаметах соответственно. В соответствии с заданными расстояниями и заданным объёмом популяции генерируем три маркера женской и мужской гамет в первой строке таблицы (Tab. 1.). После моделирования мы можем получить вычисленные значения рекомбинационных расстояний, которые находятся во второй строке таблицы, а также рассчитанные по данным  $F_2$  – популяции, стоящие в третьей строке таблицы. Отметим, что в третьей строке, в соответствии с задачей определения женского и мужского рекомбинационных расстояний  $r_{23}^{\text{♀}}$ ,  $r_{23}^{\text{♂}}$ ,  $r_{13}^{\text{♀}}$ ,  $r_{13}^{\text{♂}}$  при известных значения  $r_{12}^{\text{♀}}$ ,  $r_{12}^{\text{♂}}$ , мы можем определить две пары чисел  $r_{13}^x, r_{13}^y$  и  $r_{23}^x, r_{23}^y$ . А заменить символы  $x$  и  $y$  в каждой паре на символы  $\text{♀}$  и  $\text{♂}$  мы сможем только после выбора

Материалы III международной научной конференции  
 «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

решения, соответствующего минимальной из приведённых выше 12 невязок. Поскольку минимальной оказалась первая невязка, то  $r_{12}^{\text{♀}} \rightarrow x$  и  $r_{12}^{\text{♂}} \rightarrow y$ .

Табл. 1.

spop	$r_{12}^{\text{♀}}$	$r_{12}^{\text{♂}}$	$r_{23}^{\text{♀}}$	$r_{13}^{\text{♀}}$	$r_{13}^{\text{♂}}$	$r_{13}^{\text{♂}}$
500	0.05	0.24	0.08	0.2	0.12	$r_{13}^{\text{♂}}$
	0.058	0.21	0.098	0.196	0.144	0.314
	0.035	0.22	0.07	0.223	0.116	0.325

### Список литературы / References

- Building ultra-high-density linkage maps based on efficient filtering of trustable markers. / YI Ronin, DI Mester, DG Minkov, E Akhunov, AB Korol. // Genetics 206 (3), 1285-1295. 2017
- Multilocus consensus genetic maps (MCGM): formulation, algorithms, and results. / DI Mester, YI Ronin, MA Korostishevsky, VL Pikus, AE Glazman, AB Korol // Computational biology and chemistry 30 (1), 12-20, 2006
- Fast and accurate construction of ultra-dense consensus genetic maps using evolution strategy optimization /D Mester, Y Ronin, P Schnable, S Aluru, A Korol // PloS one 10 (4), e0122485,2015

### METHODS AND ALGORITHMS FOR GENETIC MAPPING OF CROSSADS

E.I. RONIN, D.I. MESTER, D.M. MINKOVA

*Institute of Evolution at the University of Haifa, Israel, yefimr@mail.ru*

**Abstract.** The approach we are developing for constructing dense genetic maps is based on: (a) a specific method of filtering informative markers, (b) repeated mapping based on jackknife resampling of mapping data; (c) the use of models that take into account the difference in recombination rates between male and female meiosis. All this can significantly increase the quality of genetic mapping. New methods of analysis are proposed to expedite the calculation of recombination parameters of male and female meiosis.

**Keywords.** Dense genetic maps, filtration, disturbed data, male and female meiosis recombinations.

## ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ПЕРОКСИДАЗ В ПРОРОСТКАХ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ЗЕРЕН ГРИБАМИ *FUSARIUM OXYSPORUM* И *DRECHSLERA SOROKINIANA*

А. РУДАКОВА<sup>1</sup>, С. РУДАКОВ<sup>1</sup>, А. КЕРДИВАРЭ<sup>1</sup>, Г. ЛУПАШКУ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственный университет Молдовы;

<sup>2</sup> Институт генетики, физиологии и защиты растений, Республика Молдова

**Аннотация.** Определялась суммарная пероксидазная активность в проростках 4 генотипов мягкой пшеницы под воздействием фитопатогенных грибов *Fusarium oxysporum* и *Drechslera sorokiniana* – возбудителей корневых гнилей. Исследовались также электрофоретические профили изоферментов пероксидаз в контрольных и опытных образцах.

Значительное повышение активности пероксидаз наблюдалось только под воздействием *F. oxysporum* у линии L(Select x ВТ43) x Select (прирост активности составил 18%) и у сорта Aluniș (прирост 40%).

Воздействие *D. sorokiniana* не приводит к существенным изменениям пероксидазной активности в исследованных образцах. Наблюдалось незначительное увеличение активности (на 1%) в линии L(Select x ВТ43) x Select, а также слегка повысилась активность в сорте Aluniș (на 2%).

При изучении электрофоретических спектров пероксидаз в исследованных сортах пшеницы были обнаружены 6 изоферментов с молекулярными массами от 58,2 кД до 23,8 кД.

Под действием *F. oxysporum* и *D. sorokiniana* не изменялся изоферментный состав пероксидаз в исследованных генотипах, однако, в некоторых образцах под влиянием *F. oxysporum* количественное соотношение отдельных изоферментов существенно менялось. В частности, в образце L(Select x ВТ43) x Select накапливались зоны 3, 4, 5, 6, причем интенсивность зоны 5 возросла в 1,4 раза. В сорте Aluniș накапливались все зоны, кроме зоны 6, интенсивность зоны 3 возросла в 2,4 раза, интенсивность зоны 5 – в 1,6 раз.

Следовательно, при воздействии культуральных фильтратов грибов *F. oxysporum*, *D. sorokiniana* на зерна некоторых из исследованных генотипов мягкой пшеницы происходит генотипическое изменение пероксидазной активности растения-хозяина – стимулирование или ингибирование синтеза отдельных изоформ пероксидаз.

**Ключевые слова.** пероксидазная активность, генотипы пшеницы, фитопатогенные грибы, изоферменты.

### Введение

Пероксидаза является одним из ферментов, участвующих в регуляции роста и развития растительных организмов, поскольку катализирует защитные реакции от повреждений различного типа, а также участвует в формировании клеточной стенки и дыхании растений (1, 2). Кроме того, известно, что пероксидаза чувствительна к различного рода неблагоприятным воздействиям и широко используется для оценки устойчивости к стрессу (3, 4).

Целью нашего исследования было определение суммарной пероксидазной активности в проростках 4-х генотипов мягкой пшеницы до и после воздействия на их зерна культуральных фильтратов фитопатогенных грибов *F.oxysporum* и *D.sorokiniana*, а также изучение изменений в электрофоретических спектрах пероксидазных ферментов.

### Материалы и методы исследования

Для изучения влияния фитопатогенных грибов *F. oxysporum* и *D. sorokiniana* были отобраны 4 генотипа мягкой пшеницы (Табл.1). В качестве контроля служили зерна, обработанные буфером, в экспериментальных образцах зерна обрабатывали культуральными фильтратами указанных грибов.

### Получение ферментных вытяжек из растений

Чтобы получить экстракт содержащихся в растении ферментов, пробу растительного материала растирали в ступке с кварцевым песком, с буфером для экстракции (0,1М Tris-HCl буфер, pH 7,5). Соотношение навески и буфера при экстракции составляло 1:4 (г/мл). Буфер предварительно охлаждали до 4-8°C, экстракцию проводили на льду. Экстрагирующую смесь выдерживали 30

минут в холодильнике, затем гомогенат центрифугировали в течение 10 минут при 15 тыс. об./мин. Собирали надосадочную жидкость и хранили ее при - 20°C.

#### **Определение пероксидазной активности**

Для определения пероксидазной активности в реакции с бензидином применяли метод А.Н. Бояркова, модифицированный другими авторами (5, 6). Бензидиновый реактив включал два компонента. Первый компонент состоял из 50% спиртового раствора 0,1% бензидина солянокислого, содержащего 6% ацетата натрия, 3% уксусной кислоты. Затем pH первого компонента доводили до pH 7.0 при помощи 10M NaOH. Конечная концентрация бензидина в реакционной смеси составляла 5,8 mM. Вторым компонентом являлся 0,5% раствор перекиси водорода (конечная концентрация 0,3мM). Измерения активности осуществлялись при 520 нм на спектрофотометре СФ-46.

#### **Выявление изоферментного спектра пероксидаз**

Изоферменты разделялись методом вертикального нативного электрофореза в ПААГ по стандартному методу Дэвиса (7) при 4°C. Концентрации разделяющего и концентрирующего гелей составляли 7,5% и 5%, соответственно.

Электрофорез проводили, используя электрофоретическую камеру Mini-PROTEAN Tetra Cell (Bio-Rad Laboratories, Inc., USA). К 0,2 мл ферментной вытяжки добавляли в качестве антиконвекционного компонента глицерин до конечной концентрации 10%. В каждый карман концентрирующего геля вносили по 20 мкл пробы. Продолжительность электрофореза при силе тока 20 мА - 2,5 часа, электрофорез проводили в холодильной камере при 4°C. Для выявления изоформ пероксидазных ферментов применяли бензидиновый реактив при pH 7,0. Перед окрашиванием геля компоненты бензидинового реактива смешивали в соотношении 1:1. После заливки геля бензидиновым реактивом окраска зон пероксидазной активности проявлялась, в зависимости от количества фермента в вытяжке, в течение 20-40 минут.

В качестве маркеров молекулярных масс использовали маркеры Prestained Protein Molecular Weight Marker (Fermentas, Life Sciences, EU).

Полученные зимограммы сканировали на сканере Epson Expression 10000XL («GE Healthcare», USA). Денситометрический анализ зимограмм осуществляли при помощи программы Phoretix 1D Advansed: были определены молекулярные массы всех зон в геле, а также рассчитана интенсивность каждой зоны в треках.

#### **Результаты и обсуждение**

Значительное повышение пероксидазной активности под действием культурального фильтрата *F. oxysporum* наблюдалось только в двух генотипах – L (Select x ВТ 43) x Select и Aluniş. (Таблица 1). Прирост активности в образце L (Select x ВТ 43) x Select составил 18 %, а в Aluniş – 40%.

Таблица 1. Изменение активности пероксидазы в проростках 4-х генотипов пшеницы до и после обработки *F. oxysporum* (F.o.) и *D. sorokiniana* (D.s.)

№	Генотип	Активность в контроле ед./сек./г	Активность под действием F.o.	Прирост активности F.o. (%)	Активность под действием D.s.	Прирост активности D.s. (%)
1.	Moldova 66	2,68	2,31	-	2,31	-
2.	L/Select/ВТ43/Select	1,74	2,05	18	1,76	1
3.	Odeschi 267	3,39	2,90	-	3,09	-
4.	Aluniş	2,43	3,41	40	2,48	2

Воздействие культурального фильтрата *D. sorokiniana* не вызывало существенных изменений в пероксидазной активности ни в одном из генотипов. Наблюдалось незначительное увеличение активности (на 1%) в генотипе L(Select x ВТ 43) x Select, а также слегка повысилась активность в сорте Aluniş (на 2 %).

При изучении электрофоретических спектров пероксидаз в исследованных генотипах пшеницы были обнаружены 6 изоферментов с молекулярными массами от 58,2 кД до 23,8 кД (Рис. 1).

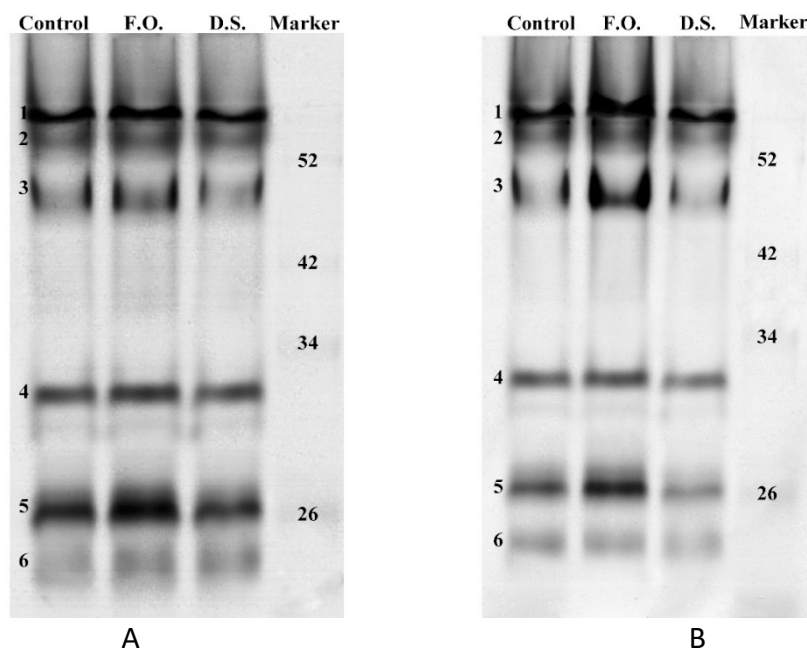


Рис. 1. Электрофоретические профили пероксидазных изоферментов в проростках пшеницы линии L (Select x ВТ 43) x Select (A) и сорта Aluniş (B) под действием грибов *F.oxysporum* (F.O.) и *D. sorokiniana* (D.S)

Воздействие фитопатогенных грибов *F. oxysporum* и *D. sorokiniana* не привело к качественным изменениям в изоферментном составе пероксидаз. Общее число пероксидазных ферментов сохранилось – по 6 зон во всех образцах. Однако существенно изменилось количественное соотношение изоферментов при воздействии *F.oxysporum* в генотипах L(Select x ВТ 43) x Select и Aluniş (Рис. 2).

В экспериментальных образцах наблюдалось увеличение интенсивности зон отдельных изоферментов относительно контроля. В частности, в образце L (Select x ВТ 43) x Select накапливаются зоны 3, 4, 5, 6, причем интенсивность зоны 5 ( $M_r$  26 кД) возросла в 1,4 раза. В сорте Aluniş накапливаются все зоны, кроме зоны 6, но больше всего зона 3 ( $M_r$  47 кД), интенсивность этой зоны возросла в 2,4 раза, а также существенно возросла интенсивность зоны 5 – в 1,6 раз.

### **Выводы**

Следовательно, при воздействии фитопатогенных грибов *F. oxysporum* и *D. sorokiniana* на зерна некоторых из исследованных генотипов мягкой пшеницы происходит генотипическое изменение пероксидазной активности растения-хозяина – стимулирование или ингибирование синтеза отдельных изоформ пероксидаз.

Наибольшие изменения в интенсивности зон после воздействия *F. oxysporum* были обнаружены у двух изоформ пероксидаз - зоны 3 и зоны 5, что, по-видимому, свидетельствует об их большей значимости в защитной реакции растения.

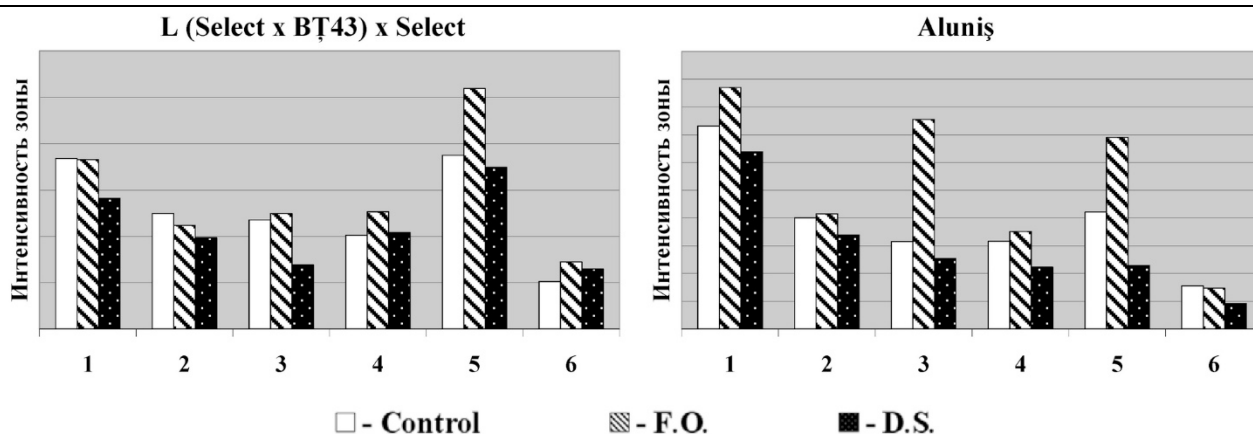


Рис. 2. Изменение количественного соотношения отдельных изоферментов пероксидаз в двух генотипах пшеницы под действием грибов *F.oxysporum* (F.O.) и *D. sorokiniana* (D.S.)

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.7007.04 «Биотехнологии и генетические способы выявления, сохранения и использования агробиоразнообразия», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию Республики Молдова.

### Список литературы / References

1. Almagro L., Gomez R. L., Belchi-Navarro S. et al. Class III peroxidases in plant defense reactions. In: Jour. Exper. Botany, 2009, 60 (2), p. 377-390.
2. Рубин, Б.А. Физиология и биохимия дыхания растений: учебное пособие. Москва: Москов. Ун-та, 1974. 512 с.
3. Долгих, Ю.И. Селекция на осмоустойчивость кукурузы in vitro и характеристика растений – регенератов. В: Физиология растений, 1994. Т.41, №1. с.114-117
4. Baysal Furtana, G., Tipirdamaz, R. Physiological and antioxidant response of three cultivars of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to salinity. In: Turk. J. Biol., 2010, V. 34. p. 287-296.
5. Рогозин, В.В. Peroксидаза: строение и механизм действия. Иркутск: Изд. ИГТУ, 2004, 200 с.
6. Землянхун, А. А. Практикум по биохимии: учебное пособие. Воронеж: Изд. ВГУ, 1993, 188 стр.
7. Davis, B.J. Disc electrophoresis. II. Method and application to human serum proteins. In: Annals of the NY Academy of Science, 1964, 121. p. 404-427.

### CHANGES IN PEROXIDASE ACTIVITY IN SOFT WHEAT SPROUTS AFTER PROCESSING OF GRAINS WITH MUSHROOMS *FUSARIUM OXYSPORUM* AND *DRECHSLERA SOROKINIANA*

A. RUDAKOVA<sup>1</sup>, S. RUDAKOV<sup>1</sup>, A. KERDIVARA<sup>1</sup>, G. LUPASHKU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State University of Moldova, 60, str. Mateevich, Kishinev, MD 2009 Moldova;  
rud-as@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9638-2151;

<sup>2</sup> Institute of Genetics, Physiology and Plant Protect  
on, str. Padurii, 20, Kishinev, MD 2002, Republic of Moldova

**Abstract.** The total peroxidase activity was determined in the sprouts of 4 wheat genotypes under the influence of phytopathogenic fungi *Fusarium oxysporum* and *Drechslera sorokiniana* - root rot pathogens. The electrophoretic profiles of peroxidase isozymes in control and experimental samples were also studied. A significant increase in peroxidase activity was observed only under the influence of *F. oxysporum* and only in the line of L (Select x BT 43) x Select (an increase of 18%) and in the variety Aluniș (an increase of 40%). The treatment of grains with the *D. sorokiniana* culture filtrate did not lead to significant changes in peroxidase activity in the studied samples. There

Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference  
“Agrophysics Trends: from actual challenges in arable farming and crop production towards  
advanced technologies”

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

September 14-15, 2021

---

was a slight increase in activity (1%) in the line L (Select x BT 43) x Select, and there was also a slight increase in activity in Aluniş (2%).

When studying the electrophoretic spectra of peroxidase enzymes in the studied wheat genotype, 6 isozymes with molecular weights from 58.2 kDa to 23.8 kDa were found. The phytopathogenic fungi *F. oxysporum* and *D. sorokiniana* did not change the isozyme composition of peroxidases in the studied cultivars, however, in some specimens influenced by *F. oxysporum* the quantitative ratio of individual isoenzymes changed significantly. In particular, in the sample L(Select x BT 43) x Select, zones 3, 4, 5, 6 accumulated and the intensity of zone 5 has increased 1.4 times. In the Aluniş variety, all zones except zone 6 accumulated, the intensity of zone 3 increased 2.4 times, and the intensity of zone 5 increased 1.6 times.

Consequently, when the culture filtrates of the fungi *F. oxysporum*, *D. sorokiniana* were exposed to the grains of some of the studied genotypes of soft wheat, a genotypic change in the peroxidase activity of the host plant occurred – stimulating or inhibiting the synthesis of individual isoforms of peroxidases.

**Keywords.** Peroxidase activity, wheat genotypes, phytopathogenic fungi, isoenzymes.

**РОЛЬ ОСМОТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ КЛЕТОЧНОГО СОКА В ТКАНЯХ СОИ И ДРУГИХ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ К ВОЗБУДИТЕЛЮ ПЕПЕЛЬНОЙ ГНИЛИ *MACROPHOMINA PHASEOLINA* (TASSI) GOID**

Г. М. САЕНКО, С. В. ЗЕЛЕНЦОВ

ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» (ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК), Краснодар, saenkogm@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлены данные о физиологической устойчивости растений сои и других высших растений к пепельной гнили за счёт повышения осмотического давления клеточного сока тканей самих растений с тем, чтобы частично или полностью приостановить осмотрофное питание патогенов.

**Ключевые слова.** Осмотическое давление, соя, физиологическая устойчивость к патогенам, пепельная гниль.

**Введение**

Гриб *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. является возбудителем пепельной гнили. Поражает более чем 500 видов культурных, сорных и дикорастущих видов растений. Патоген распространён во многих странах тропического и умеренного пояса на всех континентах (Hartman et al., 2015). В России гриб *M. phaseolina* отмечен в различных регионах, и также на многих растениях, но основным его ареалом являются районы с сухим и жарким летом, прежде всего, Нижнее Поволжье и Северный Кавказ (Пустовойт и др., 1979).

Как и все остальные представители царства Fungi гриб *M. phaseolina* относится к гетеротрофным эукариотическим организмам, обладающим особым осмотрофным (микотрофным) способом питания, обеспечивающим поглощение необходимых питательных веществ из окружающей среды всей своей поверхностью (Вертьянов, 2001; Домарадский, Градов, 2007). При этом осмотическое давление у гриба всегда выше, чем у растений-хозяев, и поступление низкомолекулярных органических веществ в гриб осуществляется за счёт градиента осмотического давления клеточного сока внутри и вне мицелия (Whittaker, 1969). Неоднократно высказывались предположения, что выравнивание осмотического давления внутри и вне мицелия, обычно вызываемое частичной или полной потерей воды питательным субстратом, делают воду и питательные вещества недоступными для внедряющегося патогена, что ведёт к прекращению его развития и гибели (Попкова, 1979; Дьяков, 1997).

Главные усилия в борьбе с пепельной гнилью на основных культурных растениях уделялись агротехническим, химическим, биологическим и селекционным методам. Однако вплоть до настоящего времени ни одним из этих методов так и не удалось эффективно контролировать эту болезнь.

В то же время исследований физиологических аспектов осмотрофного способа питания грибов в системе патоген – растение-хозяин оказалось крайне мало. Имеющиеся сведения были скудны и фрагментарны, что не позволяет их использовать для эффективного управления важнейшим механизмом жизнедеятельности грибов – осмотрофным питанием с целью защиты культурных растений от грибной патогенной микрофлоры. Поиск информации о внутреннем осмотическом давлении клеточного сока гриба *M. phaseolina*, как в отечественной, так и зарубежной микологической литературе, показал её полное отсутствие.

**Объекты и методы исследования**

Основные учёты и исследования проводили в период 2009-2017 гг. на базе ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК имени В.С. Пустовойта, г. Краснодар, расположенном на широте 45° в зоне неустойчивого увлажнения (ГТК=0,85). Сумма положительных температур воздуха в этой зоне составляет 4000-



4050°C. Сумма температур выше 10°C составляет около 3600°C. Почти ежегодно в летние месяцы температура воздуха достигает 38-40°C. В это же период на фоне высоких температур воздуха и дефицита осадков, как правило, развиваются позднелетние засухи. Оценку осмотического давления клеточного сока (ОДКС) растений проводили на рефрактометрах ИРФ-22 и PR-101a. Для этого на 5 растениях каждого исследуемого вида при помощи ручного пресса отжимали клеточный сок из нижних частей центральных побегов. Концентрацию полученного клеточного сока определяли на рефрактометре и рассчитывали величину осмотического давления (Третьяков, 1990).

ОДКС в тканях растений сои определяли по эмпирической формуле 1, обеспечивающей функциональную взаимосвязь ( $r = 1,0$ ) между концентрацией клеточного сока и ОДКС.

$$y = 14,5527 + (69,4075 \times Kc) + (1,2437 \times Kc^2), \quad (1)$$

где:  $y$  – осмотическое давление клеточного сока, килоПаскали (кПа);  $Kc$  – концентрация клеточного сока, %.

ОДКС внутри гифов *M. phaseolina* определяли опосредовано: – путём выращивания прадварительного размноженного на семянках подсолнечника мицелия на жидких питательных средах Чапека с последовательно увеличивающимися концентрациями высокомолекулярного нейтрального осмотика полиэтиленгликоля (ПЭГ-6000) на основе методики М. L. Ramirez и S. N. Chulze (2004) и рассчитывали по формуле 1.

Осмотическое давление среды, при котором полностью прекращается рост мицелия патогена, принималось равным ОДКС внутри мицелия гриба. Среду стерилизовали в автоклаве 20 минут при давлении 1 атм. В полученную среду высевали культуру гриба и наблюдали за ростом мицелия и образования микросклероциев. Объём мицелия в жидкой среде вычисляли по формуле 2.

$$V = \frac{3}{4} \pi R^3, \quad (2)$$

где:  $R$  – средний радиус погружённого в жидкую среду мицелия.

### Результаты и обсуждение

Наши исследования, проводимые в период 2009-2017 гг. в трёх циклах выращивания мицелия пепельной гнили на жидких средах Чапека показали, что собственное осмотическое давление жидкой питательной среды составляет около 220 кПа. В такой среде объём мицелия *M. phaseolina* уже на 4-е сутки культивирования достигал максимальных размеров, ограничиваемых только стенками колб. Увеличение концентрации ПЭГ-6000 в жидкой среде приводило к сокращению прироста мицелия. Повышение концентрации ПЭГ-6000 в средах с развитым мицелием вызывало ускорение формирования микросклероциев. Критическим осмотическим давлением среды, при котором был зафиксирован минимальный прирост мицелия и самое быстрое образование микросклероциев, в эксперименте оказался уровень 930 кПа.

При изучении осмотического давления клеточного сока внутри мицелия возбудителя пепельной гнили было установлено, что рост гриба *M. phaseolina*, прекращается при осмотическом давлении среды около 930 кПа. Такой уровень осмотического давления питательной среды нами был принят за критический уровень ОДКС исследуемого гриба, при котором ОДКС внутри и вне мицелия становится равной, а для гриба наступает физиологическая засуха и полностью прекращается рост мицелия. Дальнейшее увеличение осмотического давления питательной среды является сверхкритическим для гриба и приводит к полной гибели мицелия (таблица 1).

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1 – Зависимость роста мицелия в объёме жидкой среды Чапека от концентрации полиэтиленгликоля (ПЭГ-6000), Краснодар, ВНИИМК, 2009–2017 гг.

Концентрация осмотического вещества, %	Осмотическое давление раствора, кПа	Рост зоны объёма мицелия, см <sup>3</sup>		
		2-е сутки	3-и сутки	4-е сутки
Контроль (без ПЭГ-6000)	220	33,5–113,0	113,0	520,3
2,0	490	33,5–113,0	113,0	523,3
7,5	710	33,5–113,0	113,0–179,5	267,9
8,0	795	4,0	107,3	214,6
8,5	840	3,5	33,5	33,5–65,4
9,0	860	3,5	33,5	33,5–65,4
9,5	930	слабый рост мицелия	плотный мицелий на стерилизованной семянке	плотный мицелий на стерилизованной семянке
10,0	1100	нет роста на среде	нет роста на среде	нет роста на среде

Полученные данные по собственному ОДКС возбудителя пепельной гнили дают нам предположить, что все растения-хозяева пепельной гнили, независимо от жизненной формы и цикла развития, в оптимальных для развития гриба условиях должны иметь более низкие значения ОДКС.

Для проверки этого тезиса в полевых условиях 2009-2017 гг. оценивали их ОДКС у некоторых культурных и сорных двудольных видов растений, входящих в перечень растений-хозяев пепельной гнили (Farr et al., 1990). В качестве контрольного растительного объекта, не поражающегося возбудителем пепельной гнили, был использован ваточник сирийский (таблица 2).

Данные в таблице показывают, что ОДКС практически у всех исследованных видов растений находилось в диапазоне от 310 до 660 кПа, что на 620-270 кПа ниже по сравнению с критическим уровнем (930 кПа) ОДКС пепельной гнили. Исключение составил гипертонический уровень ОДКС ваточника сирийского, уже на стадии вегетативного роста и бутонизации составивший 909 кПа, а на стадии плодоношения – 2920 кПа. Последнее значение ОДКС ваточника более чем в три раза превышает критический уровень ОДКС патогена. При этом ваточник сирийский известен тем, что совершенно не поражается грибными болезнями, включая возбудителя пепельной гнили.

Таким образом, оценка ОДКС ряда культурных и сорных сосудистых растений показала, что гриб *M. phaseolina* может успешно расти и осмотрофно питаться растворёнными в клеточном соке питательными веществами без образования микросклероциев только в тканях растений-хозяев с гипотоническими уровнями ОДКС, относительно внутренней концентрации клеточного сока собственного мицелия.

Таблица 2 – Осмотическое давление клеточного сока в тканях некоторых видов культурных и сорных растений, 2009–2017 гг.

Название вида		Фаза развития на момент определения ОДКС	ОДКС, кПа
русское	латинское		
Соя культурная	<i>Glycine max</i> (L.) Merrill	1 тройчатосложный лист	530
Подсолнечник однолетний	<i>Helianthus annuus</i> L.	6 листьев	470
Рапс яровой	<i>Brassica napus</i> L.	цветение	330
Горох посевной	<i>Pisum sativum</i> L.	бутонизация	510
Клещевина обыкновенная	<i>Ricinus communis</i> L.	3 листа	310
Осот розовый	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	розетка листьев	300
Амброзия полыннолистная	<i>Ambrosia artemisifolia</i> L.	5 листьев	430
Шалфей мускатный	<i>Salvia sclarea</i> L.	розетка листьев	440
		цветение	660
Ваточник сирийский	<i>Asclepias syriaca</i> L.	бутонизация	909
		плодообразование	2920

### Выводы

На основании выявленных взаимосвязей между влажностью окружающей среды и образованием микросклероциев нами была сформулирована гипотеза осмотически зависимого склероциеобразования у *M. phaseolina*, основанная на градиенте осмотического давления внутри и вне мицелия гриба.

Согласно этой гипотезе, вегетативный рост мицелия патогена в тканях сои и паразитическое использование питательных веществ растения-хозяина осуществляются за счёт повышенного осмотического давления клеточного сока внутри мицелия относительно растительных клеток.

При развитии водного стресса концентрация ОДКС в тканях растения-хозяина увеличивается и достигает значений ОДКС внутри мицелия патогена. При выравнивании ОДКС внутри и снаружи мицелия для гриба наступает физиологическая засуха, вызывающая образование микросклероциев. Образовавшиеся микросклероции закупоривают сосудистую систему растения-хозяина, последовательно вызывая его угнетение, завядание и гибель. Те растения (ваточник), которые имеют большее значение ОДКС тканей, обладают физиологической устойчивостью растения к пепельной гнили.

### Список литературы / References

- Hartman G.L., Rupe J.C., Sicora E.J. Compendium of soybean diseases. // American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA. 2015. 211 p.
- Пустовойт Г.В., Бородин С.Г., Белоусова Н.А. Селекция подсолнечника на устойчивость к пепельной гнили // Защита растений, 1979. № 10. С. 40–43.
- Вертьянов С.Ю. Изменения в популяциях и приспособленность организмов – 2001. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.portal-slovo.ru/impressionism/36413.php> (дата обращения: 19.08.2021).
- Домарадский И.В., Градов Н.Б. Очерки микологии для экологов. – М.: Истоки, 2007. 86 с.
- Whittaker R.H. New concepts of kingdoms of organisms // Science. 1969. vol. 163. P. 150–160. DOI: 10.1126/наука.163.3863.150
- Попкова К.В. Учение об иммунитете растений. – М.: Колос, 1979. С. 61.
- Дьяков Ю.Т. Грибы и их значение в жизни природы и человека // Соросовский образовательный журнал. – М., 1997. № 3. С. 38–41.
- Третьяков Н.Н. Практикум по физиологии растений. – М.: Агропромиздат, 1990. 272 с.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

---

Ramirez M.L. Chulze S.N. Impact of osmotic and matric water stress on germination, growth, mycelial water potentials and endogenous accumulation of sugars and sugar alcohols in *Fusarium graminearum* // *Mycologia*, 2004. vol. 96(3). P. 470-478. DOI:10.2307/3762167

Farr D.F., Bills G.F., Chamuris G.P., Rossman A.Y. Hosts of *Macrophomina phaseolina* // *Journal of Agricultural Science*. Cambridge, 1990, 114. 353-355. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600072750>

**ROLE OF OSMOTIC PRESSURE OF CELLULAR JUICE IN TISSUES OF SOY AND OTHER HIGHER PLANTS  
IN THE FORMATION OF PHYSIOLOGICAL RESISTANCE TO THE AGENT OF CHARCOAL ROT  
MACROPHOMINA PHASEOLINA (TASSI) GOID.**

G. M. SAENKO, S. V. ZELENTOV

*V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar, Russia, saenkogm@mail.ru*

**Abstract.** The article presents data on the physiological resistance of soybeans and other higher plants to charcoal rot due to an increase in the osmotic pressure of the cell juice of the tissues of the plants themselves in order to partially or completely suspend the osmotrophic nutrition of pathogens.

**Keywords.** Osmotic pressure, soybean, physiological resistance to pathogens, charcoal rot.

## КОМПЛЕМЕНТАРНОЕ ВЛИЯНИЕ ВИРУСНЫХ АГЕНТОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА РЕАКЦИЮ МУЖСКОГО ГАМЕТОФИТА ТОМАТА

Т.И. САЛТАНОВИЧ, Л.П. АНТОЧ, Л.И. АНДРОНИК, А.Н. ДОНЧИЛЭ

*Институт генетики, физиологии и защиты растений, Кишинев, Республика Молдова,  
tatianasalt@mail.ru*

**Аннотация.** Изучено комплементарное влияния повышенной температуры, вируса табачной мозаики или вируса аспермии томата на реакцию мужского гаметофита гибридов F1 и родительских форм томата. Действие факторов оказывало дифференцированное влияние на качество мужского гаметофита, изменяя жизнеспособность пыльцы и длину пыльцевых трубок. Вариабельность функциональных признаков мужского гаметофита в условиях комплексного действия факторов проявлялась как реакции стимуляции, ингибирования или нейтральные эффекты. Определены источники изменчивости и особенности наследуемости признаков мужского гаметофита в стрессовых условиях. На основе выявленной изменчивости идентифицированы генотипы, сочетающие термоустойчивость и высокий уровень жизнеспособности пыльцы при инфицировании вирусами, что предполагает перспективу их использования в дальнейших исследованиях.

**Ключевые слова.** Томат, вирус, пыльца, температура, изменчивость, устойчивость.

### Введение

Проблема идентификации и отбора генотипов устойчивых к стрессовым условиям является одной из наиболее приоритетных в современных селекционно-генетических исследованиях. Известно, что абиотические и биотические стрессовые воздействия, а также различные их сочетания, приводят в мире к ежегодным потерям 51–82% урожая (Oshunsanya et al., 2019). В этой связи селекция на устойчивость к комплексному влиянию неблагоприятных факторов среды, приобретает особую актуальность. Однако, создание генотипов устойчивых к многофакторным стрессам затруднено, это связано с тем, что каждый тип устойчивости селекционируется независимо от другого (Балашова, 1991). Вследствие этого проблема комплексной устойчивости до сих пор открыта. Одним из способов ее решения может быть повышение общей неспецифической устойчивости к неблагоприятным факторам на основе использования эффективных методов анализа реакций гаметофита и спорофита на стрессовые воздействия и с последующим выделением перспективных форм (Поликсенова, 2009).

В литературе информация о влиянии многофакторных стрессов на растения немногочислена и отражает результаты исследований, выполненных на спорофитных этапах жизненного цикла. Показано, что при сочетании абиотического и биотического стрессов, действие абиотического фактора может вызывать положительное или отрицательное взаимодействие растений и патогенов, что усиливает или уменьшает симптомы проявления заболевания и его влияние на растение (Chojak-Koźniewska, Kuźniak, Zimny, 2018). Реакция растений на многофакторные стрессы уникальна и не может быть экстраполирована из реакции на однофакторный стресс. Результаты экспериментов Zandalinas et al. (2020) с комбинацией из 2-х или 3-х разных факторов также обнаружили возможность их взаимодействия и негативного влияния на рост и развитие растений, даже в случаях, когда последствие каждого стресса незначительно.

Известно, что абиотические факторы, в том числе и температура, влияют как на растения, так и на популяции микроорганизмов. Высокие температуры могут способствовать распространению вируса табачной мозаики или вируса мозаики репы, ослабляя защитные реакции растений (Paupière, Napereen, Rieu et al., 2017). С другой стороны, в этих условиях у некоторых инфицированных растений была отмечена меньшая симптоматичность, связанная с подавлением синтеза вирусной РНК, т.е. эффект влияния температуры на репликацию вируса зависит от типа вируса и растения хозяина. По данным Балашовой (1991) в условиях

комплексного действия факторов устойчивость сортов томата к вирусам положительно коррелировала с толерантностью к пониженной освещенности, в результате отобранные формы представляли интерес для селекции.

Учитывая то, что в литературе информация о влиянии многофакторных стрессов на репродуктивные стадии развития растений довольно ограничена, цель проведенных исследований состояла в изучении реакции мужского гаметофита гибридов и сортов томата на совместное влияние вирусных агентов и повышенной температуры.

### **Объекты и методы исследования**

Эксперименты проводили с гибридными комбинациями  $F_1$  и сортами томата. Растения выращивали в теплице, в фазе 4-5 листьев проводили их механическую инокуляцию вирусом табачной мозаики (ВТМ) или вирусом аспермии томата (ВАТ).

Для оценки качества пыльцы собирали цветки с контрольных и инфицированных растений, выделяли пыльцу. С целью определения ее термоустойчивости проводили прогревание части пыльников в термостате при 40°C (опыт) 3 часа, в контроле пыльца находилась при температуре 26°C. Затем высевали пыльцу на искусственную питательную среду, содержащую 15%-ный водный раствор сахарозы и борную кислоту - 0,006%. Культивирование осуществляли в термостате при температуре 27°C в течение 3-х часов. Анализировали препараты под микроскопом, определяли жизнеспособность пыльцы (ЖП) и длину пыльников (ПТ) в контрольном и опытных вариантах, а также вычисляли соотношение этих показателей. Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием программы Statgraphics Plus v.5.0.

### **Результаты и обсуждение**

В результате проведенных исследований установлено, комплементарное действие температуры и ВТМ оказывало существенное влияние на жизнеспособность пыльцы, снижая ее значения в опыте в среднем на 27,4% по сравнению с контролем, а также приводило к уменьшению длины пыльников на 23,4%. В условиях комбинированного влияния ВАТ и температуры отмечено, что жизнеспособность пыльников также была ниже контрольных значений в среднем на 29,5%, в тоже время длина пыльников по сравнению с контролем возросла на 11,2%, что может происходить в результате дозревания части пыльников при их прогревании. Следует отметить, что реакция растений была дифференцированной.

Так, в результате действия ВТМ и температуры у 20% генотипов отмечено увеличение жизнеспособности пыльцы на 3,5...9,0% по сравнению с контролем, тогда как у большинства генотипов (80%) жизнеспособность пыльцы была ниже контрольных значений на 5,3...45,0%.

Таким образом, комбинированное влияние каждого вируса и температуры оказывало наиболее сильное ингибирующее действие на жизнеспособность пыльцы, тогда как влияние этих факторов на скорость роста пыльников и их размеры было менее выраженным.

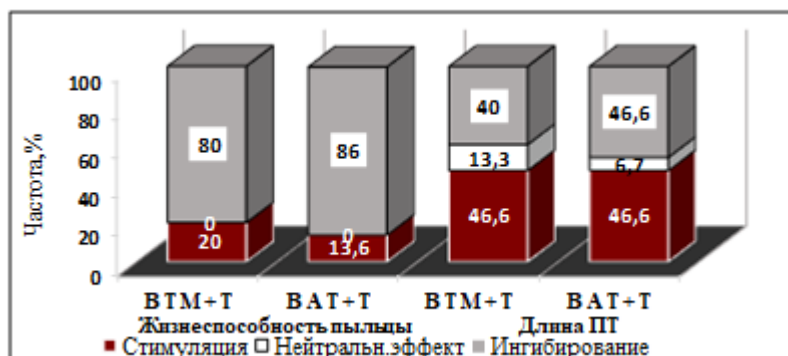


Рис. 1. Реакция мужского гаметофита на действие вирусов и температуры.

С целью выявления основных источников, детерминирующих изменчивость функциональных признаков пыльцы, проведена обработка полученных результатов методом трехфакторного дисперсионного анализа.

Таблица. Основные источники изменчивости признаков мужского гаметофита

Источники изменчивости	Жизнеспособность пыльцы			Длина ПТ		
	степени свободы	сумма квадратов эффектов	доля влияния, %	степени свободы	сумма квадратов эффектов	доля влияния, %
<b>BTM + Температура</b>						
Генотип	14	16826,6*	9,0	14	12333,9*	15,2
BTM	1	813,5*	6,0	1	3734,3*	64,3
Температура	1	9416,6*	69,7	1	154,9*	2,67
Взаимодействие факторов	43	28694,9*	15,7	43	14523,5*	17,8
Случайные эффекты	120	328,9*	0,4	120	393,0*	0,03
<b>BAT + Температура</b>						
Генотип	14	16548,1*	8,7	14	10090,1*	12,2
BAT	1	1205,7*	8,9	1	3233,4*	54,5
Температура	1	9361,0*	69,3	1	872,5*	14,7
Взаимодействие факторов	43	24283,6*	12,6	43	11373,2*	13,3
Случайные эффекты	120	309,5*	0,5	120	418,6*	5,3

\*- различия достоверны при  $P < 0,01$ .

Полученные результаты показали, что температура, вирусы, генотип и их взаимодействия достоверно ( $P < 0,01$ ) определяют вариабельность признаков мужского гаметофита. Установлено, что в условиях комплементарного действия BTM и температуры вариабельность жизнеспособности пыльцы в большей степени детерминирована температурой, доля ее влияния в общей структуре изменчивости составляла 69,3...69,7%, вклад генотипа - 9,0 и 8,7% и вирусных агентов - 6,0 и 8,9%. В тоже время главным источником вариабельности длины пыльцевых трубок являются вирусы, сила их действия была равна 54,5...64,3%, доля влияния генотипа в составе спектра изменчивости - 12,2...15,2%, тогда как действие температуры определяло 2,7...14,7% вариабельности (табл.). Таким образом, повышенная температура и вирусы являются основными источниками вариабельности жизнеспособности пыльцы и длины пыльцевых трубок в условиях совместного действия этих факторов. Следует отметить, что по данным Paupière et al.,

(2017) среди абиотических стрессов, влияющих на реакцию пыльцы ряда генотипов томата, высокая температура является одним из наиболее существенных. В этой связи авторы считают, что использование результатов оценки качества мужского гаметофита в условиях высокотемпературного стресса и выделение на этой основе устойчивых форм, может быть ценной стратегией, позволяющей преодолеть негативные температурные воздействия.

По мнению некоторых авторов (Hanson et al. 2002; Hazra et al. 2009), сложности, возникающие в процессе селекции на повышение устойчивости генотипов к высокой температуре, могут быть связаны с низкой наследуемостью данного признака. Для выявления особенностей наследуемости признаков мужского гаметофита в условиях комплексного действия факторов нами была определена степень доминантности. Значения этого показателя варьировали от отрицательного сверхдоминирования до положительного сверхдоминирования, положительное доминирование и сверхдоминирование по жизнеспособности пыльцы было отмечено в 60,0% случаев, тогда как по длине пыльцевых трубок этот показатель был несколько ниже и составлял 50,0%, что предполагает проявление особенностей родителей с более высокими значениями признака.

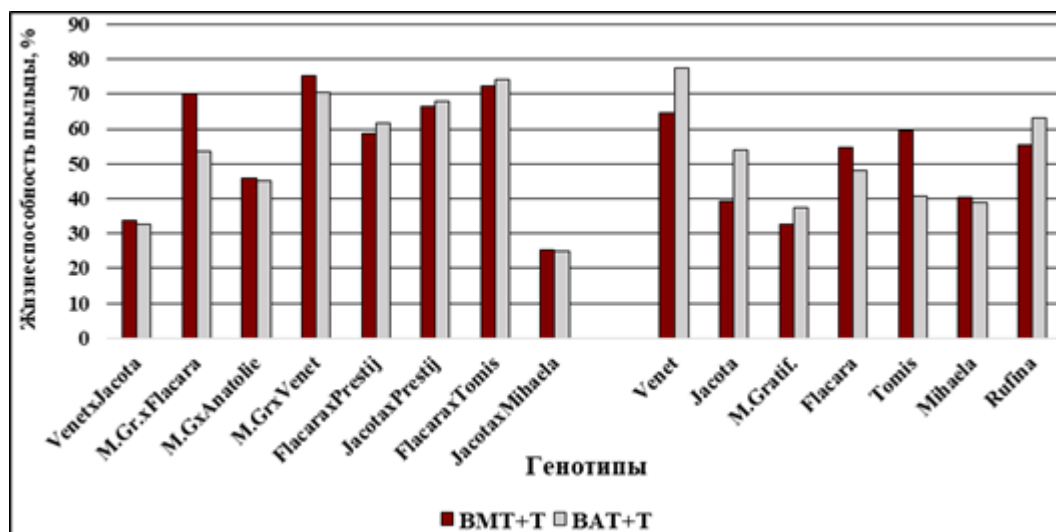


Рис. 2. Жизнеспособность пыльцы гибридов и сортов томата.

На основе обобщения полученных данных среди изученных генотипов выявлены различия по жизнеспособности мужского гаметофита. Так, в условиях многофакторных стрессов выделены 5 гибридных комбинаций с высоким уровнем жизнеспособности пыльцы (54,0...76,0%), в тоже время у 2 гибридов значения этого показателя были гораздо ниже - 25,0...32,4%. В составе изученного набора сортов выделились сорта Venet и Rufina, у которых жизнеспособность пыльцы составляла 55,0 и 78,0%, тогда как у остальных генотипов этот показатель был более низким (рис. 2).

### Выводы

Комплементарное влияние повышенной температуры, ВТМ или VAT приводит к возникновению дифференцированных реакций мужского гаметофита по жизнеспособности пыльцы и длине пыльцевых трубок, которые в большей степени детерминированы действием температуры для изменчивости жизнеспособности пыльцы и вирусных патогенов для вариабельности длины трубок.

На основе анализа значений коэффициента наследуемости соотношений (опыт/контроль) по жизнеспособности пыльцы и длине пыльцевых трубок выявлено положительное доминирование и сверхдоминирование в 60,0 и 50% случаев (соответственно), что предполагает



проявление особенностей родителя с более высокими значениями функциональных признаков пыльцы.

Мужской гаметофит 5 гибридов и 2 сортов томата проявил высокие значения жизнеспособности пыльцы в условиях многофакторных фонов, что предполагает перспективу использования этих генотипов в дальнейших исследованиях.

#### **Благодарности**

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.7007.04 «Биотехнологии и генетические способы выявления, сохранения и использования агробиоразнообразия», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.

#### **Список литературы / References**

- Oshunsanya S., Nwosu, N., and Li Y. Abiotic stress in agricultural crops under climatic conditions” in Sustainable agriculture, forest and environmental management. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019. P. 71-100. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6830-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6830-1_3).
- Балашова Н.Н. Стратегия селекции растений на устойчивость к патогенам. В кн.: Селекция растений: новые генетические подходы и решения. 1991. 340 с.
- Поликсенова В.Д. Индуцированная устойчивость растений к патогенам и абиотическим стрессовым факторам (на примере томата) // Вестник БГУ. 2009. Сер. 2. № 148-159.
- Chojak-Koźniewska J., Kuźniak E., Zimny J. The Effects of Combined Abiotic and Pathogen Stress in Plants: Insights From Salinity and *Pseudomonas syringae* pv *lachrymans* Interaction in Cucumber // Front. Plant Sci. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01691>
- Zandalinas S., Sengupta S., Felix B. et al. The impact of multifactorial stress combination on plant growth and survival. // New Phytologist DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.11.23.394593>.
- Paupière M.J., Haperen P., Rieu I. et al. Screening for pollen tolerance to high temperatures in tomato // Euphytica. 2017. Vol. 213, 130. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-017-1927-z>.
- Hanson P.M., Chen J-T., Kuo G. Gene action and heritability of high-temperature fruit set in tomato line CL5915 // HortScience. 2002. Vol. 37. P. 172–175. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.37.1.172>.
- Hazra P., Ansary S., Dutta A. et al. Breeding tomato tolerant to high temperature stress // Acta Hort. 2009. Vol. 830. P. 241–248. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.830.33

#### **COMPLEMENTARY EFFECT OF VIRAL AGENTS AND TEMPERATURE ON THE REACTION OF MALE TOMATO GAMETOPHYTE**

T.I. SALTANOVICI, L.P. ANTOCI, L.I. ANDRONIC, A.N. DONCILA

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chisinau, Republic of Moldova,*  
*tatianasalt@mail.ru*

**Abstract.** The complementary effect of high temperature, tobacco mosaic virus or tomato aspermy virus on the response of the male gametophyte of F1 hybrids and its parental forms of tomato was studied. The action of the evaluated factors had a differentiated effect on the quality of the male gametophyte, changing the pollen viability and the length of the pollen tubes. The variability of the functional characteristics of the male gametophyte under the complex action manifests the stimulation, inhibition, or neutral responses. The sources of variability and the peculiarities of heritability of the male gametophyte traits under stressful conditions have been determined. On the basis of the obtained data, genotypes that combine heat resistance and a high level of pollen viability under viral pathogenesis were identified, suggesting the possibility of their use in further selection researches.

**Keywords.** Tomato, virus, pollen, temperature, variability, resistance.

## ПРОЯВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ К ПАТОГЕНУ *ALTERNARIA ALTERNATA* (FR.) KESSLER В КОНТРОЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ

Е. Ф. САШКО

Институт генетики, физиологии и защиты растений, г. Кишинев, Республика Молдова  
elenasasco5@gmail.com

**Аннотация.** Грибы рода *Alternaria* являются возбудителями альтернариоза зерна и сопутствующими патогенами при образовании чёрного зародыша зерна, гнилей корней пшеницы. Зараженные семена зерновых культур имеют пониженную всхожесть и энергию прорастания, образуя тонкие стебельки. В контролируемых условиях исследованы процессы роста корешка и стебелька 7-дневных растений и индукции каллусогенеза у озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) под действием культурального фильтрата 3 - изолят патогена *Alternaria alternata*. Установлена высокая доля влияния фактора *генотип пшеницы* на формирование вариабельности признаков всхожести семян, длины корешка, сухой биомассы растения, а также частоты каллусогенеза (51.4% – 98.2%). Были выявлены существенные корреляционные связи между длиной корешка и признаками всхожести семян, сухой биомассы растения и площади поверхности каллуса ( $0.7 < r < 0.9$ ). Результаты указывают на комплексное формирование количественных признаков роста семян пшеницы на действие патогена *Alternaria alternata*.

**Ключевые слова.** Пшеница озимая, *Alternaria alternata*, культуральный фильтрат, длина корешка и стебелька, каллусогенез.

### Введение

Пшеница занимает третье место в мире по производству зерна. Корневые гнили, гнили кроны и чёрный зародыш злаков – болезни, вызываемые грибами из родов *Alternaria*, *Drechslera* и *Fusarium*, широко распространены на всей территории возделывания зерновых культур, которые приводят к снижению урожайности и значительным экономическим потерям. Комплекс патогенных грибов представляет собой динамичную систему со сложными внутри- и межвидовыми взаимоотношениями при заражении и последующей микозной колонизации растений. Продукты метаболизма этих грибов приводят к изменению биохимических свойств инфицированных растений зерновых культур, вызывая специфические признаки болезни. Погодно-климатические факторы играют определяющую роль в заражении пшеницы (Лупашку и др., 2016, Ганнибал, 2018, Жуковский и др., 2018, Жемчужина и др., 2019).

Наиболее частым возбудителем чёрного зародыша пшеницы является идентифицированный гриб *A. alternata*, а наименее частыми патогенными агентами считаются *C. sativus* и *F. graminearum*. Болезнь семян зерновых – *black point* приводит к снижению качества семян и образованию грибковых токсинов. Внутренняя инфекция семян способствует развитию *корневой гнили*. Кроме того, альтернариоз может снизить всхожесть семян, прорастание проростков, общую площадь фотосинтеза и тем самым урожайность пшеницы (Draz et al., 2016, Жуковский, 2018). Искусственная инокуляция растений пшеницы тестируемыми возбудителями *A. alternata* и *C. sativus* показала высокое инфицирование патогенами листьев и семян, а также значительные потери количества и веса зерен. Авторами наблюдалось снижение всхожести пораженных зерен и роста всходов. Рост побегов был больше ингибирован в присутствии *F. graminearum*, а корневая система была более подавлена в присутствии *C. sativus* (Draz et al., 2016).

Цель проведенных исследований состояла в выявлении методологического подхода, позволяющего определить сходство реакции на токсические метаболиты *Alternaria alternata* растительных объектов с различным уровнем организации, что даст возможность тестировать и отбирать для селекционных программ источники устойчивости озимой мягкой пшеницы.

**Объекты и методы исследования**

Были исследованы процессы роста и развития растений на ранней стадии онтогенеза и каллусогенеза зрелого зародыша у генотипов Moldova 614 (M 61), Moldova 66 (M 66) и линии L Selania / Accent (L S/A). В качестве селективного фактора был использован 21-дневный культуральный фильтрат (КФ) 3-х изолятов *Alternaria alternata*, полученный по используемой в лаборатории методике. Он применялся в концентрациях 100% и 20% соответственно для обработки семян в лабораторных условиях и при добавлении в питательную среду Мурасиге-Скуга (МС) *in vitro*. Калиброванные семена стерилизовали в течение 1-2 мин в 96% этаноле, затем в течение 15-20 мин – в 9% растворе хлорной извести, далее промывали стерильной дистиллированной водой и выдерживали 1.5-2 часа при температуре 28°C для проклевывания. Вырезанный зародыш переносили в чашки Петри на питательную среду МС, содержащую полный набор макро- и микроэлементов, витамины, 2,4-Дихлорфеноксисуксиную кислоту (2 мг/л), инозит (100 мг/л), сахарозу (3 %) и агар (0,7 %) (контрольный вариант). Также были использованы варианты, дополненные культуральным фильтратом (КФ) 3-х изолятов *A. alternata*. Для индукции каллусообразования культуры выращивали в темноте при температуре 25°C.

Оценку реакции проводили на основе показателей всхожести (%), длины корешка и стебелька пшеницы (мм) и сухой биомассы (мг) растений на 6-е сутки после обработки семян КФ *A. alternata* (изоляты 1, 2, 3) и проращивания в чашках Петри. Частоту индукции каллусогенеза (%) и площадь поверхности каллуса (мм<sup>2</sup>) определяли на 14-е сутки культивирования.

Статистический анализ данных проводили с использованием пакета программ STATISTICA 7.

**Результаты и обсуждение**

В контрольном варианте, соответственно для генотипов M 61, M 66 и L S/A, длина корешка и стебелька варьировали в следующих пределах: 138.6±3.6 мм...97.3±3.4 мм и 78.6±2,7 мм...69.2±2.6 мм. Наименьшие значения ростовых параметров, а также всхожести и сухой биомассы обнаружены у L S/A, генотип, имеющего низкие показатели роста и развития в полевых условиях засухи 2019-2020гг, а наивысшие значения – у M 66. Под влиянием КФ патогена *A. alternata* наблюдалось преобладание ингибирования длины корешка и стебелька, всхожести, а также сухой биомассы растений для генотипов M 61 и M 66. Менее токсичным для изученных признаков генотипа M 61 был изолят 1, а для M 66 – изолят 2. Генотип пшеницы L S/A проявил более выраженную дифференцированную реакцию на КФ патогена: наблюдалось сильное ингибирование длины корешка и стимулирование роста стебелька и сухой биомассы, что привело к изменению соотношения стебелек/корешок. Были выявлены существенные корреляционные связи между длиной корешка и признаками всхожести семян (0.9), сухой биомассой растения (0.7) и площадью поверхности каллуса (0.7), а также, между длиной стебелька и сухой биомассой растения. Результаты указывают на комплексное формирование количественных признаков роста семян пшеницы под действием патогена *Alternaria alternata* (рис. 1).

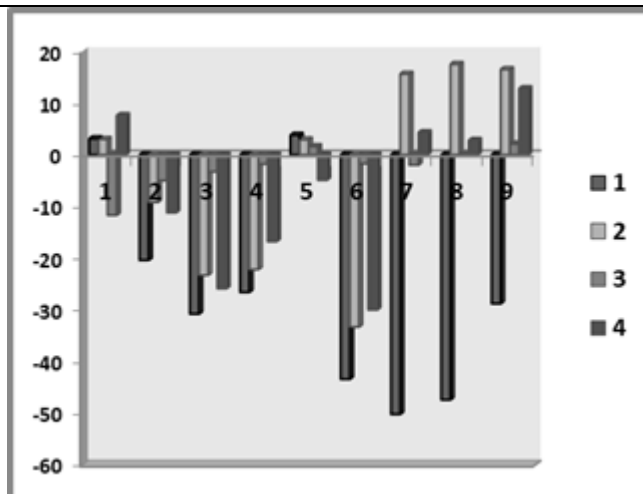


Рис. 1. Вариабельность параметров роста пшеницы в реакции на культуральный фильтрат 3-х изолятов *Alternaria alternata* (% от контроля).

По горизонтали: 1, 2, 3–М 61; 4, 5, 6–М 66; 7, 8, 9–L S/A; 1, 4, 7–КФ 1; 2, 5, 8–КФ 2; 3, 6, 9–КФ 3;  
 По вертикали: слева – % стимуляции/ингибирования признака;

Справа: 1– длина корешка; 2– длина стебелька; 3–всхожесть растений; 4–сухая биомасса.

Дисперсионным двухфакторным анализом (ANOVA) взаимоотношений компонентов фитопатосистем выявлено наибольшее значение генотипического фактора (70.9%, 78.0% и 51.4%) для вариабельности признаков длины корешка, всхожести, и сухой биомассы растений. Данные указывают на высокую роль генотипа в ответе пшеницы на КФ *A. alternata* на ранних стадиях онтогенеза. Высокой для длины стебелька и сухой биомассы является также доля фактора КФ (изолят) – 45.9% и 22.3%. Вклад взаимодействия факторов *генотип* x КФ был существенным в создании вариабельности всех параметров, но особенно – длины стебелька (30.1%) (Табл. 1).

Таблица 1. Долевой вклад факторов и их взаимодействие в образовании вариабельности признаков пшеницы под действием метаболитов *Alternaria alternata*

Фактор	Степень свободы	Доля влияния			
		длина корешка	длина стебелька	всхожесть	биомасса
Генотип (Г)	2	70.9*	21.3*	78.0*	51.4*
КФ (Изолят)	2	9.2*	45.9*	8.5*	22.3*
ГxКФ	4	19.4*	30.1*	12.0*	22.3*

\* – Различия существенны при  $P \leq 0.05$

В контрольном варианте параметры частоты калусогенеза и площади поверхности каллуса варьировали в узких пределах 99.8%...92.0% и 34.8 мм<sup>2</sup>...32.1 мм<sup>2</sup>. Самые низкие значения признаков наблюдались у генотипа L S/A. Культуральный фильтрат *A. alternata* оказывал выраженное ингибирующее действие на процессы частоты индукции калусогенеза (13.6%...44.8% от контрольного варианта) у генотипа М 61. Менее выраженную токсичность для данного признака у генотипов М 61 и М 66 оказал, соответственно, изолят 1 и изолят 2. Для вариабельности признака частоты калусогенеза долевой вклад генотипа составлял 78.0%. Образование площади поверхности каллуса варьировало в узком пределе - от 100% до 89.0%. Самое сильное ингибирование частоты индукции калусогенеза и площади поверхности каллуса отмечено у генотипа М 61 в вариантах с КФ гриба *A. alternata* изолята 2. Установлена высокая

доля влияния фактора *генотип пшеницы* на формирование вариабельности частоты каллусогенеза (98.2%). Высок также вклад взаимодействия факторов *генотип* x *КФ* (12.0%). Кластерный анализ (метод *k*-средних), основанный на распределении признаков в зависимости от центральных средних величин, позволил дифференцировать уровень их ответа на действие КФ 3-х изолятов *A. alternata* на 3 кластера. Кластер 1 включил вариабельность признака длина корешка на КФ *A. alternata*. Данный показатель роста растения выделяется наивысшим процентом ингибирования по отношению к соответственным вариантам контроля. Он находился на 28.5 и 31.9 эвклидовы расстояния от кластеров 2 и 3. Параметры, обладающие более низкими отклонениями реакции на КФ гриба – всхожесть, частота калусогенеза и площадь поверхности каллуса, формировали Кластер 2, который находился на 14.3 эвклидовы расстояния от Кластера 3. Параметры длина стебелька и сухая биомасса растения, которые показали высокую вариабельность, но с более генотипической дифференциацией ответа на метаболиты *A. alternata*, сформировали Кластер 3 (Рис. 2).

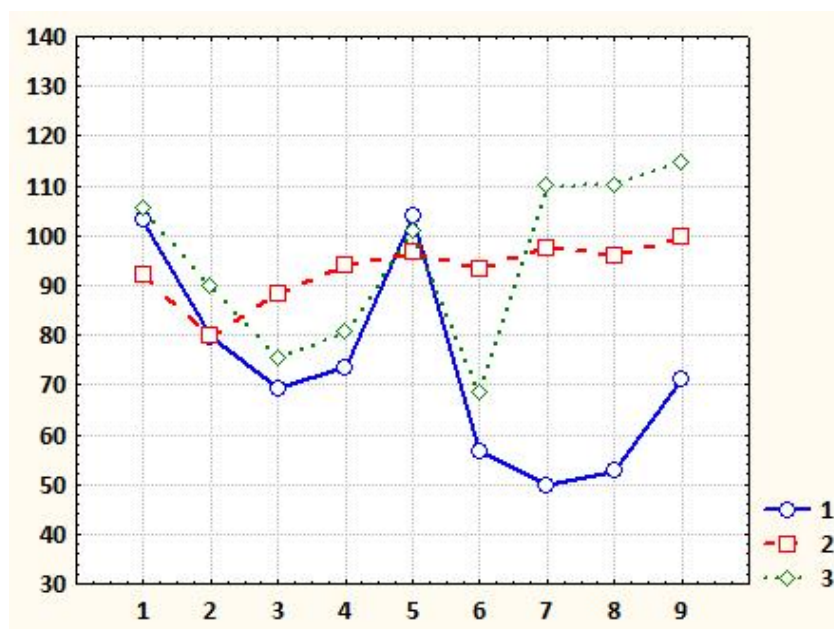


Рис. 2. Кластерный анализ (метод *k*-средних) распределения ответа пшеницы на КФ изолят *Alternaria alternata*.

### Выводы

При действии культурального фильтрата *Alternaria alternata* на семена пшеницы установлена высокая доля влияния фактора генотип пшеницы на формирование вариабельности признаков всхожести семян, длины корешка, сухой биомассы растения, а также частоты каллусогенеза. Выявлены существенные корреляционные связи между признаком длина корешка и признаками всхожести семян, сухой биомассы растения и площади поверхности каллуса.

### Благодарности

Исследования проведены в рамках проекта Государственной Программы 20.80009.7007.04 «Биотехнологии и генетические способы выявления, сохранения и использования агробиоразнообразия», финансируемой Национальным Агентством по Исследованиям и Развитию.

### Список литературы / References

- Ганнибал Ф. Б. Изучение факторов, влияющих на развитие альтернариоза зерна у злаков, возделываемых в европейской части России // Сельскохозяйственная биология. 2018. Том 53. № 3. С. 605-615.
- Жемчужина Н. С. и др. Патогенные и фитотоксические свойства возбудителей корневой гнили и черного зародыша зерновых культур в некоторых районах России. Аграрная наука. 2019. Том 1, стр. 142–147. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-1-142-147>
- Жуковский А. Г. и др. Корневая гниль зерновых культур и роль инфицированности семян в ее развитии // Защита растений. Сборник научных трудов. Минск. 2018. Выпуск 42. С. 84-96.
- Лупашку Г. А., Гавзер С. И., Сашко Е. Ф. Эколого-генетические основы создания доноров устойчивости пшеницы к корневым гнилям // Фундаментальные и прикладные исследования в биоорганическом сельском хозяйстве России, СНГ и ЕС. Материалы докладов, сообщений. М., 2016. Т. 2. С. 223-233
- Draz I. S., El-Gremi S. M., Youssef W. A. Pathogens associated with wheat black-point disease and responsibility in pathogenesis // Journal of Environmental & Agricultural Sciences. 2016. Vol. 8. P. 71-78.

### MANIFESTATION OF RESISTANCE OF WINTER WHEAT TO THE PATHOGEN *ALTERNARIA ALTERNATA* (FR.) KESSLER UNDER CONTROLLED CONDITIONS

E. F. SAȘCO

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Chișinău, R. Moldova, elenasasco5@gmail.com*

**Abstract.** Fungi of the genus *Alternaria* are causative agents of grain *Alternaria* and accompanying pathogens in the formation of a black embryo of grain, rot of wheat roots. Infected seeds of cereal crops have a reduced germination and germination energy, forming thin stalks. Under controlled conditions, the processes of root and stem growth of 7-day plants and induction of callusogenesis in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under the influence of culture filtrate 3 isolate of the pathogen *Alternaria alternata* were studied. A high proportion of the influence of the wheat genotype factor on the formation of variability in the characteristics of seed germination, root length, dry biomass of the plant, as well as the frequency of callusogenesis (51.4% - 98.2%) was established. Significant correlations were revealed between root length and signs of seed germination, dry biomass of the plant, and callus surface area ( $0.7 < r < 0.9$ ). The results indicate the complex formation of quantitative traits of wheat seed growth on the action of the pathogen *Alternaria alternata*.

**Keywords.** Winter wheat, *Alternaria alternata*, culture filtrate, root and stem length, callusogenesis.

**СОХРАНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ СЛИВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ  
ВЫРАЩИВАНИЯ И ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕТОДОВ ХРАНЕНИЯ**

В.Ю. СВЕТЛИЧЕНКО, А.П. НИКУЦА, И.Д. ХАРЕА, Н.С. БУЖОРЯНУ

*Институт Генетики, Физиологии и Защиты растений (ИГФЗР МОКИ) Молдова, Кишинэу,  
fructele2008-@mail.ru*

**Аннотация.** Проведены эксперименты по обработке деревьев сливы сорта Стенлей в саду биологически активным веществом (БАВ) «Реглалг», микроэлементами В, Zn, Mn и Мо. Плоды исследуемого сорта после сбора, хранили при двух способах: в обычной атмосфере и под влиянием препарата «Фитомаг» (ингибитор синтеза этилена). Установлено, что обработка деревьев БАВ «Реглалг» и микроэлементами В, Zn, Mn Мо влияет на накопление в исследуемых плодах резервных веществ (пектины, гемицеллюлозы, целлюлоза). Обработка плодов сливы препаратом «Фитомаг» перед хранением способствует снижению расходования изучаемых полисахаридов, сохраняет качество плодов и замедляет процесс естественной убыли их массы и др.

**Ключевые слова.** Плоды сливы, хранение, пектиновые вещества, гемицеллюлозы, целлюлоза, микроэлементы, Фитомаг.

**Введение**

Плоды косточковых культур, характеризующиеся высокими вкусовыми достоинствами в сочетании с биологической ценностью, являются одним из компонентов сбалансированного питания человека. Широкое распространение этой культуры объясняется, прежде всего, ее скороплодностью, высокой и стабильной продуктивностью, высокими вкусовыми качествами плодов и хорошей приспособленностью к различным почвенно-климатическим условиям [4, 7]. Ведущее место среди косточковых культур занимает слива, которая является основной косточковой культурой, выращиваемой во всех трех агроэкологических зонах Республики Молдовы, отличающаяся высокой урожайностью, неприхотливостью к климатическим условиям, а также хорошими вкусовыми и лечебными свойствами плодов. Возросшее значение сливы в последнее время объясняется значительным улучшением ее сортимента и удлинением сроков поступления ее продукции, а также возможностью механизации процессов обрезки деревьев и уборки плодов, самых трудоемких процессов в плодоводстве [6].

Плоды сливы имеют большое пищевое и диетическое значение, в них содержится значительное количество ценных для человека веществ: сахара, органические кислоты, витамины, биологически активные, минеральные, пектиновые и фенольные соединения.

Потребление этих ценных плодов имеет кратковременный период. В связи с этим важным является подбор оптимальных методов длительного хранения плодов сливы, обеспечивающих их минимальные потери и максимальное сохранение исходного качества.

**Объекты и методы исследования**

Объектом исследования являлся позднего срока созревания сорт сливы Стенлей (*Prunus domestica*) американской селекции [10]. Плоды хранили в течение 103 дней в холодильной камере – экспериментального комплекса «Карпотрон» ИГФЗР Молдовы.

На хранение плоды были заложены по следующей схеме: плоды с деревьев, обработанных препаратом БАВ «Реглалг» (биологически активное вещество), в концентрации 0,05%; плоды с деревьев, обработанных микроэлементами В, Zn, Mn и Мо в концентрации 0,1% и плоды с деревьев, обработанных препаратом БАВ «Реглалг» в сочетании с вышеперечисленными микроэлементами.

Для хранения плодов сливы применяли два метода:

- 1) обработка плодов препаратом «Фитомаг» (ингибитор биосинтеза этилена), в дозе 0,44г/1м<sup>3</sup>, температура хранения 1° С;
- 2) контрольные плоды хранились при температуре хранения 1° С.

Количественное содержание пектиновых веществ, гемицеллюлоз и целлюлозы определяли по методике Ермакова А.И. [5], Арасимович В.В. (1987) [1]; естественную убыль массы плодов определяли по методике Франчук Е. П. (1983) [8]; твердость плодов измеряли с помощью тестера давления (FT-327, Италия) оснащенного наконечником диаметром 11,3 мм, полученные значения выражали в кг/см<sup>2</sup>; статистическую обработку полученных результатов проводили по методике Доспехова Б.А. (1979) [3].

### **Результаты и обсуждение**

Известно, что значительное место в химическом составе плодов сливы занимают полисахариды: целлюлоза, гемицеллюлозы и пектиновые вещества, составляющие механическую основу растительных тканей [9]. Особое значение приобретает механическая прочность тканей плодов вследствие обильного содержания в них воды и низкого содержания белковых веществ [2]. Размягчение плодов при созревании в период хранения, связано с расходом полисахаридов клеточной стенки. Сохранить качество и повысить лежкоспособность послеуборочных плодов, возможно при целенаправленной организации их выращивания для длительного хранения.

Исходя из этого, в задачу исследований входило определение влияния условий выращивания и применяемых методов хранения на степень изменения показателей качества плодов сливы.

Проведенные опыты показали (рис. 1, табл. 1), что в начале хранения наиболее высокие показатели содержания полисахаридов клеточной стенки, а также твердости мякоти плодов были выявлены в плодах, собранных с деревьев, обработанных в период вегетации БАВ «Реглалг» и микроэлементами В, Zn, Mn и Mo.

Полученные результаты демонстрируют, что обработка деревьев изучаемым БАВ и микроэлементами, способствует биосинтезу запасных веществ в плодах, создавая основу для повышения их лежкости.

Было выявлено, что в процессе длительного хранения в исследуемых плодах сливы содержание пектиновых веществ снижалось (рис. 2).

Менее интенсивно этот процесс происходил в опытных образцах под влиянием препарата «Фитомаг» (ингибитора биосинтеза этилена).

Результаты анализа в конце хранения позволили выявить, что разница между контрольными и обработанными плодами составила 0,60%.

Показано (рис. 2), что снижение содержания протопектина в плодах сливы, было неодинаковым в зависимости от применяемых методов хранения. В условиях применения в начале хранения ингибитора синтеза этилена «Фитомаг» в плодах, в конце хранения содержание этого вещества было выше на 1,4% по сравнению с контрольным вариантом.



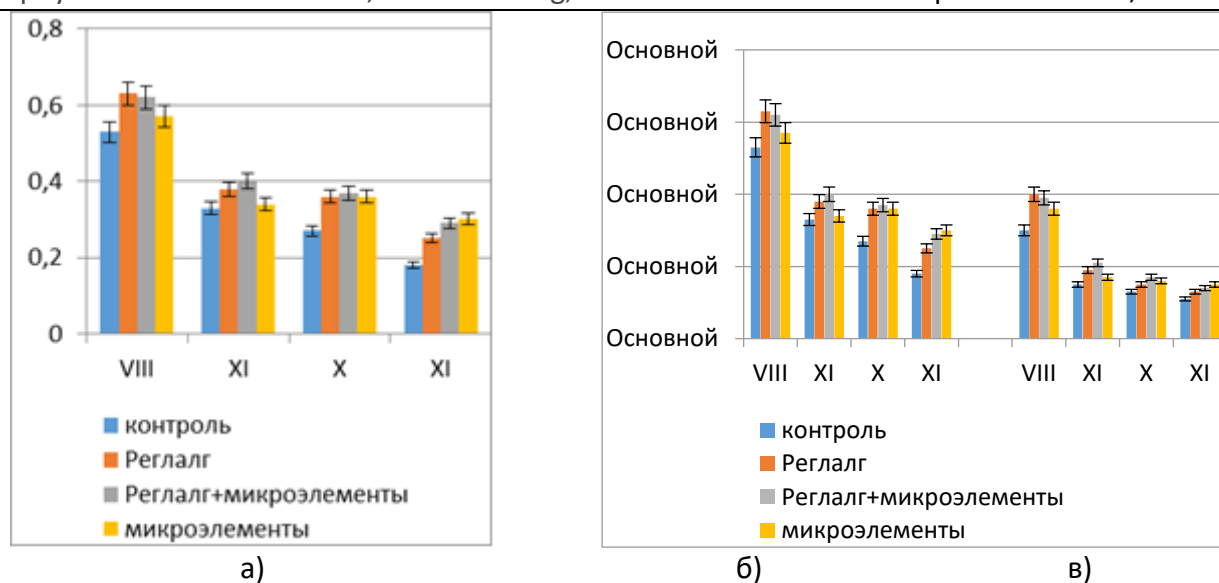


Рис. 1. Изменение содержания пектиновых веществ, гемицеллюлоз и целлюлозы в опытных плодах сливы сорта Стенлей, (а) - пектиновые вещества; (б) –гемицеллюлозы; (в) – целлюлоза, в %

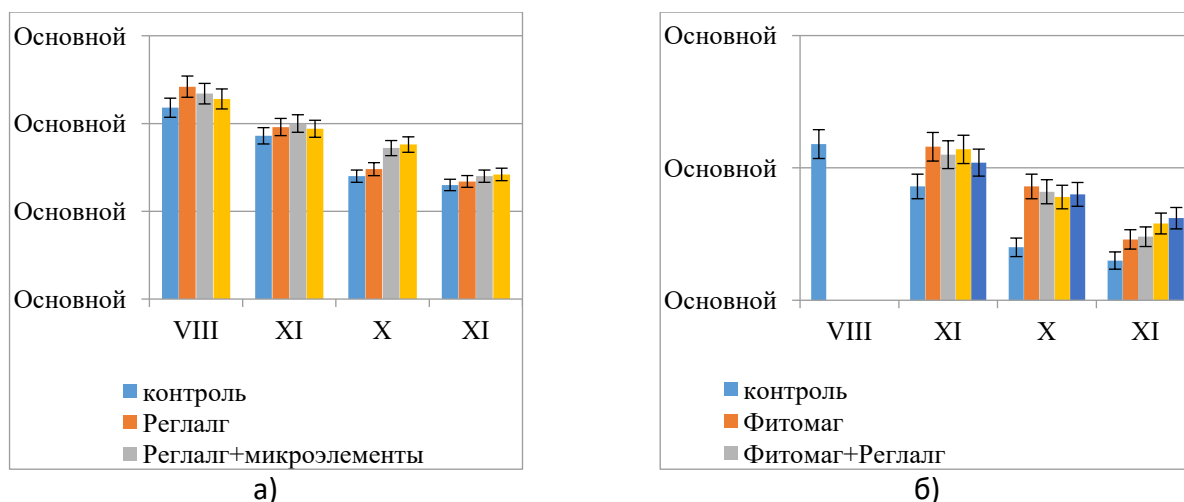


Рис. 2. Влияние ингибитора синтеза этилена «Фитомаг» на изменение содержания пектиновых веществ в плодах сливы сорта Стенлей при длительном хранении, в % (а) – сумма пектиновых веществ; (б) – протопектин

В исследуемых плодах наряду с пектиновыми веществами, снижалось также и количественное содержание гемицеллюлоз и целлюлозы (рис. 3). В меньшей степени этот процесс происходил в плодах, которые были обработаны ингибитором биосинтеза этилена «Фитомаг». Было определено, что в конце хранения в опытных образцах сливы расход гемицеллюлоз сократился на 0,17%, а целлюлозы - 0,10% по сравнению с контрольным вариантом.

Расход пектиновых веществ, гемицеллюлоз и целлюлозы в процессе созревания, наряду с испарением влаги неизбежно сопровождается убылью массы плодов. В таблице 1. представлены результаты изменения естественной убыли массы исследуемых плодов при снятии их с хранения. Выявлено, что потери в результате естественной убыли массы у плодов, обработанных препаратом «Фитомаг» в сочетании с БАВ «Реглалг» и микроэлементами В, Zn, Mn и Мо, снизились на 4,4% по сравнению с контролем.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

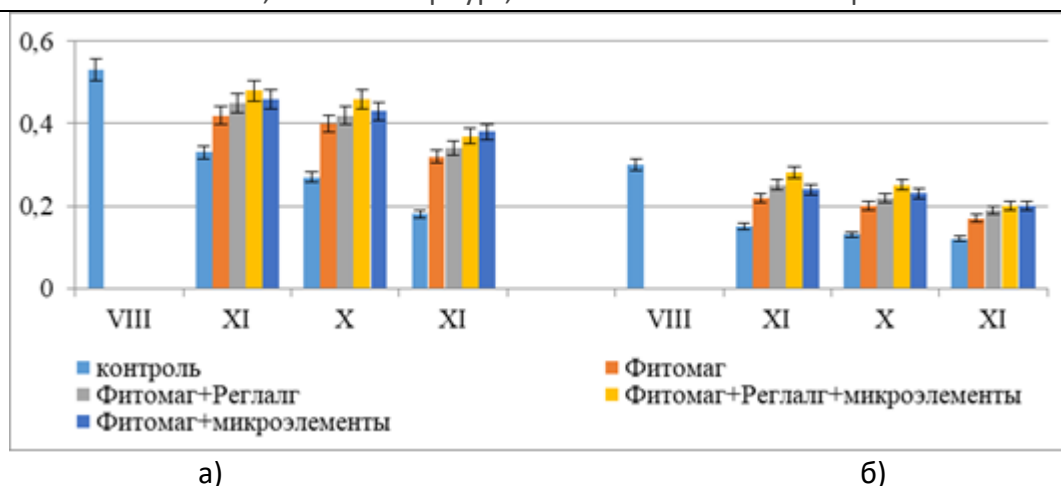


Рис. 3. Изменение содержания гемицеллюлозы и целлюлозы в плодах сливы при хранении под влиянием препарата «Фитомаг». в % (а) – гемицеллюлозы; (б) целлюлоза

Таблица 1. Данные технологических показателей плодов сливы после хранения (период хранения – 103 дня)

Сорт	Метод хранения	Конец хранения	Начало хранения	Конец хранения
		естественная убыль массы, %	твёрдость мякоти, кг/см <sup>2</sup>	стандартный выход продукции, %
Стенлей	Контроль	21,19	3,36	91,46
	«Фитомаг»	18,15	-	98,09
	«Реглалг»	19,08	3,84	97,62
	микроэлементы	20,39	3,56	97,14
	«Реглалг» + микроэлементы	18,81	3,5	97,62
	«Реглалг»+ «Фитомаг»	17,72	-	99,76
	микроэлементы+ «Фитомаг»	18,29	-	99,52
	«Реглалг» + микроэлементы+ «Фитомаг»	16,76	-	100
НСР, 5 %		1,45	-	

Аналогичные результаты были получены в конце хранения плодов при определении стандартного выхода продукции. Опытные плоды сливы в меньшей степени подвергались заражению патогенными микроорганизмами по сравнению с контролем (табл.1). Так, разница между обработанными плодами препаратом «Фитомаг» в сочетании с БАВ «Реглалг» и микроэлементами В, Zn, Mn и Mo по сравнению с контролем составила - 8,54%.

Таким образом, была выявлена степень влияния БАВ «Реглалг», микроэлементов В, Zn, Mn, Mo и ингибитора синтеза этилена «Фитомаг» на изменение качественных показателей исследуемых плодов сливы позднего срока созревания в период длительного хранения.

### Выводы

1. Обработка деревьев позднего сорта Стенлей в период вегетации препаратом «Реглалг» и микроэлементами В, Zn, Mn, Mo способствует лучшему биосинтезу запасных веществ в плодах сливы.

2. Проведенные опыты показали, что под влиянием ингибитора синтеза этилена «Фитомаг» в исследуемых плодах сливы сократился расход изучаемых полисахаридов, а также снизилась естественная убыль их массы.
3. Применение ингибитора синтеза этилена «Фитомаг» способствовало сохранению структурной прочности и твердости тканей у исследуемых плодов сливы при длительном хранении.
4. Плоды сливы, обработанные БАВ «Реглалг», микроэлементами В, Zn, Mn, Mo при хранении под влиянием репарата «Фитомаг», в меньшей степени подвергались заражению патогенными микроорганизмами по сравнению с контролем.

### Список литературы / References

1. Арасимович В.В., Балтага С.В., Пономарева Н.П. Методы анализа пектиновых веществ, гемицеллюлоз и пектолитических ферментов в плодах. Кишинэу: Редакционно-издательский отдел АНМССР, 1970. 85 с.
2. Арасимович В.В. и др. Биохимические методы анализа плодов. Кишинев: Штиинца, 1984. 116 с.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 1979. 416 с. ISBN 1853.
4. Дубровская О.Ю. Биохимический состав плодов сортов и форм сливы и выделение лучших генотипов для селекционного использования и переработки: дис. канд. сельскохозяйственных наук. Мичуринск - Научкоград РФ, 2015. 150 с.
5. Ермаков А.И. и др. Методы биохимического анализа растений. Ленинград: Агропромиздат, 1987. 430 с. ISBN 4256.
6. Журавель А.М., Рапча М.П., Короид А.С., Грицкан С.В., Магер М.К. Слива. Кишинэу 2007, 236с.
7. Убеева С.Г. Влияние современных способов хранения на сохраняемость плодов сливы. автореферат диссертации по технологии продовольственных продуктов, кандидата технических наук, Санкт-Петербург, 1992.
8. Франчук Е.П., Лагова Э.В., Скрипников В. Проведение исследований по хранению плодов, ягод и винограда. Методические указания. Москва, 1983. 76 с.
9. Шаньгина С.М., Патова О.А. Влияние низкотемпературного хранения на полисахариды клеточной стенки сливы домашней *Prunus Domestica*. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru>, 2021.
10. <https://sortoved.ru>, 2021.

### PRESERVATION OF PLUM FRUIT QUALITY INDICATORS DEPENDING ON GROWING CONDITIONS AND STORAGE METHODS USED

V.YU. SVETLICHENKO, A.P. NIKUTSA, I.D. KHAREA, N.S. BUJOREANU

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection (MOKI Federal Law) Moldova, Chisinau, fructele2008-@mail.ru*

**Abstract.** Experiments were carried out on the treatment of Stanley plum trees in the garden with a biologically active substance (BAS) "Reglalg", microelements B, Zn, Mn and Mo. After harvest, the fruits of this variety were stored in two ways: in a normal atmosphere and under the influence of the preparation "Fitomag" (an inhibitor of ethylene synthesis). It was found that the treatment of trees with BAS "Reglalg" and microelements B, Zn, Mn and Mo affects the accumulation of reserve substances in the studied fruits (pectins, hemicellulose, cellulose). Treatment of fruits with the "Fitomag" preparation before storage helps to reduce the consumption of the studied polysaccharides, slows down the process of natural loss of fruit weight, etc.

**Keywords.** plum fruit, storage, pectin substances, hemicellulose, cellulose, microelements, «Fitomag».

## НОВЫЕ ФОРМЫ *RAPHANUS SATIVUS* L. ДЛЯ СВЕТОКУЛЬТУРЫ И ОТКРЫТОГО ГРУНТА

Н.Г. СИНЯВИНА, А.А. КОЧЕТОВ, К.В. ЕГОРОВА, Н.В. КОЧЕРИНА

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),  
Санкт-Петербург, [sinad@inbox.ru](mailto:sinad@inbox.ru)

**Аннотация.** В условиях интенсивной светокультуры проведены генетико-селекционные исследования, направленные на создание новых форм *Raphanus sativus* L. – редиса и гибридов редис x дайкон. Получены высокопродуктивные формы с комплексом хозяйственно ценных признаков, адаптированные к условиям светокультуры. В результате сравнительной оценки полученных образцов в светокультуре и открытом грунте Ленинградской области выявлена их комплексная устойчивость к преждевременному стеблеванию, высокая урожайность и товарность растительной продукции в регулируемых и естественных условиях среды обитания. Показано, что листья и корнеплоды *Raphanus sativus* L., выращенных в светокультуре, имеют более ценный биохимический состав, чем выращенные в открытом грунте.

**Ключевые слова.** Интенсивная светокультура, *Raphanus sativus* L., редис, дайкон, новые формы, урожай, биохимический состав.

### Введение

Интенсивная светокультура находит все большее применение в мире и эффективно используется в современных сооружениях защищенного грунта, являясь неотъемлемым элементом урбанизированного сельскохозяйственного производства. Этот процесс в ближайшие десятилетия, по данным экспертов, будет неуклонно нарастать, что обусловлено более высокой производительностью и эффективностью использования ресурсов (пространства, почвы, воды, по числу урожаев, объему удобрений и т.п.) в светокультуре (в 15-90 раз выше по сравнению с открытым грунтом и в 1,5-10 раз — по сравнению с современными тепличными комплексами защищенного грунта), а также наблюдающейся тенденцией сокращения высокопродуктивных земель вследствие их поглощения растущими мегаполисами и сосредоточения значительных масс населения в городах. Такая ситуация не позволяет обеспечить количественный и качественный спрос на продукты питания с помощью традиционной цепочки производства и поставок продовольствия (Zhang, Kacira, 2020; Smart Plant Factory, 2018; Graamans et al., 2018; Goto, 2012). Наряду с производством растительной продукции, в условиях светокультуры проводится множество физиологических, биохимических и генетико-селекционных исследований различной направленности, что позволяет более быстро внедрять достижения науки в практику. Одним из важных направлений является ускоренная селекция новых сортов (линий, гибридов) растений с определенными заданными характеристиками (Артемьева и др., 2021; Abdul Fiyaz et al., 2020; Ghosh et al. 2018, Watson et al., 2018; Snowden et al., 2016).

Основной интерес для коммерческого выращивания в условиях интенсивной светокультуры представляют короткостебельные растения с ограниченным периодом вегетации (до 1 мес.), что определяется прежде всего экономической эффективностью и рентабельностью производства. В РФ и за рубежом таким способом производят различные виды салата и листовой капусты (до 12 оборотов культуры в год), микрозелень (20 и более вегетаций в год), лекарственные и пряно-ароматические растения, цветочную продукцию, рассаду. В светокультуре также изучают многие важные аспекты роста и развития, генетическое разнообразие различных культур и сортообразцов – особенности онтогенеза, биохимический состав, отзывчивость на технологические приемы (спектральный состав источников света, облученность, состав питательного раствора, применение биостимуляторов и др.), которые могут сильно отличаться от наблюдаемых для тех же образцов в открытом и защищенном грунте (Артемьева и др., 2021; Abdul Fiyaz et al., 2020; Lee et al., 2019; Dong et al., 2015). Поэтому столь актуальными являются научные разработки, направленные на создание новых образцов различных культур для условий

интенсивной светокультуры, где они будут иметь преимущества перед уже имеющимися, предназначенными для традиционных систем земледелия.

**Цель** наших исследований – селекция в светокультуре новых форм короткостебельных растений с коротким периодом вегетации – редиса и гибридов редиса с дайконом, обладающих комплексом хозяйственно ценных признаков, адаптированных к условиям светокультуры, и оценка полученного селекционного материала в контрастных условиях регулируемой агроэкосистемы и открытого грунта Ленинградской области.

#### **Объекты и методы исследования**

Исследования проводились в регулируемых условиях агробиополигона ФГБНУ АФИ (г. Санкт-Петербург) и тестовой площадки, расположенной в Волосовском районе Ленинградской области. Объектами исследований служили редис сортов Виола и Октава, созданные нами сорт Петербургский фиолетовый и линия Петербургский розовый, а также дайкон Петербургский и его гибриды F5 с редисами Виола и Октава. В условиях светокультуры растения выращивали на оригинальном вегетационно-облучательном оборудовании (Панова, 2015) при освещенности 20-25 клк и продолжительности светового периода 12 ч. Температуру поддерживали на уровне 22±4°C днем и 18±2°C ночью. Сухие семена высевали в субстрат – верховой торф с минеральными добавками с толщиной корнеобитаемого слоя 3-4 см. Полив осуществляли ежедневно водой, чередуя с подкормкой раствором Кнопа (3 раза в неделю). Схема посева – 5x10 см для редиса, 12x12 см – для дайкона, 8x10 см – для гибридов F5 редис x дайкон. Уборку растений редиса проводили на 25 сутки от посева; дайкона и гибридов редис x дайкон – на 45 сутки от посева. В открытом грунте растения были посеяны 06.05.2021 г по аналогичной схеме. Повторность опыта в светокультуре и открытом грунте двукратная. Размер оцениваемой выборки составлял 20 растений. При уборке учитывали основные биометрические показатели растений: (Методические указания, 1989), процент товарных корнеплодов, степень опушенности листьев, устойчивость к стеблеванию; анализ биохимических показателей проводили с использованием общепринятых методик (Методы, 1987).

#### **Результаты и обсуждение**

Методика и предварительные результаты исследований по селекции новых форм *Raphanus sativus* L. для условий светокультуры подробно описаны нами в работах (Патент, 2021; Кочетов, Синявина, 2019 а, б). Среди комплекса хозяйственно ценных признаков одним из основных в нашей работе являлся признак «салатный тип листа», позволяющий использовать в пищу целиком все растение, что способствует значительному повышению рентабельности выращивания редиса и его гибридов с дайконом в светокультуре. Во многих публикациях показана высокая пищевая ценность листьев редиса и дайкона, значительно превосходящая таковую для корнеплодов (Kurina et al., 2021; Gamba et al., 2021; Manivannan et al., 2019; Jahangir et al., 2014). В странах Азии молодые нежные листья редьки лобы и дайкона традиционно используются в пищу. Все полученные нами формы *Raphanus sativus* L., как редис, так и гибриды редис x дайкон, характеризуются малоопушенным салатным типом листа. Этот признак хорошо выражен у изучаемых образцов, как в светокультуре, так и в открытом грунте.

Все полученные образцы в этих условиях также характеризовались высокой продуктивностью и обладали еще одним важным признаком, по которому также велся отбор – компактностью листовой розетки, позволяющей выращивать большее число растений на единице полезной площади и тем самым повышающей урожай культуры (Рис. 1, 2). Доля корнеплода (соотношение массы корнеплода к массе целого растения) у отселектированных образцов составляла 60-67%,

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

что является более высоким показателем по сравнению с родительскими сортами (50-58% для редиса и 27-28% для дайкона). Данная закономерность наблюдалась при выращивании образцов как в регулируемых, так и в естественных условиях среды, что свидетельствует о высокой активности работы фотосинтетического аппарата и эффективном перераспределении ассимилятов из надземной части в запасующий орган – корнеплод у созданных нами образцов. Исключение составил гибрид Октава х Петербургский, который в открытом грунте формировал корнеплоды медленнее, чем в светокультуре, но при этом отличался очень высокой устойчивостью к стеблеванию, что делает целесообразным проводить его уборку в более поздние сроки.

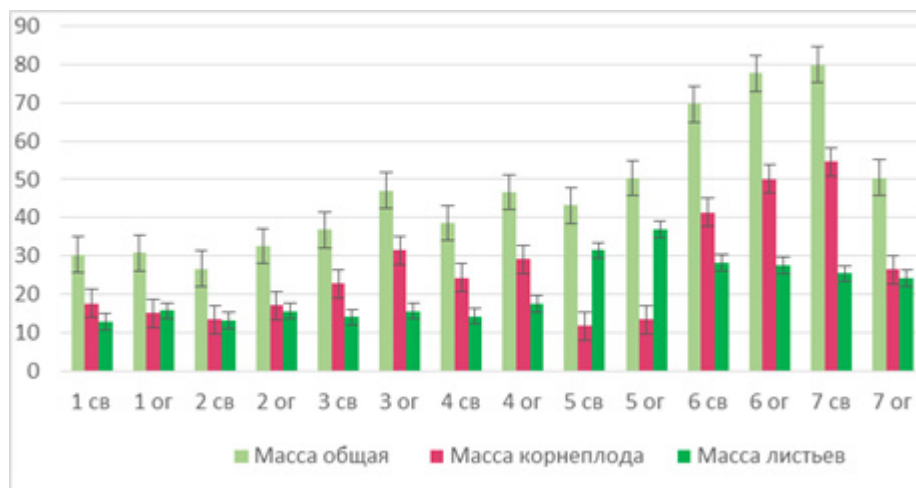


Рис. 1. Масса растений (г) редиса, дайкона и гибридов редис х дайкон в светокультуре (св) и открытом грунте (ог):

1 – редис Виола, 2 – редис Октава, 3 – редис Петербургский фиолетовый, 4 – редис Петербургский розовый, 5 – дайкон Петербургский, 6 – F<sub>5</sub> Виола х Петербургский, 7 – F<sub>5</sub> Октава х Петербургский. Возраст растений при уборке: редис – 25 сут., дайкон и гибриды – 45 сут.

Установлено, что сорт редиса Петербургский фиолетовый и линия Петербургский розовый, а также гибрид F<sub>5</sub> Виола х Петербургский имеют высокую продуктивность как в условиях светокультуры, так и в открытом грунте Ленинградской области, а гибрид F<sub>5</sub> Октава х Петербургский – в условиях светокультуры, формируя урожай 4-4,5 кг товарных корнеплодов/м<sup>2</sup> для редиса и свыше 5 кг/м<sup>2</sup> для гибридов, и обладают высокой устойчивостью к стеблеванию как в светокультуре, так и в условиях действия длинного дня и низких положительных температур, характерных для Северо-Запада. Гибридные формы F<sub>5</sub> Виола х Петербургский и Октава х Петербургский имеют промежуточные между родительскими формами размеры листа и розетки, а также более продолжительный вегетационный период по сравнению с редисом. Однако, по темпам развития они опережают родительский сорт дайкона Петербургский, имеют более ценный биохимический состав, а также высокие вкусовые характеристики корнеплодов и молодых листьев по сравнению с редисом, что делает их перспективными для выращивания в открытом грунте в раннелетний период, когда большинство известных сортов редиса, дайкона и редек не образуют товарных корнеплодов вследствие перехода к преждевременному стеблеванию.

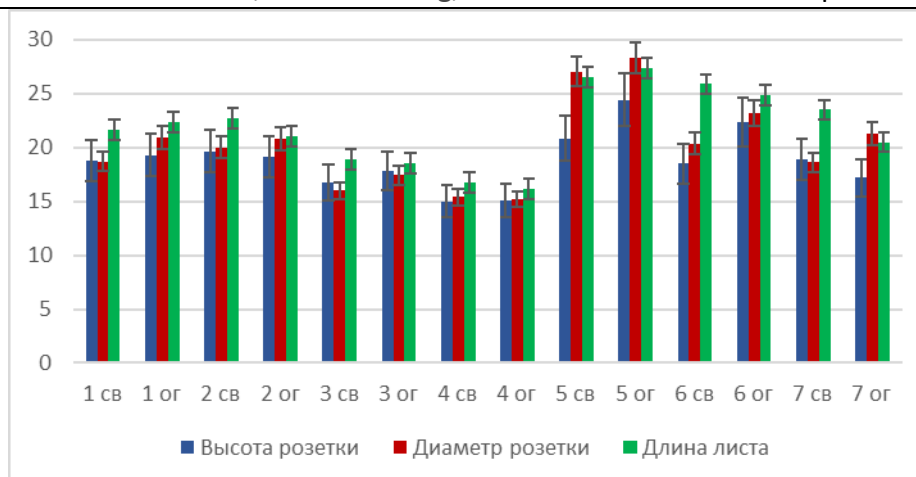


Рис. 2. Параметры листовой розетки (см) редиса, дайкона и гибридов редис x дайкон в светокультуре (св) и открытом грунте (ог). 1 – редис Виола, 2 – редис Октава, 3 – редис Петербургский фиолетовый, 4 – редис Петербургский розовый, 5 – дайкон Петербургский, 6 – F<sub>5</sub> Виола x Петербургский, 7 – F<sub>5</sub> Октава x Петербургский. Возраст растений при уборке: редис – 25 сут., дайкон и гибриды – 45 сут.

Данные биохимического анализа показали достоверно более высокое содержание сухого вещества и аскорбиновой кислоты в листьях всех изученных образцов по сравнению с корнеплодами как в условиях светокультуры, так и в открытом грунте, что соответствует данным других исследователей (Kurina et al., 2021; Gamba et al., 2021; Manivannan et al., 2019; Jahangir et al., 2014). Так, в корнеплодах редиса содержание сухого вещества составляло 5,06-6,07 %, в листьях – 7,19-8,44%, для дайкона – 8,71-9,14 в корнеплодах и 10,15-11,28 % в листьях, для гибридов – 7,43-9,13 в корнеплодах и 10,30-13,31 в листьях с тенденцией к более высоким значениям в открытом грунте. Наблюдалось достоверно более высокое ( $P \leq 0,05$ ) содержание сухого вещества в листьях и корнеплодах дайкона и гибридов по сравнению со всеми образцами редиса. Содержание нитратов во всех образцах было ниже ПДК, с тенденцией к более высоким значениям в светокультуре.

Содержание аскорбиновой кислоты (вит. С) в листьях изученных образцов было в 1,8-4,5 раза выше, чем в корнеплодах, и составляло 45,67-129,62 мг/кг для листьев и 19,72-30,14 мг/кг для корнеплодов. У всех образцов в светокультуре оно было достоверно ( $P \leq 0,05$ ) выше, чем при выращивании в открытом грунте.

Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений также показал достоверное влияние условий выращивания на содержание хлорофилла a, b и каротиноидов. В светокультуре содержание хлорофилла a составляло 81,13-112,29 мг/100 г, хлорофилла b – 22,02-34,41 мг/100 г, каротиноидов – 25,51-37,30 мг/100 г. В открытом грунте эти показатели имели значения 40,90-64,99 мг/100 г, 12,34-21,39 мг/100 г и 13,97-25,15 мг/100 г соответственно. Содержание нефотосинтетических пигментов антоцианов также было выше у растений в светокультуре – 1,86-4,27 мг/100 г, по сравнению с 1,58-2,17 мг/100 г в открытом грунте. Вероятно, причиной более высокого содержания фитохимических соединений в растениях, выращенных в светокультуре, по сравнению с открытым грунтом являются лучшие светотемпературные условия и оптимальный режим минерального питания растений.

## Выводы

Светокультура является эффективным инструментом современной селекции. Ее целенаправленное использование позволяет значительно ускорить процесс создания новых сортов, линий и гибридов сельскохозяйственных культур, позволяя при этом вести селекцию для различных условий и регионов выращивания. Необходимо при подборе родительских пар и отборе в расщепляющихся гибридных популяциях учитывать возможность реализации продукционного потенциала будущего сорта и селектируемых признаков в конкретных условиях, для которых он создается. Это реализуется при моделировании условий региона выращивания или характерных для него стрессовых факторов среды в регулируемых условиях. Применение такого подхода при использовании разработанной нами селекционной методологии за короткий срок – 5 лет – позволило создать высокопродуктивные линии *Raphanus sativus* L. с комплексом хозяйственно ценных признаков (высокие темпы роста корнеплода, устойчивость к стеблеванию, салатный тип листа, компактная листовая розетка). Полученные данные свидетельствуют о высоком потенциале созданных нами новых образцов, как редиса, так и его гибридов с дайконом. Планируется доведение перспективных образцов до сорта и использование их в качестве универсальных – как для светокультуры, так и для открытого грунта.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта SAIA № 123456-78. Авторы выражают признательность Сергееву А.А. за выполнение химических анализов растений.

## Список литературы / References

- Zhang Y., Kacira M. Comparison of energy use efficiency of greenhouse and indoor plant factory system // *European Journal of Horticultural Science*. 2020. Vol. 85(5). P. 310-320. DOI: <https://doi.org/10.17660/eJHS.2020/85.5.2>.
- Smart Plant Factory. Editor Toyoki Kozai. Springer, Singapore. 2018. 456 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-1065-2>.
- Graamans L., Baeza E., Van Den Dobbelsteen A., Tsafaras I., Stanghellini C. Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency // *Agricultural Systems*. 2018. Vol. 160. P. 31-43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.003>.
- Goto E. Plant production in a closed plant factory with artificial lighting // *ISHS Acta Horticulturae 956: VII International Symposium on Light in Horticultural Systems*. 2012. Vol. 956: P. 37–49. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.2>.
- Артемьева А.М., Синявина Н.Г., Панова Г.Г., Чесноков Ю.В. Биологические особенности капустных овощных культур вида *Brassica oleracea* L. при выращивании в интенсивной светокультуре // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 1. С. 103-120. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.103rus>.
- Abdul Fiyaz R., Ajay B.C., Ramya K.T., Aravind Kumar J., Sundaram R.M., Subba Rao L.V. Speed Breeding: Methods and Applications // In: Gosal S., Wani S. (eds) *Accelerated Plant Breeding*. Springer, Cham. 2020. Vol. 1. P. 31-49. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41866-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41866-3_2)– 2020.
- Ghosh S., Watson A., Gonzalez-Navarro O. E., Ramirez-Gonzalez R. H., Yanes L., Hickey L. T. Speed breeding in growth chambers and glasshouses for crop breeding and model plant research // *Nature Protocols*. 2018. Vol.13 (12). P. 2944-2963. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0072-z>.
- Watson A., Ghosh S., Williams M. J., Cuddy W. S., Simmonds J., Rey M. D., Hickey L. T. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. // *Nature Plants*. 2018. Vol.4. P. 23–29. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41477-017-0083-8>.
- Snowden M. C., Cope K. R., Bugbee B. Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: interactions with photon flux // *PLoS One*. 2016. Vol. 11(10). P. e0163121.



- Lee R. J., Bhandari S. R., Lee G., Lee J. G. Optimization of temperature and light, and cultivar selection for the production of high-quality head lettuce in a closed-type plant factory // Horticulture, Environment, and Biotechnology. 2019. Vol. 60(2). P. 207-216. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0118-8>.
- Dong C., Shao L., Fu Y., Wang M., Xie B., Yu J. Liu H. Evaluation of wheat growth, morphological characteristics, biomass yield and quality in Lunar Palace-1, plant factory, green house and field systems // Acta astronautica. 2015. Vol. 111. P. 102-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.02.021>.
- Панова Г. Г., Черноусов И. Н., Удалова О. Р., Александров А. В., Карманов И. В., Аникина Л. М., Якушев В. П. Научно-технические основы круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции при искусственном освещении // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук 2015. № 4. С. 17-21.
- Свекла, репа, турнепс, брюква): Метод. указания / ВАСХНИЛ, ВНИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова [Сост. В. И. Буренин и др.]. Л.: ВИР 1989. 165 с.
- Методы биохимического исследования растений / Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. и др.; под ред. Ермакова А. И. Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. 429 с.
- Авторское свидетельство № 79991 от 25.03.2021. Редис Петербургский фиолетовый.
- Кочетов А. А., Синявина Н. Г. Стратегия создания высокопродуктивных форм редиса, адаптированных для выращивания в светокультуре // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. №. 1. С. 29-33. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019129-33>.
- Кочетов А.А., Синявина Н.Г. Создание новых форм редиса и редьки (*Raphanus sativus* L.) с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков при использовании методологии ускоренной селекции // Картофель и овощи. 2019. № 10. С. 29-34. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.70.54.003>.
- Kurina A.B.; Kornukhin D.L.; Solovyeva A.E.; Artemyeva A.M. Genetic diversity of phenotypic and biochemical traits in VIR radish (*Raphanus sativus* L.) germplasm collection // Plants. 2021. Vol. 10. P. 1799. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10091799>.
- Gamba M., Asllanaj E., Raguindin P. F., Glisic M., Franco O. H., Minder B., Muka T. Nutritional and phytochemical characterization of radish (*Raphanus sativus*): A systematic review // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 113. P. 205-218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.045>.
- Manivannan A., Kim J. H., Kim D. S., Lee E. S., Lee H. E. Deciphering the nutraceutical potential of *Raphanus sativus*—A comprehensive overview // Nutrients. 2019. Vol. 11(2). P. 402. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11020402>.
- Jahangir M., Abdel-Farid I. B., de Vos C. H. R., Jonker H. H., Choi Y. H., Verpoorte R. Metabolomic variation of *Brassica rapa* var. *rapa* (var. *raapstelen*) and *Raphanus sativus* L. at different developmental stages // Pakistan Journal of Botany. 2014. Vol. 46(4). P. 1445-1452.

## **NEW ACCESSIONS OF *RAPHANUS SATIVUS* L. FOR LIGHT CULTURE AND OPEN GROUND**

N. G. SINYAVINA, A. A. KOCHETOV, K. V. EGOROVA, N. V. KOCHERINA

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, [sinad@inbox.ru](mailto:sinad@inbox.ru)

**Abstract.** Under conditions of intensive photoculture, genetic selection studies were carried out to create new accessions of *Raphanus sativus* L. – small radish and small radish x daikon hybrids. Highly productive forms with a complex of economically valuable traits, adapted to the conditions of photoculture, were obtained. A comparative assessment of the obtained samples in photoculture and open ground of the Leningrad region revealed their complex resistance to premature bolting, high yield and marketability of plant products in regulated and natural conditions of the environment. It was shown that the leaves and roots of *Raphanus sativus* L. grown in photoculture have a more valuable biochemical composition than those grown in the open field.

**Keywords.** Intensive light culture, *Raphanus sativus* L., small radish, daikon, new accessions, yield, biochemical composition.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА АГРОФИТОЦЕНОЗОВ РИСА В СВЯЗИ С ИХ СОСТОЯНИЕМ

М.А. СКАЖЕННИК<sup>1</sup>, В.Н. ЧИЖИКОВ<sup>1</sup>, А.Ф. ПЕТРУШИН<sup>2</sup>, Е.Н. КИСЕЛЕВ<sup>3</sup>, Е.П. МИТРОФАНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт риса»;

<sup>2</sup> ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»;

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»

**Аннотация.** Проведены исследования по изучению оптических свойств ценозов сортов риса и их связи с морфофизиологическими признаками растений и урожайностью для мониторинга состояния их посевов. Показано, что величина вегетационного индекса имеет положительную связь с признаками фотосинтетической деятельности растений и их азотным статусом. Получены уравнения линейной регрессии, позволяющее оценить степень связи урожайности с вегетационным индексом NDVI. Установленные связи позволят с большей достоверностью получать информацию о физиологическом состоянии и продукционном процессе посевов риса, используя данные дистанционного зондирования.

**Ключевые слова.** Рис, урожайность, удобрения, агрофитоценоз, фотосинтез, индекс листовой поверхности, вегетационный индекс.

### Введение

Краснодарский край является главным поставщиком риса в России. В 2019 г. объем собранного на Кубани риса составил более 950 тыс. т, т.е. около 80% урожая риса в нашей стране. Отсюда понятна значимость этой культуры для земледелия Кубани, в том числе с позиции продовольственной безопасности страны. С развитием современных технологий дистанционного зондирования, включая использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), существенно возросли возможности оценки состояния сельскохозяйственных посевов на больших площадях при одновременном уменьшении затрат на мониторинг посевов риса (Шеуджен и др., 2019; Якушев, 2016). Реализация подобных технологий вкпе с соответствующими методиками и накоплением массивов экспериментальных наблюдений позволяет повысить качество прогнозирования урожайности посевов риса и снизить затраты на мелиоративные мероприятия.

Цель исследований: изучение продукционного процесса агрофитоценозов риса и разработки методики прогнозирования биопродуктивности растений на основе геоинформационного мониторинга состояния посевов.

### Объекты и методы исследования

Вегетационно-микророльные опыты проводились в бетонных резервуарах площадью 3,6 м<sup>2</sup>, заполненных лугово-черноземной почвой, взятой с рисовых чеков при разном уровне минерального питания: 1 контроль (без удобрений); 1 - N12P6K6 (средний фон); 2 - N24P12K12 (оптимальный фон); 3 -N36P18K18 (высокий фон) г д. в. на м<sup>2</sup>. Исследовали сорта: Рапан (st), Визит, Флагман, (интенсивный тип), Станичный, Соната, Атлант (экстенсивный тип) при густоте всходов – 300 шт./м<sup>2</sup>. Опыт двухфакторный: фактор А – сорт; В – доза удобрений. Фенологические наблюдения за посевами и биометрический анализ растений по количественным признакам, определяющих урожайность зерна, проводятся по методике, принятой во «ФНЦ риса». В течение вегетационного периода выполнялись следующие измерения: сухой и сырой надземной массы посевов, побегов и их отдельных органов, площади листовой поверхности с помощью портативного счетчика площади листьев LI-3000A. На основании этих измерений рассчитывали фотосинтетический потенциал, чистую продуктивность фотосинтеза и интенсивность образования общей фитомассы посева и отдельных органов побега. Донорно-акцепторные отношения изучали по массе побега и его отдельных органов, по числу общих колосков и

выполненных зерен в метелке, по доле (проценту) последних в массе побега и их связи с урожаем зерна и элементами его структуры. Определение индекса NDVI проводилось спектрометром GreenSeeker Handheld Crop Sensor. Экспресс-контроль обеспеченности растений риса азотом определяли прибором «N-tester». Наземный мониторинг состояния посевов проводили на тестовом полигоне ФГБНУ «ВНИИ риса» с использованием мультиспектральной камеры MicaSense RedEdge-MX

Верификация оптико-биологических свойств растений проходила на тестовом полигоне для оптимизации продукционного процесса риса с помощью БПЛА с мультиспектральной камерой.

### **Результаты и обсуждение**

Продукционный процесс — это сложная и интегрированная функция растений. Он включает все этапы их роста и развития, начиная от прорастания семян и заканчивая вновь образованными структурами. Главными этапами этого процесса злаков являются прорастание семян и образование всходов, фотосинтез и корневое питание растений, их рост и развитие, накопление и распределение пластических веществ по органам растения и отложение их в запас в соответствии с генетической программой культуры и сорта (Мокроносов, 1988). О фотосинтетической деятельности посевов исследуемых сортов риса на разных фонах минерального питания судили по индексу листовой поверхности (ИЛП) и чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) в период 8 листьев-полная спелость.

Параметры признаков индекса листовой поверхности (ИЛП) с повышением фона минерального питания возрастали и достигали оптимума на фоне  $N_{24}P_{12}K_{12}$  и избытка на  $N_{36}P_{18}K_{18}$ , а чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) при этом снижалась.

Сортовые различия по величине этих признаков на одном фоне питания были в пределах ошибки опыта. Полученные результаты свидетельствуют о том, что продуктивность фотосинтеза посевов на оптимальном и высоком фонах NPK у интенсивных и экстенсивных сортов определяется приходом энергии ФАР и доступностью  $CO_2$  атмосферы. На среднем фоне удобрений она уменьшается из-за недостатка листовой поверхности посева, поглощающей только часть приходящей энергии ФАР.

Интегральным показателем фотосинтетической деятельности посевов исследуемых сортов риса является величина образования их надземной биомассы на единице площади.

Повышенная интенсивность её образования наблюдается в фазы выхода в трубку, цветения, образования и налива зерновок и в значительной степени зависит от фона минерального питания, определяющего густоту стеблестоя и надземную фитомассу посева.

На недостаточном фоне минерального питания ( $N_{12}P_6K_6$ ) надземная масса у всех сортов была значительно меньше, чем на оптимальном и высоком фонах удобрений ( $N_{24}P_{12}K_{12}$  и  $N_{36}P_{18}K_{18}$ ). Сортовые различия по её величине на  $1\text{ м}^2$  на одном фоне питания были в пределах ошибки опыта.

Важным показателем продуктивности сортов риса разного типа является количество колосков на метелках, на единице площади в фазу цветения и доля их реализации в число зерновок в период созревания. Общее количество колосков в метелках на  $1\text{ м}^2$  интенсивных сортов было значительно больше, чем в экстенсивных. Однако не все колоски оказались фертильными, в интенсивных генотипах их доля составила до 89-87%, а в экстенсивных – 95-93%. Выяснение физиологических причин этих различий представляет большой интерес при изучении особенностей продукционного процесса разных типов сортов риса, определяющих их разную урожайность. Эти причины изучены пока недостаточно. Однако на основании уже полученных нами косвенных данных (Воробьев и др., 2005), можно предполагать, что они связаны с разным

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

обеспечением развивающихся структур метелки исходными метаболитами и при их недостатке уменьшается число колосков и зерен в плодonoсе и при этом доля реализации колосков повышается.

Характер распределения ассимилятов по развивающимся органам побега разных типов сортов риса в период выхода в трубку оказывает значительное влияние на неодинаковое развитие вегетативных и генеративных органов, приводящее к разной доле стеблей и метелок в общей надземной биомассе посева в период цветения.

Для оценки степени развития посевов, обычно используют их вегетационные индексы (Якушев, 2018). Наряду с площадью ассимиляционной поверхности и содержанием хлорофилла в растениях, вегетационный индекс является оптико-биологической характеристикой. В связи с этим встаёт необходимость по выявлению механизмов и закономерностей взаимосвязи этих признаков, что позволит с большей достоверностью получать информацию о физиологическом состоянии и продукционном процессе сельскохозяйственных культур, используя данные дистанционного зондирования.

На оптимальном и высоком фоне минерального питания самая высокая интенсивность образования надземной фитомассы наблюдается у сортов Флагман и Атланта, несколько отличающихся по величине ИЛП посевов от других сортов. Это указывает на то, что в основе высоких темпов образования надземной массы у данных сортов, вероятнее всего связаны с более выгодным расположением листьев в пространстве, занимаемого посевом, а также с повышенной интенсивностью фотосинтеза. Установлена положительная связь между величиной фитомассы в период кущения и вегетационным индексом ( $r = 0,95 \pm 0,07$ ).

На внесение возрастающих доз удобрений посевы риса отзываются, прежде всего, ростом листовой поверхности, обусловленным увеличением размеров листьев у побегов и повышением их числа на единице площади в результате кущения растений. Оптимальный уровень азотного питания растений, увеличивая содержание хлорофилла в листьях и интенсивность фотосинтеза, одновременно повышает и оптимальную величину ИЛП. В нашем опыте растения риса не достигли своей оптимальной величины ИЛП из-за возраста растений (6 листьев), но ИЛП имеет тесную связь с вегетационным индексом  $r = 0,90 \pm 0,09$ ,  $r^2 = 0,84$ .

Одним из важных жизнеобеспечивающих факторов внешней среды для сортов риса является оптимальное обеспечение их посевов азотом в онтогенезе, о котором можно судить по содержанию этого элемента в надземной массе. На фоне  $N_{24}P_{12}K_{12}$  концентрация азота в растениях была в пределах оптимума (Воробьев и др., 2005). Полученные данные согласуются с показаниями N-тестера, определяющего интенсивность окраски листьев в период вегетации растений и его данные тесно связаны с величинами ИЛП и фиомассой.

Значения вегетационного индекса, полученные с помощью спектрометра GreenSeeker варьировали от 0,18 до 0,77 единиц в зависимости от фона минерального питания и имели положительную связь с признаками фотосинтетической деятельности растений и их азотным статусом. Полученные уравнения линейной регрессии, для каждого сорта, позволяют оценить степень связи урожайности с вегетационным индексом NDVI (таблица 1).

Оптимальная величина вегетационного индекса находится в диапазоне 0,68-0,76 единиц и соответствует содержанию азота в надземной массе в пределах 3,97-4,41 %. Эти величины NDVI и содержания азота следует считать оптимальными для начальной фазы кущения риса, когда развиваются боковые продуктивные побеги, и использовать их в растительной диагностике азотного питания растений в начале их кущения.

Таблица 1. Уравнения зависимости урожайности сортов риса от NDVI

Сорт	Уравнение	R <sup>2</sup>	p-value
Рапан	Prod* = 1,3536 NDVI** + 0,1854	0,8870	0,05822
Визит	Prod = 1,0638 NDVI + 0,2750	0,8750	0,06460
Флагман	Prod = 1,35389 NDVI + 0,0259	0,9217	0,03994
Станичный	Prod = 0,91099 NDVI + 0,2615	0,9663	0,01700
Соната	Prod = 0,8989 NDVI + 0,3087	0,7760	0,11910
Атлант	Prod = 0,6861 NDVI + 0,3689	0,8263	0,09100
	Регрессия по сортам		
–	Prod = 1,07886NDVI + 0,2377	0,7526	4.07e-08

\*Prod – урожайность сортов риса; \*\*NDVI – значение вегетационного индекса

Кроме того, проведена верификация оптико-биологических свойств растений на тестовом поле № 7 (площадь 13,75 га, ОПУ «ФНЦ риса») для оптимизации продукционного процесса риса с использованием мультиспектральной камеры и спутниковых снимков. Предварительно растровые данные по вегетационному индексу и урожайности были совмещены в единой таблице, где каждая строка содержит информацию о географических координатах текущего пиксела, значения вегетационного индекса NDVI (3 срока) по данным наземной съёмки, спутника Sentinel и информация об урожайности. Гистограммы, отражающие пространственные распределения вегетационного индекса и урожайности на тестовом поле № 7 приведены на рисунке 1.

Из краткого обзора вида частотного распределения переменных можно сделать следующие предварительные выводы. На поле № 7 (сорт Фаворит) гистограммы, отражающие распределение вегетационного индекса по данным съёмки с БПЛА и спутника Sentinel-2A в близкие даты в начале июня, объединяет их многомодальность. Последнее свойство, обнаруженное на независимых данных, может свидетельствовать о наличии некоторых специфических микромасштабных факторов, определяющих пространственное распределение посевов риса внутри поля в июне. В конце августа характер распределения NDVI меняется, что подтверждается и данными измерений: гистограмма становится близкой к унимодальной, при этом ей присуща некоторая отрицательная асимметрия (левая сторона вытянута). Наши ожидания близости форм гистограмм, отражающих распределение NDVI и урожайности, подтвердились. Анализ корреляционной матрицы переменных NDVI показал статистически среднюю связность пространственных распределений исследуемых переменных. Апробацию экспериментальной методики мониторинга посевов в 2019 г., опирающейся на средства дистанционного зондирования тестовых участков, набор исходных пространственных данных, средства геоинформационного моделирования и статистический аппарат, следует, на наш взгляд, признать удовлетворительной. Полученные результаты позволяют совершенствовать методику мониторинга состояния посевов риса для прогноза биопродуктивности растений.

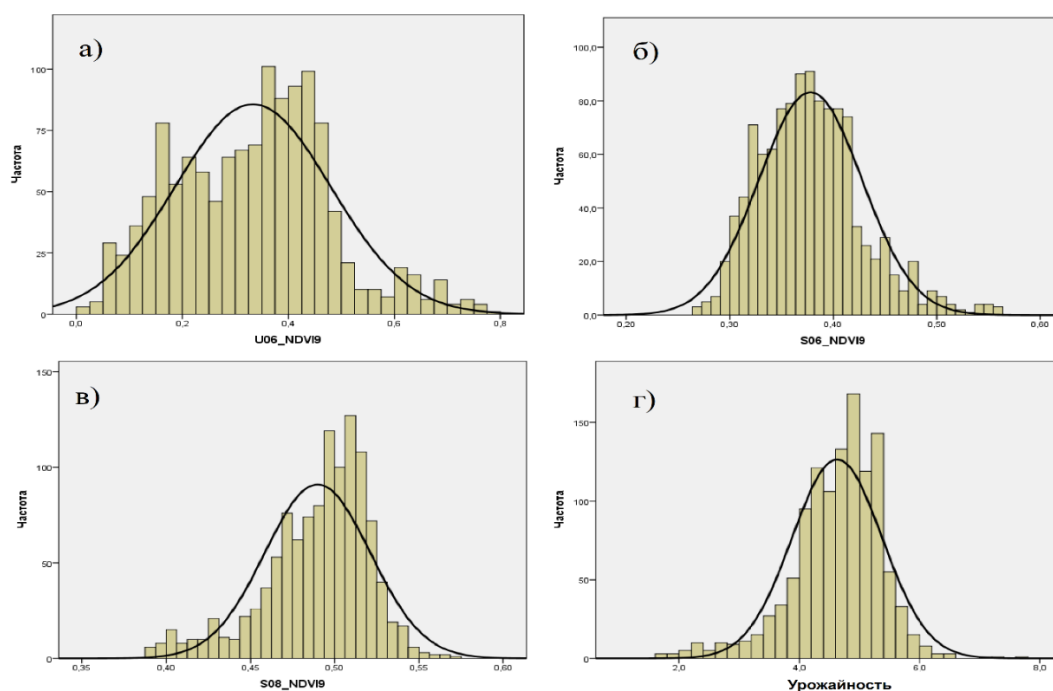


Рис. 1. Гистограммы распределения вегетационного индекса NDVI по полю №7: а) мультимпектр, наземный (06.06.2019), б) спутник Sentinel-2A (05.06.2019), в) спутник Sentinel-2A (29.08.2019) и г) данные картирования урожайности (14.09.2019).

## Выводы

Оптико-биологическая диагностика, как и морфо-биометрическая в сочетании с химической позволяет ответить на вопрос о том, как формируется урожай в зависимости от уровня азотного питания растений, установить недостаток или избыток азота на отдельных этапах онтогенеза, на основе чего разработать наиболее рациональную схему внесения азотных удобрений под рис. Таким образом, полученные уравнения регрессии позволяют создать методику прогнозирования урожая риса на основе оптических характеристик растений.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-416-230021.

## Список литературы / References

- Воробьев Н.В., Скаженник М.А. Физиологические основы минерального питания риса. Краснодар, 2005. 194 с.
- Мокроносов А.Т. Взаимосвязь фотосинтеза и функций роста // Фотосинтез и продукционный процесс. М.: Наука, 1988. С. 109-121.
- Шеуджен, А.Х. Агрохимический сервис: учебное пособие. Краснодар: КубГАУ, 2019. 21 с.
- Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. 364 с.
- Якушев В.П. Дистанционные методы и средства в информационном обеспечении точного земледелии: состояние и перспективы. Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве: материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием. Санкт-Петербург. 26-28 сентября 2018. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. С. 3-11. DOI: 10/25695/agrophisica.2018.2.18484.

**RESEARCH OF THE PRODUCTION PROCESS OF RICE AGROPHYTOCENOSSES IN CONNECTION WITH THEIR CONDITION**

M.A. SKAZHENNIK<sup>1</sup>, V.N. CHIZHIKOV<sup>1</sup>, A.F. PETRUSHIN<sup>2</sup>, E.N. KISELEV<sup>3</sup>, E.P. MITROFANOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *FGBNU «All-Russian Rice Research Institute»*

<sup>2</sup> *FGBNU «Agrophysical Research Institute»*

<sup>3</sup> *FSBEI of HE «Kuban State University»*

**Abstract.** Studies have been carried out to study the optical properties of cenosis varieties and their relationship with the morphophysiological characteristics of plants and productivity to monitor the status of their crops. It was shown that the value of the vegetation index has a positive relationship with the signs of photosynthetic activity of plants and their nitrogen status. Equations of linear regression are obtained, which allows one to estimate the degree of connection between productivity and the vegetation index NDVI. The established relationships will make it possible to more reliably obtain information on the physiological state and production process of rice crops using remote sensing data.

**Keywords:** rice, yield, fertilization, plant photosynthesis, leaf surface index, vegetation index.

## ОСОБЕННОСТИ ЛИСТОВОГО АППАРАТА ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПРЕПАРАТОМ РЕГЛАЛГ С МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ

Н.В. ТИТОВА

*Институт генетики, физиологии и защиты растений, Министерство образования, культуры и исследований Республики Молдова*

**Аннотация.** Выявлены особенности ростовых процессов растений поздних сортов груши и сливы при обработке смесью биологически активного соединения Реглалг с микроэлементами. Такая обработка стимулирует развитие листовой поверхности и структуры листа, а также является важным и перспективным способом в повышении фотосинтетической продуктивности плодовых растений.

**Ключевые слова.** Сорта груши и сливы, Реглалг, микроэлементы, рост и чистая продуктивность листьев.

### Введение

В исследованиях по фотосинтезу и продукционному процессу особое внимание уделяется экзогенной регуляции фотосинтетической активности растений. Регуляция фотосинтеза с помощью микроэлементов является одним из важных путей достижения высокой продуктивности растений. В литературе накоплено много информации о влиянии микроэлементов на рост, метаболизм и фотосинтетическую деятельность однолетних растений и меньше по плодовым культурам. Нами проведено многолетнее изучение особенностей роста и фотосинтеза подвойных сеянцев и привитых на них саженцев персика при действии микроэлементов (Titova, Shishkanu, 1989). Такие исследования явились важными для Молдовы, поскольку её почвы, как правило, имеют очень низкое содержание ряда микроэлементов (Тома, 1973).

Ранее было исследовано влияние ряда микроэлементов на фотосинтез, продуктивность и устойчивость к засухе плодовых растений (Vujoreanu et. alt., 2008; Шишкану и др., 2011). В последние годы было изучено влияние натуральных биорегуляторов на жизнеспособность плодовых растений, процессы роста и фотосинтетической продуктивности (Титова и др., 2016). Задачей представленной работы являлось изучение действия натурального препарата Реглалг, выделенного из биомассы водоросли рода *Spirogira*, смесью солей микроэлементов (борная кислота, цинк серноокислый, марганец серноокислый, молибден серноокислый) и смесью Реглалга с микроэлементами на рост и фотосинтетическую продуктивность плодовых растений.

### Объекты и методы исследования

Исследования проводили в 2018-2019 г.г. с 3-4 летними растениями поздних сортов Груши Ноябрьская и Сокровище в контролируемых условиях лизиметров Института Генетики, Физиологии и Защиты Растений, а также в 2020 году в саду Института Плодоводства и Пищевых Технологий с плодоносящими деревьями поздних местных (Удлиненная и Супепрезидент) и интродуцированных (Стенлей и Президент) сортов сливы.

После цветения и в период интенсивного роста исследуемые растения были обработаны 0,05% водным раствором биопрепарата Реглалг, 0,1% раствором смеси солей микроэлементов (борная кислота, цинк серноокислый, марганец серноокислый, молибден серноокислый) и смесью Реглалга с комплексом микроэлементов, контроль - растения, опрыснутые водой.

В течение вегетации изучали параметры листовой поверхности, площадь и накопление биомассы листьями, фотосинтетический потенциал и продукционные процессы (Ничипорович, 1982). Полученные данные обработаны статистически в программе EXCEL.



### Результаты и обсуждение

Знание особенностей роста и фотосинтеза у разных сортов плодовых культур необходимо для выбора путей оптимизации их фотосинтетической деятельности. Изучение этих процессов у растений груши показало, что одним из таких направлений является применение биологически активных соединений Вербаскозида и Реглалг как важных и перспективных в повышении фотосинтетической продуктивности груши (Титова и др., 2019).

Исследование действия Реглалга было продолжено с молодыми растениями груши в контролируемых условиях вегетационного домика Института. Сравнивали варианты Реглалг, смесь микроэлементов Zn, Mn, B, Mo, а также Реглалг в комплексе с микроэлементами. Уже через 2 недели после обработки в период интенсивного роста побегов и листовой поверхности проявляется значительное влияние БАВ Реглалг, микроэлементов и их смеси с Реглалгом на массу и площадь листьев изучаемых сортов груши. У сорта Ноябрьская обработка Реглалгом и микроэлементами увеличивала массу листа в среднем на 10 – 12% к контролю и у сорта Сокровище на 13%, тогда как другие опытные растения были выше контроля на 5-7%.

По площади и по удельной поверхностной плотности листа (УППЛ), в значительной степени отражающей структуру листа, все опытные растения, как правило, превышали контроль (табл.1). У обоих сортов груши Реглалг и его смесь с микроэлементами повышают площадь листа с начала и в течение всей вегетации на 11 -13% в сравнении с контролем.

Таблица 1. Влияние биопрепарата Реглалг и микроэлементов на сухую массу (г), площадь (дм<sup>2</sup>) и удельную поверхностную плотность листа (мг сухой массы листа·см<sup>-2</sup>) растений груши, средняя величина за вегетационный период 2018 года.

Показатели	Масса листа	Площадь листа	УППЛ
с. Ноябрьская			
Контроль	0.372 ± 0,019	30,56 ± 1,53	11,07 ± 0,55
Реглалг	0,418 ± 0,021	34,08 ± 1,70	12,16 ± 0,61
Реглалг+ микроэлементы	0,420 ± 0,023	34,86 ± 1,74	13,07 ± 0,66
Микроэлементы	0,411 ± 0,021	31,90 ± 1,59	11,72 ± 0,58
с. Сокровище			
Показатели	Масса листа	Площадь листа	УППЛ
Контроль	0,385 ± 0,020	31,16 ± 1,56	10,76 ± 0,53
Реглалг	0,412 ± 0,022	33,52 ± 1,67	11,80 ± 0,59
Реглалг+ микроэлементы	0,435 ± 0,023	33,94 ± 1,69	12,59 ± 0,63
Микроэлементы	0,406 ± 0,020	32,84 ± 1,65	11,53 ± 0,53

Результирующим показателем действия БАВ на фотосинтетическую деятельность плодовых растений является расчет чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) листьев, тесно коррелирующей с урожайностью (Устищенко и др., 1083). Наряду со стимулированием роста и улучшением других характеристик фотосинтетического аппарата применение Реглалга в смеси с микроэлементами способствует оптимизации фотосинтетической продуктивности растений груши. К примеру, у сорта Ноябрьская за период с 13 июня по 4 июля накопление сухой массы листа в расчете на 1 дм<sup>2</sup> в сутки в контроле составляло 3,6 и в варианте со смесью Реглалга с микроэлементами 10,89 мг. У сорта Сокровище эти значения составляли 4,08 и 9,79 мг.

В 2019 году продолжили работу в контролируемых условиях выращивания в лизиметрах с сортом Ноябрьская. Обработка растений смесью Реглалга с микроэлементами стимулировала нарастание массы и площади листа на 13-14% от контроля, что способствовало повышению чистой продуктивности растений. ЧПФ листьев при обработке Реглалгом и смесью Реглалга с

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

микроэлементами повышается в течение вегетационного периода, но её значения меняются в зависимости от состояния растений, погодных условий и сроков обработки. В период с 25 июня по 23 июля (рост и начало созревания плодов) накопление сухой массы листьями было максимальным. За сутки эта величина составляла в контроле 4,68 мг, в варианте с Реглалгом 6,18 и у растений, обработанных смесью Реглалга с микроэлементами 6,57 мг. Это соответствовало такому же повышению ЧПФ у опытных растений.

Выявлена высокая отзывчивость плодоносящих растений сливы на действие натурального биорегулятора Реглалг в сочетании с микроэлементами В, Zn, Mn, Mo. Влияние такой обработки наиболее выражено в период интенсивного роста побегов и листовой поверхности в июне и начала роста плодов в июле – августе.

Сезонная динамика роста листьев, их длина и диаметр и соответственно площадь, а также масса листа были близкими у контрольных и опытных растений всех сортов сливы. В течение вегетации идет нарастание массы и площади листьев с мая по июль. Обработка Реглалгом совместно с микроэлементами, несмотря на колебания значений в разные сроки вегетации, увеличивала массу листа у всех растений в среднем на 13-14% к контролю и максимально у сорта Суперпрезидент - на 17% (рис. 1).

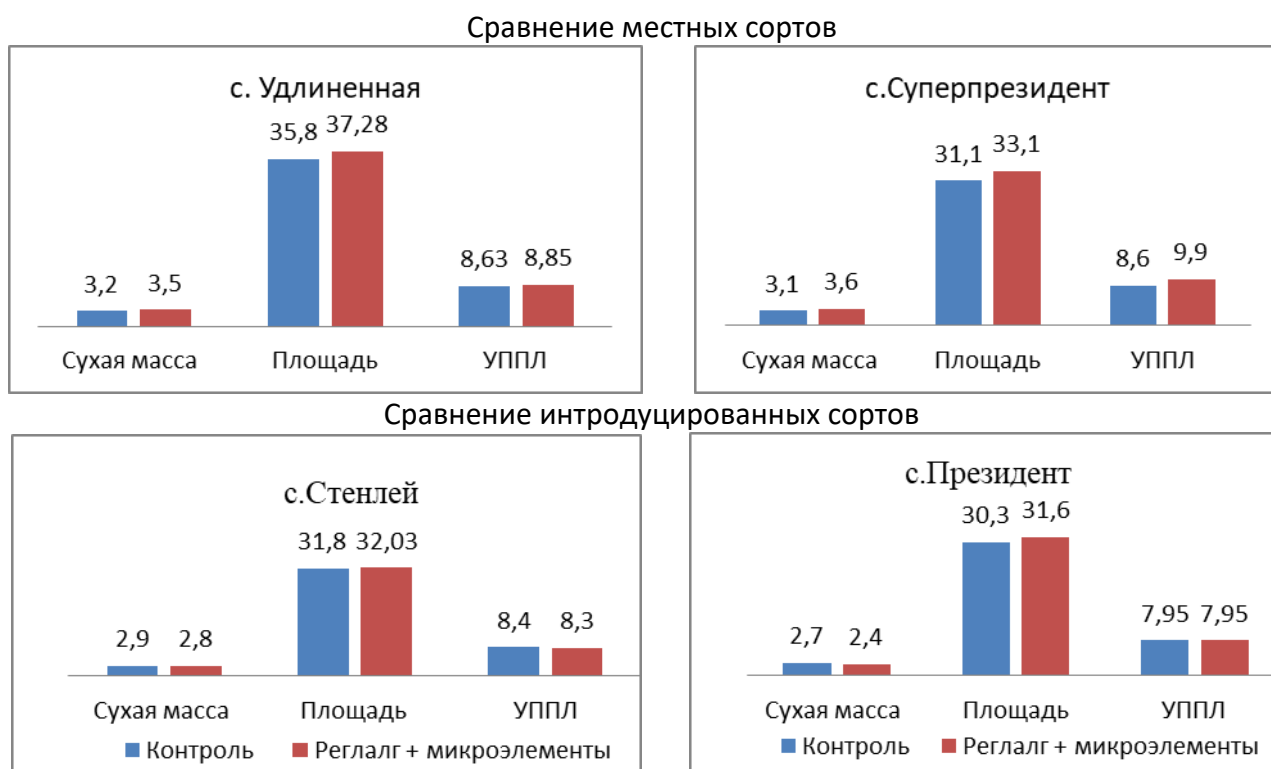


Рис. 1. Влияние биопрепарата Реглалг и микроэлементов на сухую массу (г), площадь (дм<sup>2</sup>) и удельная поверхностная площадь листа (мг сухой массы листа·см<sup>-2</sup>) растений сливы

Несмотря на засушливый период вегетации различия между вариантами были существенными во все сроки определений. Этому способствовала практически одинаковая влажность листьев у исследуемых растений в опыте и в контроле. По средним значениям массы листа за вегетацию местные сорта Удлиненная и Суперпрезидент превосходили импортные сорта: Стенлей на 20% и Президент на 30%. Здесь наиболее четко проявляются генотипические особенности исследуемых сортов сливы.

Динамика площади листовой поверхности коррелирует с массой и показывает преимущество опытных деревьев над контролем примерно в том же соотношении, что и сухая масса листа. Обработка растений сливы биопрепаратом Реглалг совместно со смесью микроэлементов повышает площадь листа с начала и в течение всей вегетации на 9 -10% в сравнении с контролем. В основном преимущество местных сортов Удлиненная и Суперпрезидент над интродуцированными сортами проявлялось и по величине листовой поверхности: на 10-15% и 6-7% соответственно.

### **Выводы**

На основе комплексного исследования роста и развития фотосинтетического аппарата поздних сортов груши и сливы (биомасса, площадь и удельная поверхностная плотность листьев; чистая продуктивность фотосинтеза) выявлено, что использование биологически активного препарата Реглалг и смеси Реглалга с микроэлементами В, Zn, Mn, Mo в важные фазы вегетации (интенсивный рост и развитие побегов и листьев в мае, а также в начале роста плодов в июне) являются наиболее оптимальными для продукционных процессов плодовых растений. Полученные результаты представляют интерес для оценки состояния плодовых насаждений и разработки способов оптимизации продукционного процесса деревьев груши и сливы.

### **Список литературы / References**

- Titova N., Şişcanu Gh. Microelements as photosynthesis regulation in peach trees //Abstr.XIth Int. Photosynthesis Congres. Budapest,1998, p.3777-3780.
- Тома С.И. Микроэлементы в полеводстве Молдавии. Кишинев, «Штиинца», 1973, 199 с.
- Vujoreanu N., Ralea T., Marinescu M., Harea I. Influenţa microelemente asupra rezistenţei mărilor la calamităţile naturale // Mater. conf. naţ. cu participare intern. «Probleme actuale ale geneticeii, fiziologiei şi ameliorării plantelor», Chişinău, 2008, p.279-285.
- Шишкану Г.В., Титова Н.В., Малина Р.Б., Воронцов В.А. CO<sub>2</sub> - газообмен и продуктивность растений абрикоса и персика в зависимости от действия стероидного гликозида Молдстим и микроэлементов цинк и марганец. În Studia Universitatis, s. Ştiinţe reale şi ale naturii, USM, Chişinău, 2011, nr.1(41), p.97-102.
- Титова Н.В., Бужоряну Н.С., Скурту Г.И., Мащенко Н.Е. Особенности фотосинтеза растений груши при действии натуральных биологически активных соединений // Mater. confer. şt. «Biodiversitatea în contextul schimbărilor climatice», Chişinău,2016. С.359-364. ISBN 978 -9975-108-02
- Ничипорович А.А., Строгонова Л.Е., Чмора С.Н., Власова М.Л. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. М.: АН СССР, 1961, 133с.
- Титова Н.В., Русу М. М., Бужоряну Н.С., Скурту Г.И. Физиологические особенности растений груши при действии натуральных биорегуляторов // Матер. II межд. н. конфер. «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего», посвященной памяти Е.И.Ермакова, Санкт-Петербург,02-04 октября 2019 г., с. 432-439.
- Устименко Г.В., Васильева В.Н. Корреляционные связи между продуктивностью и показателями фотосинтетической деятельности интродуцированных форм вигны. // Сельскохозяйственная биология, 1983, № 3, с.84-87.

**FEATURES OF THE LEAF APPARATUS OF FRUIT PLANTS WHEN TREATED WITH RAGLALG WITH  
MICROELEMENTS**

N.V. TITOVA

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Ministry of Education, Culture and Researches,  
Republic of Moldova*

**Abstract.** The features of the growth processes of plants of late varieties of pears and plums when treated with a mixture of biologically active compound Raglalg with microelements are revealed. This treatment stimulates the development of the leaf surface and leaf structure, and is also an important and promising way to increase the photosynthetic productivity of fruit plants.

**Keywords.** Pear and plum varieties, Reglalg, microelements, growth and net productivity of leaves

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЕНОВ РЕГУЛЯЦИИ СИНТЕЗА КАРОТИНОИДОВ У *ARABIDOPSIS THALIANA*, *BRASSICA RAPA* И *B. OLERACEA***

Д.А. ФАТЕЕВ, А.М. АРТЕМЬЕВА

ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** На основе данных об известных последовательностях генов модельного растения *A.thaliana*, участвующих в биосинтезе каротиноидов, был проведен сравнительный анализ последовательностей *Brassica rapa* – репа и *B. oleracea* – капуста огородная, для поиска идентичных последовательностей, так как несмотря на многочисленные исследования биосинтеза каротиноидов у арабидопсиса, информации о пути каротиноидов у *B. rapa* и *B.oleracea* недостаточно. Анализ последовательностей позволит лучше понять путь биосинтеза каротиноидов у этих культур. В результате нашего анализа для 47 генов, вовлеченных в синтез каротиноидов у арабидопсиса, найдены 66 ортологов у *B.rapa* и *B.oleracea*. Наибольшая идентичность с генами биосинтеза каротиноидов арабидопсиса была установлена у *B.oleracea* (71,53-95,12%), в то время как у *B.rapa* – 62,46-93,86%. Два гена арабидопсиса не имели ортологов у видов *Brassica*: гены геранилгеранилпирофосфатсинтазы GGPS6 и GGPS11, а также у *B.rapa* отсутствовал ортолог гена лютеина LUT1, а у *B.oleracea* – гена LUT5. Выявлено высокое сходство между положением последовательностей на группах сцепления у двух видов *Brassica*. В основном группы сцепления, на которых расположены соответствующие гены каротиноидного пути, и позиции 41 гена совпадают у двух видов. Основные различия связаны с расположением последовательностей на десятой группе сцепления репы, которой нет у капусты.

**Ключевые слова.** Гены каротиноидного пути, *Arabidopsis thaliana*, *Brassica rapa*, *B.oleracea*.

**Введение**

Важнейшим компонентом здорового образа жизни человека является высокое качество пищи, в том числе с точки зрения системы функционального питания. Необходимы соединения с высокой биологической антиоксидантной активностью, к которым относятся растительные пигменты.

Каротиноиды – это природные изопреноидные желтые, оранжевые, красные пигменты, синтезируемые всеми фотосинтезирующими организмами. Известно, что растения рода капуста *Brassica* L. содержат относительно высокое количество каротиноидов, коррелирующее с содержанием хлорофиллов. Для успешной селекции экономически важных овощных и масличных видов *Brassica*, прежде всего репы *B. rapa* L., капусты *B. oleracea* L., рапса *B. napus* L. необходимы знания о закономерностях и генетическом контроле накопления биологически активных веществ (БАВ). Путь биосинтеза и участвующие в нем ферменты хорошо изучены у модельного растения *Arabidopsis thaliana* (семейство Brassicaceae). Представляется важным сравнить гены регуляции синтеза каротиноидов модельного объекта и родственных видов капустных, с учетом их диверсификации с арабидопсисом более 17 млн. лет назад.

**Объекты и методы исследования**

База данных Ensembl Plants *Brassica rapa* L., *B. oleracea* L., *Arabidopsis thaliana*.

**Результаты и обсуждение**

Особенности генетического контроля биосинтеза каротиноидов у видов *B.rapa* – репа и *B.oleracea* – капуста огородная являются предметом исследований в последние годы. Китайскими учеными было идентифицировано 67 генов синтеза каротиноидов у *B. rapa* (геном A, n=10), которые были ортологами 47 генов каротиноидов у *A. thaliana* с высоким уровнем синтении. 46 из них были успешно картированы в 10 хромосомах *B. rapa*, и большинство генов сохранило более одной копии у *B. rapa*. Установлено, что многокопийность генов была вызвана трипликацией генома (Lin и др., 2015).

Функциональная характеристика гена каротиноид-изомеразы *VoacRTISO* для биосинтеза и регуляции каротиноидов показана для *B.oleracea* (геном С, n=9) с использованием китайской брокколи (Jiang и др., 2021).

В базе данных Ensembl Plants нами был проведен поиск 47 известных генов, участвующих в биосинтезе каротиноидов *A. thaliana*, включающих 21 ген, участвовавший в метилэритритолфосфатном пути (MEP-пути) биосинтеза изопреноидов, и 26 генов, кодирующих ферменты биосинтеза каротиноидов.

В результате нашего анализа выявлено, что для 47 генов, вовлеченных в синтез каротиноидов у арабидопсиса, найдены 66 ортологов у *B.rapa* и *B.oleracea*. При этом в первой группе сцепления *B.rapa* расположены 11 генов, во второй группе – четыре, в третьей – 13 генов, в четвертой – четыре, в пятой – пять, в шестой и седьмой – по четыре гена, в восьмой – семь, в девятой – десять, в десятой – четыре гена. Идентичность генов, участвующих в пути биосинтеза каротиноидов *B.rapa* генам арабидопсиса варьировала от 62,46 % до 93,86%. Наибольшей идентичностью обладали гены биосинтеза 1-дезоксид-Д-ксилоулозо-5-фосфат синтазы (DXS), фитоен-десатуразы (PDS) и каротиноид-изомеразы (CRTISO). Наименьшей идентичностью – гены ксантоксиноксигеназы (ABA2) и неоксантинсинтазы (NSY). Таким образом, гены синтеза каротиноидов распределены по геному репы неравномерно, и большинство генов расположены в первой, третьей, восьмой и девятой группах сцепления. Ортологов генов лютеина (LUT1) и геранилгеранилпирофосфатсинтаза (GGPS6 и GGPS11) не удалось идентифицировать у *B.rapa*.

В геноме *B.oleracea* по группам сцепления гены, контролирующие каротиноидный путь, распределены следующим образом: в первой группе девять генов, во второй – пять, в третьей – 16, в четвертой – пять, в пятой – девять, в шестой – три, в седьмой – шесть генов, в восьмой – три, в девятой – десять. То есть наибольшее количество генов синтеза каротиноидных пигментов у капусты локализованы в первой, третьей, пятой и девятой группах сцепления, и гены первой, третьей и девятой групп сцепления вносят наибольший вклад в накопление пигментов у обоих видов *Brassica*. Идентичность генов, участвующих в пути биосинтеза каротиноидов *B.oleracea* генам арабидопсиса варьировала от 71,53 до 95,12%. Наибольшей идентичностью, как и у *B.rapa*, обладали гены биосинтеза 1-дезоксид-Д-ксилоулозо-5-фосфат синтазы (DXS) и каротиноид-изомеразы (CRTISO2). Можно предположить, что эти участки ДНК наиболее консервативны у изученных видов. Наименьшей идентичностью выделились гены геранилгеранилпирофосфатсинтазы (GGPS10) и неоксантинсинтазы (NSY). Ортологов генов лютеина (LUT5) и геранилгеранилпирофосфатсинтаза (GGPS6 и GGPS11) не удалось идентифицировать у *B.oleracea*.

При сравнении генов каротиноидного пути *B.rapa* и *B.oleracea* установлено, что позиции 41 гена совпадают у двух видов *Brassica*, а идентичность их находится в пределах от 90 до 95%. В результате формирования генома А из полностью сформированного генома С и эволюционной трипликации генома часть генов из девятой группы сцепления *B.oleracea* переместились в десятую группу сцепления *B.rapa*.

## Выводы

Наибольшая идентичность генов биосинтеза каротиноидов арабидопсиса установлена у *B.oleracea*, хотя три гена арабидопсиса не имели ортологов у капусты.

Выявлено высокое сходство между положением последовательностей на группах сцепления в геномах *B.rapa* и *B.oleracea*. В основном группы сцепления, на которых расположены соответствующие гены каротиноидного пути, и позиции 41 гена совпадают у двух видов.

Основные различия связаны с расположением последовательностей на десятой группе сцепления репы, которой нет у капусты. Если у репы последовательность находится на десятой группе сцепления, то у капусты, чаще всего, ортолог расположен на девятой группе сцепления.

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке гранта № 20-516-00017 Бел\_а «Изучение генетических механизмов регуляции накопления антоцианов и каротиноидов у овощных пасленовых (*Solanaceae*) и капустных (*Brassicaceae*) культур».

### **Список литературы / References**

- Howe K.L., Achuthan P., Allen J., Alvarez-Jarreta J. et al. Ensembl 2021, *Nucleic Acids Research*. Vol. 49 (D1). P. D884–D891. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkaa942>
- Jiang M., Zhang F., Yuan Q., Lin P., Zheng H., Liang S., Jian Y., Miao H., Li H., Wang Q.M., Sun B. Characterization of BoaCRTISO Reveals: Its Role in Carotenoid Biosynthesis in Chinese kale // *Frontiers in Plant Sciences*. 2021. 12:662684. DOI:10.3389/fpls.2021.662684
- Lin P., Zhang S., Zhang S., Li F., Zhang H., Cheng F., Wu J., Wang X., Sun R. Carotenoid biosynthetic genes in *Brassica rapa*: Comparative genomic analysis, phylogenetic analysis, and expression profiling // *BMC Genomics*. 2015. Vol. 16 (1). P. 492. DOI:10.1186/s12864-015-1655-5
- Town C. D. et al. Comparative genomics of *Brassica oleracea* and *Arabidopsis thaliana* reveal gene loss, fragmentation, and dispersal after polyploidy // *Plant Cell*. 2006. Vol. 18 P. 1348–1359.

### **COMPARATIVE ANALYSIS OF CAROTENOIDS BIOSYNTHESIS GENES IN BRASSICA RAPA, B.OLERACEA, AND B.NAPUS**

D.A. FATEEV, A.M. ARTEMYEVA

*FSBSI FRC All-Russian Institute of Plant Genetic Resources on the name of N.I. Vavilov (VIR), St-Petersburg, Russian Federation*

**Abstract.** Based on the data on the known sequences of genes of the model plant *A. thaliana* involved in the biosynthesis of carotenoids, a comparative analysis of the sequences of *Brassica rapa* - turnip and *B. oleracea* - cabbage was carried out to search for identical sequences, since despite numerous studies of the biosynthesis of carotenoids in *Arabidopsis*, there is insufficient information on the carotenoid pathway in *B. rapa* and *B. oleracea*. Sequence analysis will provide a better understanding of the carotenoid biosynthetic pathway in these crops. As a result of our analysis, for 47 genes involved in the synthesis of carotenoids in *Arabidopsis*, 66 orthologues in *B. rapa* and *B. oleracea* were found. The greatest identity with the genes for biosynthesis of *Arabidopsis* carotenoids was found in *B. oleracea* (71,53-95, 12%), while *B. rapa* has 62.46-93.86%. Two *Arabidopsis* genes did not have orthologs in *Brassica* species: geranylgeranylpyrophosphate synthase genes GGPS6 and GGPS11, and *B. rapa* lacked an ortholog of the lutein LUT1 gene, and *B. oleracea* lacked the LUT5 gene. A high similarity was revealed between the positions of the sequences on the linkage groups in two *Brassica* species. Basically, the linkage groups on which the corresponding genes of the carotenoid pathway are located, and positions of 41 genes coincide in the two species. The main differences relate to the positioning of the sequences on the tenth linkage group of the turnip, which is absent in cabbage genome.

**Keywords.** Genes of carotenoid pathway, *Arabidopsis thaliana*, *Brassica rapa*, *B. oleracea*.

## **ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОСЕВОВ СОИ ПРИ РАЗНЫХ СРОКАХ ПОСЕВА В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПРИАМУРЬЯ**

Т.Н. ФЕДОРОВА, Т.А. АСЕЕВА

*Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровский  
Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения РАН, п. Восточный,  
Хабаровский край, fedorova.t.92@mail.ru*

**Аннотация.** Целью исследования являлось определить сроков посева на фотосинтетическую деятельность посевов сортов сои Батя и Хабаровский юбиляр в условиях Дальнего Востока России. Изучали влияние показателей фотосинтетической деятельности на продуктивные качества семян сои при разных сроках посева сортов: «Батя» и «Хабаровский юбиляр». Исследования показали, что наиболее значимые факторы, определяющие величину биологической урожайности — это площадь листьев, влияние этого фактора составляет 92,3% и на 77,3% зависит от фотосинтетического потенциала растений сои. оптимальные условия для нарастания листового аппарата сои и длительности его функционирования создаются при майских сроках посева, при более поздних сроках посева площадь листьев у сорта Батя снижается на 6-36%, у сорта Хабаровский юбиляр – на 11-27%. Наименьшее значение чистой продуктивности фотосинтеза у сорта Батя составило 2,0 г/м<sup>2</sup> в сутки при позднем сроке посева, а максимальное – 4,2 г/м<sup>2</sup> сутки при посеве в конце мая. Наименьшая работа листового аппарата у сорта Хабаровский юбиляр (3,4 г/м<sup>2</sup> в сутки), так же наблюдалась при позднем сроке посева.

**Ключевые слова.** Соя, сорт, фотосинтетическая деятельность, чистая продуктивность фотосинтеза, срок посева, урожайность, структура урожая.

### **Введение**

Соя – одна из ведущих сельскохозяйственных культур мирового земледелия, что объясняется уникальностью её биохимического состава и универсальностью использования [1]. Урожайность сои на 90–95 % процентов зависит от фотосинтетической деятельности растений. Фотосинтез - основа сложной последовательной цепи метаболизма растений, обеспечивающий ее рост, развитие, продуктивность [2, 3]. Соя, относится к группе растений, у которых одновременно с фотосинтезом происходит выделение из листьев части ассимилированной углекислоты в процессе дыхания на свету [4]. Это приводит к тому, что реальная величина ассимиляции CO<sub>2</sub> у растений сои оказывается значительно меньше осуществляемого фотосинтеза. Поскольку фотодыхание снижает эффективность фотосинтеза, многие исследователи считали его ненужным и даже расточительным процессом [5, 6, 7].

Реализация максимальной продуктивности сорта возможно только при высоком коэффициенте использования солнечной энергии и оптимальных условий светового режима для каждого растения. Добиться этого можно, только применяя сортовую агротехнику, которая наиболее полно соответствовала бы биологическим особенностям сои. Например, срок посева, который является одним из важнейших агротехнических приемов, так как им можно регулировать продолжительность солнечного дня в определенную фазу развития растений [8,9 10].

Таким образом, целью работы являлось выявление влияния сроков посева на фотосинтетическую деятельность посевов сортов сои Батя и Хабаровский юбиляр в условиях Дальнего Востока России.

### **Объекты и методы исследования**

Полевые опыты по изучению фотосинтетической деятельности сои проводились на полях ФГБНУ ДВНИИСХ в период 2018–2020 гг. сорта сои селекции ФГБНУ ДВНИИСХ – Батя и Хабаровский юбиляр. Повторность закладки опыта – четырехкратная, площадь делянки – 4 м<sup>2</sup>, норма высева 40 шт./м<sup>2</sup>. Даты посева сои определялись температурным режимом и готовностью почвы: 2018 г: 1 срок – 20 мая; 2 срок – 30 мая; 3 срок – 10 июня. В 2019 г: 1 срок – 9 мая; 2 срок – 15 мая; 3 срок – 27 мая; 4 срок – 5 июня; 5 срок – 10 июня; 6 срок – 17 июня. В 2020 г.: 1 срок – 5 мая; 2 срок – 12



мая; 3 срок– 19 мая; 4 срок- 26 мая; 5 срок – 2 июня; 6 срок – 9 июня. Объект исследований – сорта сои Батя и Хабаровский юбиляр с периодом вегетации 120-135 дней.

Учёты и наблюдения проводились по общепринятым методикам – площадь листьев определялась методом высечек, продуктивность фотосинтеза по А.А. Ничипоровичу [11]. В ходе исследования изучались показатели фотосинтетической деятельности сои, а также характеристики продуктивности.

### Результаты и обсуждение

Метеорологические условия в годы исследований различались между собой по количеству тепла и осадков, что позволило в полной мере изучить их влияние на фотосинтетическую деятельность растений сои. Сумма осадков за период вегетации 2018 года варьировала от 439,4 мм до 462 мм. Сумма температур от 2182,3°C до 2487,2°C и ГТК –1,87. Сумма осадков в 2019 г за период вегетации распределялась от 646 мм до 814, 2 мм при норме 507 мм. Сумма температур от 2042,4°C до 2616,9°C и ГТК –3,12. Сумма осадков в 2020 году за период вегетации изменялась от 630 мм до 685,2 мм. Сумма температур от 2196,3°C до 2196,3 °C до 2551,9°C и ГТК –2,6.

Максимальная площадь листьев формируется к фазе налива бобов. Растения сои сорта Батя отличаются формой листа и площадью ассимиляционной поверхности в среднем на 10% от сорта Хабаровский юбиляр. Максимальные значения площади листьев изменялись по годам в зависимости от сроков посева в пределах 48,4- 75,9 тыс. м<sup>2</sup>/га у Бати и 61,2 до 82,4 тыс. м<sup>2</sup>/га у сои сорта Хабаровский юбиляр (таблица 1). Наблюдается стабильная тенденция снижения максимальной площади листьев при поздних июньских посевах.

Таблица 1. Показатели фотосинтетической активности сортов сои различных сроков посева

Показатель	Срок посева							Хср ± ΔХср	V,%
	1	2	3	4	5	6			
<b>Батя</b>									
Максимальная площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га	2018	75,9	49,1	48,4	-	-	-	58±8.9	17.1
	2019	49,6	50,1	51,0	52,5	49,3	48,4	50±1.51	2.9
	2020	51,2	57,3	65,2	71,1	75,2	50,3	62±10.9	16.9
ФП, млн. м <sup>2</sup> × дней/га	2018	3,7	1,2	1,0	-	-	-	2±0.7	27.7
	2019	1,3	1,5	1,7	2,0	1,5	1,4	2±0.3	16.0
	2020	1,7	2,0	2,6	3,2	3,5	1,6	2±0.8	32.7
ЧПФ, г/м <sup>2</sup> в сутки	2018	4,2	2,5	2,3	-	-	-	3±1.2	24.8
	2019	2,5	2,3	2,2	3,0	2,6	2,5	3±0.3	11.1
	2020	2,6	2,5	3,0	3,7	4,0	2,0	3±0.8	25.6
<b>Хабаровский юбиляр</b>									
Максимальная площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га	2018	68,5	62,4	61,3	-	-	-	64±9.6	6.1
	2019	67,8	73,4	66,1	65,0	63,9	63,1	67±3.9	5.6
	2020	69,9	73,2	82,4	79,3	61,2	59,9	71±9.7	13.0
ФП, млн. м <sup>2</sup> × дней/га	2018	3,2	2,5	2,3	-	-	-	3±0.7	17.7
	2019	3,0	3,8	2,7	2,5	2,3	2,3	3±0.6	20.1
	2020	3,4	3,7	4,1	3,9	3,0	2,8	3±0.6	14.7
ЧПФ, г/м <sup>2</sup> в сутки	2018	4,1	3,7	3,9	-	-	-	4±0.5	5.1
	2019	3,8	4,4	3,7	4,3	4,1	3,6	4±0.3	8.3
	2020	3,9	4,8	4,9	4,3	4,3	3,4	4±0.6	13.1

В начальные периоды вегетации сои больше листьев образовалось при поздних сроках посева сои по сравнению с первыми, что было обусловлено более оптимальными температурными условиями для роста и развития сои в конце мая и в начале июня. Так, в среднем за годы исследований температура почвы на глубине 6 см при первом сроке посева составляет 8°C, а при

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

последнем сроке посева – 22°C. Преимущество поздних сроков посева перед ранними сохранялось до цветения растений, а в последующие фазы различия в показателях площади листьев по вариантам опыта практически нивелировались. На развитие листового аппарата сои существенно влияют гидротермические условия и период вегетации сои. Как правило, раннеспелые сорта имеют меньшее количество листьев и меньшую листовую поверхность, чем среднеспелые и позднеспелые сорта. [12] Максимальная площадь листьев у обоих сортов сформировалась при посеве в конце мая-начале июня. При более поздних сроках посева площадь листьев у сорта Батя снижается на 6-36 %, у сорта Хабаровский юбилей – на 11-27%.

Для определения уровня развития фотосинтетического аппарата важна не только площадь листовой поверхности, но и интенсивность работы уже сформированных листьев. [13, 14].

Физиологическим параметром, объединяющим эти показатели, является фотосинтетический потенциал (ФП). Интенсивность фотосинтетической деятельности посевов оценивали по величине чистой продуктивности фотосинтеза – ЧПФ. Показатель ФСП сорта Хабаровский юбилей был выше, чем у сорта сои Батя и варьировал от 2,3–4,1 млн. м<sup>2</sup> × дней/га, а у сорта Бати от 1,0–3,7 млн. м<sup>2</sup> × дней/га.

Исследования показали, что наименьшее значение ЧПФ у сорта Батя составило 2,0 г/м<sup>2</sup> в сутки в 2020 году при позднем сроке посева, а максимальное – 4,2 г/м<sup>2</sup> в сутки в 2018 году при посеве в конце мая. Наименьшая работа листового аппарата у сорта Хабаровский юбилей (3,4 г/м<sup>2</sup> в сутки), так же наблюдалась при позднем сроке посева 2020 года. По чистой продуктивности фотосинтеза Хабаровский юбилей в среднем в 2 раза превосходит сорт сои Батя.

Результат фотосинтетической деятельности определяет продуктивность растений (таблица 2).

Таблица 2. Статистическая обработка основных показателей продуктивности сои Сорта Батя и Хабаровский юбилей при разных сроках посева

Показатель	Срок посева							Хср ± ΔХср	V, %	НСР <sub>0.5</sub>
	1	2	3	4	5	6				
<b>Батя</b>										
Урожайность, т/га	2018	3,92	2,66	2,20				3±2.2	30,0	0,49
	2019	2,70	2,80	2,96	3,08	2,68	2,52	3±0,21	7,3	0,35
	2020	3,01	3,24	3,48	3,52	3,83	2,81	3±0,39	11,2	0,35
Количество бобов, шт	2018	22	15	11	-	-	-	16±5	34,8	
	2019	27	21	20	21	16	14	20±5	22,9	
	2020	14,1	14,9	16,6	17,4	18,5	11,9	16±2	15,5	
Масса 1000 семян, гр	2018	213	185	183				194±17	8,7	
	2019	218	214	224	220	216	210	217±5	2,2	
	2020	217	212	222	217	204	217	179±20	8,0	
<b>Хабаровский юбилей</b>										
Урожайность, т/га	2018	3,78	2,63	2,16	-	-	-	3±2	29,2	0,47
	2019	3,17	3,35	3,24	3,26	3,0	2,58	3±0.3	9,0	0,40
	2020	3,89	4,79	4,89	4,3	4,27	3,29	4±62	13,98	0,4
Количество бобов, шт	2018	21	19	14	-	-	-	18±4	20,0	
	2019	37	33	29	25	21	19	27±7	25,5	
	2020	23,0	29,3	31,9	30,7	30,5	24,4	27±7	25,7	
Масса 1000 семян, гр	2018	203	181	178	-	-	-	187±13	7,3	
	2019	186	184	184	190	186	194	187±4	2,1	
	2020	215	204	200	192	190	212	202±11	5,05	

Таблица 3. Коэффициенты корреляции

Показатель	Максимальная площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га	ФП млн. дней/га	ЧПФ, г/м <sup>2</sup> в сутки	Максимальная площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га	ФП млн. дней/га	ЧПФ, г/м <sup>2</sup> в сутки
Батя	Хабаровский юбиляр					
Урожайность, т/га	0,99	0,92	0,55	0,92	0,84	0,53
Количество бобов, шт	0,78	0,78	0,67	0,85	0,77	0,40
Масса 1000 семян, гр	0,22	0,25	0,03	0,19	0,33	0,09
Продолжительность вегетационного периода, дни	0,13	0,04	0,04	0,42	0,36	0,16
Сумма температур, °С	0,25	0,15	0,1	0,45	0,59	0,28
Сумма осадков, мм	0,05	0,05	-0,03	0,46	0,38	0,31
ГТК	-0,17	-0,06	-0,27	0,14	-0,03	0,09

**Выводы**

Таким образом, на основании проведенных исследований по изучению роста и развития растений сои в зависимости от сроков посевов сои можно сделать следующее заключение: оптимальные условия для нарастания листового аппарата сои и длительности его функционирования создаются при майских сроках посева, при более поздних сроках посева площадь листьев у сорта Батя снижается на 6-36%, у сорта Хабаровский юбиляр – на 11-27%.

По чистой продуктивности фотосинтеза Хабаровский юбиляр в среднем в 2 раза превосходит сорт сои Батя. Исследования показали, что наименьшее значение ЧПФ у сорта Батя составило 2,0 г/м<sup>2</sup> в сутки при позднем сроке посева, а максимальное – 4,2 г/м<sup>2</sup> в сутки при посеве в конце мая. Наименьшая работа листового аппарата у сорта Хабаровский юбиляр (3,4 г/м<sup>2</sup> в сутки), так же наблюдалась при позднем сроке посева. Проведенный корреляционный анализ показал, что наиболее значимые факторы, определяющие величину биологической урожайности — это площадь листьев, влияние этого фактора составляет 92,3% и на 77,3% зависит от фотосинтетического потенциала.

**Список литературы / References**

1. Рахимова Ю.М., Дозоров А.В., Наумов А.Ю., Фотосинтетическая деятельность и урожайность при применении различных гербицидов и приемов основной обработки почвы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 1(25). С. 37–42.
2. Акиншина Н.Г., Рашидова Д.К., Азизов А.А. Капсулирование семян препаратами хитозана и его производных восстанавливает фотосинтез у растений хлопчатника (*Gossypium L.*, 1753) на фоне вилта // Сельскохозяйственная биология. 2016. №5. С. 696–704.
3. Гатаулина Г.Г., Соколова С.С., Бельштина М.Е. Системный подход к анализу динамических характеристик продукционного процесса у зерновых бобовых культур // Известия ТСХА. 2014. №2. 69–95.
4. Sharkey D. Estimating the rate of photoporation in leaves // *Physiol Plant*. 1988. Vol. 73. P. 147–152.
5. Полевой А.Н., Толмачева А.В. Влияние агроклиматических условий на фотосинтетическую продуктивность посевов сои // Украинский гидрометеорологический журнал. 2014. №15. С. 111–116.
6. Zobiolo L., Kremer R., Bonato C. Water use efficiency and photosynthesis of glyphosate-resistant soybean as affected by glyphosate. 2010. Vol. 97. С. 182–193.
7. Joseph V., Russ G., Arja P. *Journal of Plant Physiology*. 2001. №158. P.295–307.
8. Федорова Т.Н., Шукюров С.А. оптимизация сроков посева сои в условиях Среднего Приамурья // Достижение науки и техники АПК. 2020. №8. С. 75–79.
9. Тютерева Е.В., Дмитриева В.А., Войцеховская О.В. Хлорофилл b как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2017. №5. С.843–855.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

10. Асеева Т.А., Тишкова А.Г., Золотарева Е.В. Влияние средств защиты на фотосинтетическую деятельность, продуктивность и качества сои сорта Иван Караманов // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. №3. С.9–16.
11. Ничипорович А.А., Строгонова Л.Е., Чмора С.Н. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. М.: Изд. АН СССР, 1961. 133 с.
12. Бельшикина М.Е. Фотосинтетическая деятельность посевов и формирование урожая раннеспелых сортов сои // Известия ТСХА. 2019. №1. С. 34–44.
13. Шишхаев И.Я., Делаев У.А., Зузиев У.Г. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность сои в зависимости от сроков посева в условиях лесостепной зоны чеченской республики. Монография. Изд-во ЧГУ. 2014. 100 с.
14. Board J.E., Kahlon C. S. Soybean Yield Formation: What Controls it and how it can be improved. Prof. Hany El-Shemy Ed. 2011. P488.

**PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF SOYBEAN CROPS AT DIFFERENT SOWING TIMES IN THE  
CONDITIONS OF THE MIDDLE AMUR REGION**

T.N. FEDOROVA, T.A. ASEVA

*Far Eastern Research Institute of Agriculture, Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vostochny settlement, Khabarovsk Territory,  
fedorova.t.92@mail.ru*

**Abstract.** The aim of the study was to determine the timing of sowing for the photosynthetic activity of soybean varieties Batya and Khabarovskiy Jubilee in the Far East of Russia. We studied the influence of the indices of photosynthetic activity on the productive qualities of soybean seeds at different sowing dates of the varieties «Batya» and «Khabarovskiy jubilee». Studies have shown that the most significant factors determining the value of biological productivity is leaf area, the influence of this factor is 92.3% and 77.3% depends on the photosynthetic potential of soybean plants. optimal conditions for the growth of the leaf apparatus of soybeans and the duration of its functioning are created during the May sowing dates; at later sowing dates, the leaf area of the Batya variety decreases by 6-36%, in the Khabarovskiy Yubilyar variety - by 11-27%. The lowest value of the net productivity of photosynthesis in the Batya cultivar was 2.0 g / m<sup>2</sup> per day at a late sowing period, and the maximum value was 4.2 g / m<sup>2</sup> per day at sowing at the end of May. The smallest work of the leaf apparatus in the variety Khabarovskiy Yubilyar (3.4 g / m<sup>2</sup> per day) was also observed with a late sowing period.

**Keywords.** Soybean, cultivar, photosynthetic activity, net productivity of photosynthesis, sowing time, yield, crop structure.

**ИННОВАЦИОННЫЙ СОРТ СОВА КРУПНОЗЕРНОГО ПЫРЕЯ СИЗОГО ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И РЕГЕНЕРАТИВНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РОССИИ**

В.П. ШАМАНИН, И.В. ПОТОЦКАЯ, А.Н. АЙДАРОВ, С.С. ШЕПЕЛЕВ

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

(ФГБОУ ВО Омский ГАУ), Омск, [vp.shamanin@omgau.org](mailto:vp.shamanin@omgau.org)

**Аннотация.** В статье рассматривается альтернативная стратегия по доместикации диких сородичей пшеницы на примере пырея сизого. Приведены результаты опытов в условиях южной лесостепи Западной Сибири по оценке хозяйственно-ценных признаков у нового крупнозерного пырея сизого сорта Сова, включенного в Госреестр селекционных достижений в 2020 г. для всех регионов России. Средняя урожайность зерна составила 9,2 ц/га, варьирование по годам от 8,2 в 2020 г. до 10,4 ц/га в 2019 г. Урожайность зеленой массы в среднем была равна 208,7 ц/га и максимальной – 224,8 ц/га в 2019 г. Урожайность сена – 69,2 ц/га и 76,4 ц/га соответственно. Среднее содержание белка было равно 19,5% и варьировало по годам от 18,8% в 2020 г. до 20,5% в 2019 г. Среднее содержание сырой клейковины было равно 36,3% и наибольший процент отмечен в 2018 г. – 37,2%. В базовых семеноводческих хозяйствах Омской области в 2020 г. было произведено около 5 тонн семян сорта Сова, средняя урожайность зерна варьировала по агроклиматическим зонам и составила 0,4–0,6 т/га.

**Ключевые слова.** пырей сизый, пшеница, селекция, сорт, продуктивность колоса, урожайность, сено

**Введение**

В результате глобального потепления климата традиционная система сельского хозяйства, подразумевающая применение пестицидов и отвальную обработку почвы, влияет на урожайность сельскохозяйственных культур и снижает плодородие почвы, что приводит к эрозии почвы, вымыванию питательных веществ и эмиссии углерода (Stavridou et al., 2016). В последние десятилетия пристальное внимание ученых обращено на многолетние культуры, возделывание которых в сельском хозяйстве способствует повышению его рентабельности, экологизации и инновационности (Упелниек и др., 2012; Крупин. Дивашук, Карлов, 2019; Amaducci et al., 2016). Пырей сизый (*Th. intermedium*,  $2n = 6x = 42$ ) как многолетняя культура представляет интерес для возделывания на зерновые и кормовые цели. Этот многолетний злак формирует мощную корневую систему, что улучшает водопотребление растений и структуру почвы и, вместе с тем, повышает секвестрацию углерода в почве, снижает сток питательных веществ в грунтовые воды (Culman et al., 2013; Pugliese, Culman, Sprunger, 2019). Если возделывание однолетних культур подразумевает большую пестицидную нагрузку на посевы, то пырей практически не поражается болезнями и вредителями, что значительно сокращает использование пестицидов при его возделывании (DeHaan, Ismail, 2017; DeHaan et al., 2018). В 2001 г. в The Lande Institute (Канзас, США) стартовал проект альтернативной селекции по использованию неисчерпаемого потенциала многолетних диких видов, где в результате отбора из популяции *Th. intermedium* по крупности зерновки создан сорт пырея Kernza, средняя урожайность зерна которого достигает 1,5 т/га (Culman et al., 2013; DeHaan et al., 2014), что аналогично средней урожайности яровой пшеницы в Сибирском регионе. В 2020 г. в Государственный реестр селекционных достижений включен крупнозерный сорт пырея Сова для возделывания во всех регионах России. Сорт Сова создан в Омском ГАУ массовым отбором перезимовавших биотипов из популяции *Th. intermedium*, полученной из The Lande Institute, с последующим направленным переопылением и созданием новой зимостойкой синтетической популяции. Сорт Сова предназначен для регенеративного земледелия, срок использования без пересева до 7 лет. Сорт двойного назначения – на зерно и зеленую массу (сено), средняя урожайность зерна 9,2 ц/га, зеленой массы – 210,0 ц/га и сена – 71,0 ц/га. Таким образом, новый сорт многолетнего злака имеет инновационное значение благодаря его экологическим свойствам и большому производственному потенциалу.

### Объекты и методы исследования

Исследования проведены на опытном поле ФГБОУ ВО Омский ГАУ в 2018–2020 гг. Метеорологические условия в годы опытов были разнообразными, характерными для южной лесостепной зоны Омской области: в целом отмечалась недостаточная влагообеспеченность, показатель гидротермического коэффициента (ГТК) составил 0,86–1,07.

Материалом для исследований служил новый крупнозерный сорт пырея сизого Сова, сорт яровой мягкой пшеницы Памяти Азиева. Питомник заложен 15 августа 2016 года. Посев ручной, площадь делянки — 5 м<sup>2</sup>, расстояние между рядками — 40 см, между растениями — 10 см, глубина посева семян — 2 см, повторность 3-кратная. Предшественник — чистый пар. В 2018–2020 гг. для анализа признаков колоса проводили отбор по главному колосу в фазе восковой спелости, колосья срезали и в лаборатории оценивали компоненты продуктивности у 100 колосьев: массу колоса (г), длину колоса (см), количество колосков в колосе (шт.), количество зерен в колосе (шт.), массу зерна с колоса (г), массу 1000 зерен (г) и Кхоз. колоса. Селекционные оценки, наблюдения и анализ структуры урожая в питомнике проводились в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания с.-х. культур (1989). Изучали морфометрические параметры зерновки сорта Сова и сорта Памяти Азиева: площадь, периметр, длина, ширина и циркулярность. Для анализа использовали сканер EPSON XL 110000 («Seiko Epson Corporation», Япония) и программу Smart grain v. 1.2 (<http://www.kazusa.or.jp/phenotyping/smartgrain/installation.html>). Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по методике Б.А. Доспехова (1985).

### Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены результаты оценки питомника размножения сорта Сова 3–5 годов вегетации по признакам урожайности зерна, зеленой массы и сена, а также показатели качества зерна. Средняя урожайность зерна составила 9,2 ц/га, варьирование по годам от 8,2 в 2020 г. до 10,4 ц/га в 2019 г. Урожайность зеленой массы в среднем была равна 208,7 ц/га и максимальной — 224,8 ц/га в 2019 г. Урожайность сена — 69,2 ц/га и 76,4 ц/га соответственно. Данные таблицы свидетельствуют, что важные показатели качества зерна содержание белка и клейковины у нового сорта очень высокие. Среднее содержание белка было равно 19,5% и варьировало по годам от 18,8% в 2020 г. до 20,5% в 2019 г. Среднее содержание сырой клейковины было равно 36,3% и наибольший процент отмечен в 2018 г. — 37,2%.

Среднее значение массы 1000 зерен нового сорта Сова равно 9,7 г. Следует отметить, что сорт Сова имеет относительно высокие показатели по признакам: количество зерен в колосе — в среднем более 50 шт., варьирование от 41 до 60 зерен и Кхоз. колоса — 51%. Средняя масса 1000 зерен варьировала по годам от 9,0 до 10,4 г.

Таблица 1. Урожайность зерна, зеленой массы и сена сорта Сова, опытное поле Омского ГАУ, 2018–2020 гг.

Год	Урожайность, ц/га			Белок, %	Клейковина, %
	Зерно	Зеленая масса	Сено		
2018	9,0	219,0	73,0	19,1	37,2
2019	10,4	224,8	76,4	20,5	36,0
2020	8,2	182,3	58,2	18,8	35,7
В среднем	9,2	208,7	69,2	19,5	36,3
НСР <sub>05</sub>	2,8	57,3	24,0	2,3	2,0

Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference  
**“Agrophysics Trends: from actual challenges in arable farming and crop production towards advanced technologies”**

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

September 14-15, 2021

В ходе работы проведен анализ зерна сорта Сова по показателям площади, периметра, длины, ширины и циркулярности зерна (сканер EPSON XL110000, программа Grain scan) в сравнении с сортом Памяти Азиева (табл. 2).

Таблица 2. Параметры зерновки изучаемых сортов, 2018–2020 гг.

Параметры	Сова, урожай 2018 г.	Сова, урожай 2019 г.	Сова, урожай 2020 г.	Памяти Азиева, 2018 г.	Памяти Азиева, 2019 г.	Памяти Азиева, 2020 г.	НСР <sub>05</sub>
Площадь, мм <sup>2</sup>	9,25±1,45	9,03±1,41	8,66±1,37	15,11±2,36	14,48±2,26	14,14±1,94	3,24
Периметр, мм	16,87±1,72	15,91±1,63	10,25±1,58	15,83±1,62	14,23±1,46	13,82±1,40	2,48
Длина, мм	7,35±0,71	6,83±0,66	6,88±0,62	6,21±0,59	6,45±0,62	6,48±0,60	0,43
Циркулярность	0,46±0,05	0,46±0,05	0,38±0,05	0,72±0,08	0,70±0,07	0,68±0,07	0,16
Ширина, мм	1,72±0,25	1,67±0,24	1,66±0,20	3,3±0,48	3,0±0,44	2,7±0,45	0,78

Сорт Сова в среднем имеет более длинную (в среднем 7,02 мм), но мелкую, не выполненную зерновку, о чем свидетельствуют достоверно низкие показатели площади и циркулярности (8,98 мм<sup>2</sup> и 0,43) в сравнении с зерном сорта яровой мягкой пшеницы Памяти Азиева (6,38 мм, 14,58 мм<sup>2</sup> и 0,70 соответственно).

В трех базовых семеноводческих хозяйствах Омского ГАУ (КФХ «Тритикум», АО «Нива» и КФХ «Говин») в 2020 г. было произведено около 5 тонн семян сорта Сова для реализации фермерским хозяйствам Омской области (табл. 3). Средняя урожайность зерна варьировала по агроклиматическим зонам Омской области, в частности в степной зоне урожайность была ниже и составила 0,4 т/га.

Таблица 3. Урожайность сорта Сова в семеноводческих хозяйствах Омской области, 2020 г.

Название хозяйства	Зона	Урожай зерна, т/га	Площадь, га
КФХ «Говин»	Южная лесостепь	0,6	3
АО «Нива»	Южная лесостепь-степь	0,6	3
КФХ «Тритикум»	Степь	0,4	3

Урожайность зерна многолетнего злака ниже, чем у однолетних культур, поскольку часть энергии расходуется на развитие корневой системы и отрастание после перезимовки. Однако, поскольку затраты на производство зерна ниже, можно получать чистую прибыль, несмотря на низкую урожайность пырея в сравнении с зерновыми однолетними культурами.

### Выводы

Урожайность зерна, зеленой массы и сена крупнозерного сорта пырея сизого Сова в течение трех лет репродукции в среднем составила соответственно 9,2 ц/га; 208,7 ц/га и 69,2 ц/га. Показатели качества зерна у нового сорта были высокими – 19,5 % белка и 36,3 % клейковины. Число зерен в колосе в среднем составляло более 50 шт., масса 1000 зерен – 9,7 г, Кхоз. колоса – 51 %. Сорт Сова включен в Госреестр в 2020 г. и рекомендован для регенеративного земледелия.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2021-534 от 28.05.2021 г.).

### Список литературы / References

- Крупин П.Ю., Дивашук М.Г., Карлов Г.И. Использование генетического потенциала многолетних дикорастущих злаков в селекционном улучшении пшеницы (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 3. С. 409–425. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.3.409rus.
- Упелник В.П., Белов В.И., Иванова Л.П., Долгова С.П., Демидов А.С. Наследие академика Н.В. Цицина – современное состояние и перспективы использования коллекции промежуточных пшенично-пырейных гибридов // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т.16. № 3. С. 667–674.
- Amaducci S., Facciotto G., Bergante S., Perego A., Serra P., Ferrarini A., Chimento C. Biomass production and energy balance of herbaceous and woody crops on marginal soils in the Po valley // Glob. Chang. Biol. Bioenergy. 2016. Vol. 9. P. 31–45.
- Culman S.W., Snapp S.S., Ollenburger M., Basso B., DeHaan L.R. Soil and water quality rapidly responds to the perennial grain Kernza wheatgrass // Agron. J. 2013. Vol. 105. P. 735–744. DOI: 10.2134/agronj2012.0273.
- DeHaan L.R., Van Tassel D.L. Useful insights from evolutionary biology for developing perennial grain crops // Am. J. Bot. 2014. V. 101. P. 1801–1819.
- DeHaan L., Ismail B. Perennial cereals provide ecosystem benefits // Cereal Foods World. 2017.V. 62(6). P. 278–281. DOI: 10.1094/CFW-62-6-0278
- DeHaan L.R., Christians M., Crain J., Poland J. Development and evolution of an Intermediate wheatgrass domestication program // Sustainability. – 2018. – V. 10. – P. 1–19.
- Pugliese J.Y., Culman S.W., Sprunger C.D. Harvesting forage of the perennial grain crop Kernza (*Thinopyrum intermedium*) increases root biomass and soil nitrogen cycling // Plant Soil. 2019. Vol. 437. P. 241–254. DOI: 10.1007/s11104-019-03974-6
- Stavridou E., Hastings A., Webster R.J., Robson P.R. The impact of soil salinity on the yield, composition and physiology of the bioenergy grass *Miscanthus x giganteus* // Glob. Chang. Biol. Bioenergy. 2016. Vol. 9. P. 92–104.

### INNOVATIVE LARGE-GRAINED WHEATGRASS VARIETY SOVA FOR ECOLOGICAL AND REGENERATIVE FARMING IN RUSSIA

V.P. SHAMANIN, I.V. POTOTSKAYA, A.N AYDAROV., S.S. SHEPELEV

*Omsk state agrarian university, Omsk, Russia, vp.shamanin@omgau.org*

**Abstract.** The article discusses an alternative strategy for domestication of wheat wild relatives using the wheatgrass *Th. intermedium*. The experimental results under conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia on the assessment of economically valuable traits of the new large-grain wheatgrass variety Sova are presented. This variety was included in the State Register of Breeding Achievements in 2020 for all regions of Russia. The average grain yield was 9,2 c/ha and varied from year to year from 8.2 in 2020 to 10.4 c/ha in 2019. The yield of biomass was on average 208.7 c/ha and maximum – 224,8 c/ha in 2019. Hay yield – 69.2 c/ha and 76.4 c/ha, respectively. The average protein content was 19.5% and varied from year to year from 18.8% in 2020 to 20.5% in 2019. The average gluten content was 36.3% and maximum – 37.2% in 2018. Approximately 5 tons of seeds of the variety Sova were produced in seed production farms of Omsk region in 2020. The average grain yield varied from 0.4 to 0.6 t/ha depending on agro-climatic zones.

**Keywords:** wheatgrass, wheat, breeding, variety, spike productivity, yield, hay.



## АССОРТИМЕНТ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПРОВОЛОЧНИКАМИ НА КАРТОФЕЛЕ

М.Н. ШОРОХОВ<sup>1,2</sup>, О.А. КРИВЧЕНКО<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений»  
(ФГБНУ ВИЗР), Санкт-Петербург, [info@vizr.spb.ru](mailto:info@vizr.spb.ru)

<sup>2</sup> ООО «Инновационный центр защиты растений» (ООО «ИЦЗР»),  
Санкт-Петербург, г. Пушкин, [oak@icZR.ru](mailto:oak@icZR.ru)

**Аннотация.** Качественно и количественно проанализирован ассортимент препаратов для борьбы с проволочниками на картофеле, которые представлены в Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации по состоянию на 2021 год. Дана характеристика химических классов, к которым относятся препараты, показаны направления развития ассортимента средств защиты растений.

**Ключевые слова.** Проволочники, каталог, препараты, фосфорорганические соединения, пиретроиды, неоникотиноиды, инсектициды, инсектофунгициды.

### Введение

На Северо-Западе РФ одним из наиболее опасных вредителей картофеля являются проволочники. Снижение товарной ценности заключается в том, что проволочники делают ходы, которые пронизывают клубни насквозь.

### Объекты и методы исследования

Анализ современного ассортимента препаратов для борьбы с проволочниками проведен на основе экспериментальных исследований ученых Центра биологической регламентации использования пестицидов (Всероссийский НИИ защиты растений и Инновационный центр защиты растений) в соответствии с Методическими указаниями по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве (2009 г.); а также Методическими указаниями по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности (2018 г.); Государственным каталогом пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации за 2021 г.

### Результаты и обсуждение

На сегодняшний день ведущая роль в борьбе с проволочниками отводится инсектицидам. В Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, которые разрешены к применению на территории РФ (2021 г.) представлено 34 препарата, разрешенных для защиты картофеля от проволочников на основе различных действующих веществ.

В Каталоге пестицидов... по состоянию на 2021 год включен только один биопрепарат Метаризин, Ж (титр не менее  $10^8$  КОЕ/мл) на основе *Metarhizium anisopliae* P-72, который можно применять способом внесения в почву в личных подсобных хозяйствах из расчета 100 мл на 100 м<sup>2</sup>. Расход рабочей жидкости – 2 л/100 м<sup>2</sup>.

Препараты на основе действующего вещества диазинов, относящегося к химическому классу фосфорорганических соединений (ФОС) защищают растения от проволочников первые две-три недели, что важно для недопущения изреживания посадок картофеля. Препараты этой группы применяются способом внесения в почву при посадке, где хорошо поглощаются корневой системой сельскохозяйственной культуры. Препаративная формула - гранулы. В Каталоге пестицидов... из данного класса представлено 4 препарата.

Препараты из химического класса пиретроидов составляют всего лишь 6% от общего количества препаратов и представлены двумя действующими веществами: бифентрин (инсектицид Талстар,

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

КЭ (100 г/л), применяемый способом обработки дня борозды) и тефлутрин Форс, Г (15 г/кг). Последний обладает уникальными свойствами, которые заключаются в высокой активности газовой фазы действующего вещества. Вредитель, попавший в зону действия препарата получает отравление через покровные ткани и органы дыхания. Следствием отравления является подавление пищевой активности, нарушение нормальной работы нервной системы, приводящее к параличу и гибели.

Отличительными особенностями препаратов из химического класса неоникотиноидов является системное действие, относительно низкая норма применения, сохранение биологической эффективности независимо от внешних условий, а также наличие длительного защитного эффекта. В 2021 году в Каталоге данные препараты представлены двумя действующими веществами (6 инсектицидов на основе имидаклоприда и 4 на основе тиаметоксама).

Среди направлений совершенствования ассортимента препаратов для защиты картофеля от проволочников в последнее время приоритетом пользуется комбинирование в одном препарате двух и более действующих веществ. [1]. Причем не только с инсектицидными, но фунгицидными свойствами. На 2021 г. в Каталоге пестицидов... представлено 3 комбинированных препарата с действующими веществами, обладающими инсектицидными свойствами (Имидалит, ТПС (500 г/л имидаклоприда + 50 г/л бифентрина), Табу Супер, СК (400 г/л имидаклоприда + 100 г/л фипронила), Бомбарда, КС (130 г/л тиаметоксама + 90 г/л имидаклоприда + 60 г/л фипронила)). Инсектофунгицидов, обладающих как инсектицидными, так и фунгицидными свойствами больше в два раза. Причем встречаются препараты, содержащие в своем составе три действующих вещества. Примером двух компонентных препаратов может служить инсектофунгицид Престиж, КС (140 г/л имидаклоприда + 150 г/л пенцикурона), а трех компонентных Кинг Комби, КС (100 г/л ацетамиприда + 34 г/л флудиоксанила + 8,3 г/л ципроконазола) и Селест Топ, КС (262,5 г/л тиаметоксама + 25 г/л дифекконазола + 25 г/л флудиоксанила).

Еще одним направлением развития ассортимента препаратов можно считать модернизацию препаративных форм. Они разнообразны: это - гранулы (Г) у ФОС и пиретроидов; ВСК (водно-суспензионный концентрат); ВРК (водорастворимый концентрат); ВДГ (водно-диспергируемые гранулы); КС (концентрат суспензии) у неоникотиноидов. При разработке новых типов препаративных форм достигается простота транспортировки и хранения, а также использования химических средств защиты.

### **Выводы**

Таким образом, ассортимент средств борьбы с проволочниками на картофеле довольно разнообразен как в количественном, так и качественном отношении. Представлен 3 химическим классами (ФОС, пиретроиды, неоникотиноиды), а также комбинированными препаратами (с инсектицидными и инсектофунгицидными свойствами) и 1 биопрепаратом. Ассортимент постоянно совершенствуется с целью уменьшения экологических рисков и снижения нагрузки на агроценоз.

### **Благодарности**

Авторы выражают признательность научному коллективу Инновационного центра защиты растений за предоставление экспериментальных данных.

### **Список литературы / References**

1. Долженко О.В., Шорохов М.Н., Кривченко О.А., Долженко В.И. Эффективность комбинированного инсектицида БОРЕЙ Нео на картофеле // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: науч. тр. междунар. науч.-прак. конф. профессорско-преподавательского состава. 2017. С. 50-52.

**ASSORTMENT OF PREPARATIONS FOR THE FIGHT AGAINST WIREWORMS ON POTATOES**

M.N. SHOROKHOV <sup>1,2</sup>, O.A. KRIVCHENKO <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> FSBSI «All-Russian Research Institute of Plant Protection», St. Petersburg, [info@vizr.spb.ru](mailto:info@vizr.spb.ru);

<sup>2</sup> OOO «Innovative Plant Protection Center», St. Petersburg, Pushkin, [oak@iczr.rum](mailto:oak@iczr.rum)

**Abstract.** The assortment of drugs for combating wireworms on potatoes, which are presented in the State Catalog of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use in the Russian Federation as of 2021, was qualitatively and quantitatively analyzed. The characteristics of the chemical classes to which the preparations belong are given, the directions of the development of the range of plant protection products are shown.

**Keywords:** wireworms, catalog, preparations, organophosphorus compounds, pyrethroids, neonicotinoids, insecticides, insectofungicides.

---

## ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ВИНОГРАДА ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ И БОЛЕЗНЕЙ

Т.А. ЩЕГОЛИХИНА

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГБНУ «Росинформагротех»), пос. Правдинский,  
[schegolikhina@rosinformagrotech.ru](mailto:schegolikhina@rosinformagrotech.ru)

**Аннотация.** Приведены наиболее распространенные и вредоносные болезни и вредители винограда. Рассмотрены приемы защитных мероприятий на виноградниках, обеспечивающих высокоэффективное и экологически безопасное сдерживание численности вредителей и возбудителей болезней ниже порога вредоносности.

**Ключевые слова.** Виноград, вредители, болезни, методы защиты.

### Введение

Наиболее распространенными и вредоносными из болезней во всех зонах виноградарства края являются милдью, белая и серая гнили, бактериальный рак. На Черноморском побережье в отдельные годы приносит вред оидиум, имеются участки, зараженные антракнозом. На привитых виноградниках все более широкое распространение получают сосудистый и пятнистый некрозы виноградной лозы. Наиболее опасный вредитель - филлоксера, повреждает корнесобственные виноградники, а в листовой форме заселяет и маточники подвойных лоз. За последние 10 лет получила повсеместное распространение и увеличила вредоносность гроздевая листовёртка. Распространены клещи, скосари, виноградная пестрянка, хрущи. На отдельных участках спорадически приносят вред подгрызающие совки, пяденицы, американская белая бабочка (Смольякова В. М.). Ограничение численности вредителей и болезней, недопущение ущерба требует проведения многих мероприятий по защите насаждений.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования является система защитных мероприятий виноградных насаждений. Исследование выполнено на основе обработки и обобщении информации о методах борьбы с вредителями и болезнями винограда, экологизированных и ресурсосберегающих технологий защиты растений от вредных организмов, полученной из отечественных журналов и интернет-ресурсов.

### Результаты и обсуждение

Сегодня в сельскохозяйственном растениеводстве, во всем мире остро стоят вопросы стабильности производства, качества и безопасности получаемой продукции. На смену концепции полного уничтожения вредителей и болезней пришла осознанная концепция управления комплексами вредных и полезных видов - насекомых, клещей, грибов, бактерий. Ведущее место в создании устойчивых виноградных агроценозов должны занять системы защиты на основе адаптивных, приближенных к природе или взятых от нее методов и средств (Юрченко, Талаш, 2017). В районах интенсивного виноградарства для защиты насаждений от болезней и вредителей применяется научно обоснованная интегрированная система агротехнических, биологических и химических мероприятий. Она предусматривает рациональное применение химических и биологических средств защиты урожая с учетом экономических порогов вредных организмов при максимальном использовании естественных факторов регулирования интенсивности развития болезней, численности и вредоносности

насекомых (Интегрированная система защиты винограда от вредителей и болезней). Ключевыми элементами интегрированной защиты являются подбор сортов, обладающих комплексной устойчивостью против основных болезней и вредителей, проведение фитосанитарного мониторинга, агротехнических приемов, использование малотоксичных пестицидов, биопрепаратов и энтомофагов.

Система защитных мероприятий в первую очередь должна быть направлена на профилактику заболеваний и снижение численности вредителей и основываться на знаниях внешних симптомов заболеваний и повреждений винограда, биологических особенностей возбудителей болезней и насекомых-вредителей, их распространения и вредоносности. Мониторинг фитосанитарного состояния виноградников, включающий фитосанитарную диагностику, является важным этапом интегрированной защиты. Основой для анализа фитосанитарной обстановки и разработки системы защитных мероприятий служит информация о распространении, степени развития и вредоносности, а также особенностях биологии основных вредителей и болезней на виноградниках.

Агротехнические методы борьбы с вредителями и болезнями заключаются в использовании приемов агротехники, обеспечивающих наилучшее развитие растений и в то же время препятствующих размножению и распространению вредителей и болезней. К ним относятся:

- правильный выбор места для закладки виноградника и подбор сортов с учетом их биологических особенностей, и, в частности, устойчивости против вредителей и болезней;
- тщательная предпосадочная подготовка участка, глубокий плантаж;
- использование здорового посадочного материала, строгое соблюдение карантинных правил при завозе и вывозе его;
- тщательный уход за насаждениями: своевременная обработка почвы в рядах и междурядьях, перевод виноградников на шпалеру и содержание ее в исправном состоянии, своевременное проведение осенней и весенней обрезки и операций с зелеными частями куста (подвязка, пасынкование, чеканка и др.), удаление с виноградника обрезков лозы, побегов и листьев, сжигание их или измельчение и закладка в компостные кучи (Пелях, 1971).

Большинство агротехнических приемов по уходу за виноградниками создают неблагоприятные условия для развития болезней и вредителей. Обработка почвы на виноградниках резко уменьшает численность личинок скосарей, хрущей, зимующий запас гусениц совок и пядениц. Уничтожение сорной растительности не только улучшает условия для развития виноградных кустов, но препятствует образованию благоприятных условий для развития многих вредителей, уменьшает вероятность заражения грибными заболеваниями. Своевременное проведение агротехнических приемов, ограничивающих интенсивность развития болезней и вредителей, способствует уменьшению пестицидной нагрузки на урожай и окружающую среду.

Внесение удобрений улучшает условия развития растений и повышает устойчивость их против вредных организмов. Некоторые виды удобрений являются токсичными для вредителей. Например, при внесении аммиачной воды наблюдается гибель проволочников, личинок жуков, гусениц совок, обитающих в почве. В то же время избыток азотных удобрений удлиняет вегетацию растений, способствует сильному развитию вегетативной массы кустов, что приводит к усилению развития таких болезней, как милдью, оидиум, гниль серая. На высоком фоне азотных удобрений более активно развиваются клещи, филлоксера и другие вредители.

Система химических мероприятий защиты винограда от болезней и вредителей предусматривает использование препаратов только при наличии вредных организмов в количестве, превышающем пороговую численность. Экономические пороги вредителей винограда устанавливаются экспериментально для каждого вида. Они показывают ту

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

численность вредителя, при которой стоимость потерь урожая и его качества превышает затраты на защитные обработки.

В последние годы из перечня пестицидов, применяемых в виноградарстве, исключены высокотоксичные и персистентные препараты (ртутьсодержащие, хлорорганические, многие фосфорорганические и др.). Появились так называемые биорациональные химические препараты на основе синтетических аналогов природных веществ с высокой биологической эффективностью в отношении целевых вредных объектов. Это фунгициды из группы стробилуринов, азолов; инсектициды на основе метаболитов стрептомицетов, гормонов насекомых и др. Расширено применение пестицидов с низкой нормой расхода на единицу обрабатываемой площади и массы, что позволило уменьшить физическое количество потребляемых пестицидов без сокращения обрабатываемых площадей. Меняются и препаративные формы пестицидов: сокращается число порошкообразных препаратов, концентратов эмульсий. Создаются новые, более экологичные формы: концентрат суспензии, текучая паста, водно-диспергируемые гранулы, водорастворимые гранулы, сухая текучая суспензия, микрокапсулированные и др. (Юрченко, Талаш, 2017).

Биологический метод защиты предполагает использование живых организмов, продуктов их жизнедеятельности или синтетических аналогов для уменьшения плотности популяции вредящих растениям организмов.

Широкое применение в практике борьбы с вредителями винограда нашли микробиологические препараты. Однако, эффективность применения биопрепаратов существенно зависит от погодных условий. Гибель насекомых они вызывают при высокой относительной влажности воздуха (более 70%) и оптимальной температуре (24–26°C). В последние годы научные учреждения разрабатывают и другие методы биологической защиты винограда от вредных организмов. Определенный интерес представляют гормональные препараты, нарушающие рост и развитие вредителей, обладающих отпугивающим или привлекающим действием, а также использование ловушек с искусственными половыми феромонами листовертки гроздевой (Интегрированная система защиты винограда от вредителей и болезней).

Одним из перспективных направлений развития современной адаптивно-интегрированной защиты винограда является биотехнологическое. Биотехнологические методы и способы контроля вредителей и болезней основаны на естественных механизмах регуляции численности вредных видов в биоценозах: антибиозе, конкуренции, хищничестве, паразитизме и гиперпаразитизме, активации болезнеустойчивости растений и т. д. Результатом многолетних исследований, проведенных в ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный исследовательский центр садоводства, виноградарства и виноделия» (ФГБНУ СКФНЦСВВ, г. Краснодар) явилась эффективная биологизация систем защиты насаждений конкретных виноградарских хозяйств различных форм собственности. В сотрудничестве с ведущими отечественными производителями биологических средств защиты (биоинсектицидов, биофунгицидов, комплекса полезных насекомых и клещей) – ООО «Биотехагро» (г. Тимашевск), ООО «Сиббиофарм» (г. Бердск), ООО «Агробиотехнология» (г. Москва) разработаны биологизированные способы контроля оидиума, серой гнили, альтернариоза, аспергиллеза, а также таких вредителей, как растительноядные клещи (паутинный и войлочный), трипсы, цикадки (Юрченко, Талаш, 2017).

При одинаково высокой биологической эффективности биологизированной и химической систем защиты урожайность на участках виноградника, где применялась биологизированная защита, в различных опытах повышалась от 6,0 до 15 ц/га (Юрченко, 2020).

## Выводы

Комплексное и своевременное проведение защитных мероприятий способствует снижению риска развития опасных фитосанитарных ситуаций. Интегрированная система защиты винограда от болезней и вредителей подразумевает рациональное использование метода или комплекса методов и средств с учетом структуры популяций в агроценозе, а также определение степени угрозы как отдельных видов, так и комплекса вредных организмов для ограничения их вредоносности до экономически незначимого уровня. Разработка и внедрение современной технологии защиты виноградников от вредных организмов должна проводиться под руководством высококвалифицированных специалистов, имеющих достаточно знаний по состоянию конкретных насаждений и строго придерживающихся регламентов (Талаш, Евдокимов, 2011).

## Список литературы / References

- Смольякова В.М. Защита от вредителей и болезней. – <http://wine.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000012/st014.shtml>.
- Юрченко Е.Г., Талаш А.И. Экологически безопасные технологии защиты винограда – это реальность // Агропромышленная газета юга России. 2017. № 29-30. С. 6-7.
- Интегрированная система защиты винограда от вредителей и болезней. – <https://vinograd.info/knigi/spravochnik-po-zaschite-rasteniy/integrirovannaya-sistema-zaschity-vinograda-ot-vrediteley-i-bolezney.html>.
- Пелях М.А. Справочник виноградаря. М.: Колос, 1971, 344 с.
- Юрченко Е.Г. Практика применения биопрепаратов в системах защиты виноградников от болезней // Агропромышленная газета юга России. 2020. № 29-30. С. 21.
- Талаш А.И., Евдокимов А.Б. Адаптивно-интегрированная система защита виноградников от вредителей и болезней на современном этапе // Разработки, формирующие современный облик виноградарства. 2011. С. 163-214.

## INTEGRATED SYSTEM FOR PROTECTING GRAPES FROM PESTS AND DISEASES

T.A. SHCHEGOLIKHINA

«Rosinformagrotekh», Russia, pos. Pravdinsky, [schegolikhina@rosinformagrotech.ru](mailto:schegolikhina@rosinformagrotech.ru)

**Abstract.** The most common and harmful diseases and pests of grapes are given. The methods of protective measures in vineyards that provide highly effective and environmentally safe containment of the number of pests and pathogens below the threshold of harmfulness are considered.

**Keywords.** Grapes, pests, diseases, methods of protection.

## **СНИЖЕНИЕ ПЕСТИЦИДНОГО ПРЕССА НА СЕМЕНА ПШЕНИЦЫ ПРИ ОБРАБОТКАХ ДО ПОСЕВА БАКОВЫМИ СМЕСЯМИ С БИОПРЕПАРАТАМИ**

Т.И. ЩЕРБАКОВА, Ш.М. КРУЧАН

*Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений.*

*Молдова, Кишинев, tscerb@gmail.com*

**Аннотация.** В лабораторных условиях исследовали действие баковых смесей протравителя семян Vitavax 200 FF и биопрепаратов для подавления развития корневых гнилей пшеницы сорта Молдова-614. Для создания баковых смесей использовали биопрепараты Trichodermin-SC, Gliocladin-SC, Rizoplan и Paurin. Смесей были составлены из рекомендованных норм расхода пестицида и биопрепаратов; снижение пестицидной нагрузки на 20% и 40%; снижение пестицидной нагрузки и биопрепаратов на 50%. Установлено, что при использовании в баковых смесях рекомендованных дозировок препаратов, происходит снижение показателей развития проростков. При снижении пестицидной нагрузки на 20% и 40% показатели улучшаются, по сравнению с применением пестицида в рекомендованной норме расхода. При снижении пестицидной нагрузки и биопрепаратов на 50% снижается всхожесть семян и масса 100 ростков.

**Ключевые слова.** Пестицидная нагрузка, биопрепараты, баковые смеси, пшеница.

### **Введение**

Многие химические пестициды достаточно токсичные вещества. Их применение в защите растений приводит к ряду негативных последствий экологического характера, снижению пищевой ценности сельскохозяйственной продукции и др. (Ганиев, 2006).

*При протравливании семян фунгицидами, с одной стороны уменьшается заселение почвы патогенами болезней, но с другой стороны, угнетается полезная микробиота почвы, обедняется ее видовой состав, утрачивается плодородие.* Помимо своей основной функции защиты растений от болезней, они оказывают стрессовое воздействие на основную культуру, которую призваны защищать. Стресс может проявляться в виде замедления процессов метаболизма прорастающих семян, снижения всхожести, угнетения начального развития проростков, восприимчивости к заболеваниям. В результате формируются изреженные посевы, наблюдается слабое развитие растений снижается набор вегетативной массы, отмечается недобор урожая. Для смягчения вредного воздействия протравителей на семена можно добавлять в рабочие смеси микробиологические препараты. Снижение количества пестицидов и наращивание объемов применения биологических средств защиты растений становятся новым мировым трендом и фактором конкурентоспособности продукции сельского хозяйства (Морозов и др. 2019).

Значительный интерес представляют биопрепараты на основе грибов рода *Trichoderma* и бактерий на основе штаммов *Pseudomonas*. Целью исследований являлась сравнительная оценка влияния фунгицида Vitavax 200 FF в рекомендованной дозировке и баковых смесей с биопрепаратами на всхожесть семян пшеницы сорта Молдова-614 при обработках до посева.

### **Объекты и методы исследования**

Исследования проводили в 2019-2020 гг в лабораторных условиях. Для снижения пестицидной нагрузки на семена исследовали действие баковых смесей протравителя семян Vitavax 200 FF и биопрепаратов для подавления развития корневых гнилей. Материалом служили семена озимой пшеницы сорта Молдова-614.

Фунгицид Vitavax 200 FF - действующее вещество: Карбоксин 200г/л + Тирам 200 г/л, водно-суспензионный концентрат, протравитель для зерновых колосовых, кукурузы и гороха против корневой гнили, возбудителей головни, септориоза, используется более чем на 30 культурах. Норма расхода для предпосевной обработки семян пшеницы 2,5 л/т. В Российской Федерации номер государственной регистрации 193-02-1188-1, дата окончания срока регистрации 26.01.2024. (Pesticidy.ru). В Молдове ранее закупленные остатки этого препарата разрешено



использовать до конца 2021 года без дальнейшего продления регистрации (Registru de Stat..., 2020).

Для создания баковых смесей использовали разработанные нами грибные биопрепараты Trichodermin-SC и Gliocladin-SC с действующим началом грибов-антагонистов *Trichoderma viride* Pers. (syn. *T. lignorum* (Tode) Harz.) штамм М-10 и *T. virens* Miller, Giddens and Foster, штамм 3X, соответственно. Из бактериальных препаратов использовали Rizoplan, продуцент *Pseudomonas fluorescens* AP-33 (3481) и Paurin, продуцент *P. fluorescens* СК-330D. Биопрепараты внесены в Государственный реестр средств фитосанитарного назначения Республики Молдова: Trichodermin-SC и Gliocladin-SC для предпосевной обработки семян подсолнечника и сои с нормой расхода 0,5л/т, Rizoplan для обработки семян пшеницы - 0,5 л/т, Paurin для обработки саженцев винограда 3,0%-й водной суспензией. Варианты баковых смесей: 1) из рекомендованных норм расхода пестицида и биопрепаратов, 2) снижение пестицидной нагрузки на 20%, 3) снижение пестицидной нагрузки на 40%, 4) снижение пестицидной нагрузки и биопрепаратов на 50%. Для сравнения включены варианты обработки семян биопрепаратами Trichodermin-SC и Gliocladin-SC с нормой расхода 0,5л/т. Контроль – семена без обработки.

Подготовленными баковыми смесями обрабатывали семена и проращивали в кюветах в нестерильной почве чернозем +10% песка при температуре 20<sup>0</sup>С. Повторность трехкратная. Через семь дней определяли действие баковых смесей измерением биометрических показателей проростков: учитывали всхожесть, длину ростка и корня, массу 100 ростков.

Совместимость пестицида и продуцентов биопрепаратов определяли на агаризованных питательных средах методом фильтровальных дисков для грибов и методом лунок для бактерий (Егоров, Н.С. 2004).

### **Результаты и обсуждение**

Как выбрать оптимальную концентрацию пестицида и биопрепарата для баковой смеси? Некоторые авторы, специалисты станций защиты растений считают, что химический и биологический препараты должны применяться в рекомендованных нормах расхода, пестицид подавит патогены, а биологическое средство снизит негативное влияние химической нагрузки (Рекомендации по протравливанию семян..., 2021). В наших экспериментах применение баковых смесей в рекомендованных дозировках химического и биологических препаратов проявилось в снижении всхожести и ингибировании проростков. Так, в вариантах Vitavax, 2,5 л/т+Trichodermin-SC, 0,5 л/т и Vitavax, 2,5 л/т+Gliocladin-SC, 0,5 л/т длина ростка снизилась на 0,7-3,9%, длина корня на 0,6-1,2%, а масса 100 ростков на 0,7-1,4%, по сравнению с фунгицидом Vitavax 200 FF. Всхожесть составила 84-88% (табл. 1).

При обработке семян грибными биопрепаратами в рекомендованных дозировках происходило увеличение всех показателей развития проростков, по сравнению с применением фунгицида Vitavax 200 FF. Trichodermin-SC увеличивал длину ростка на 6,6%, длину корня на 7,6%, массу 100 ростков на 11,7% при всхожести 96%. При использовании биопрепарата Gliocladin-SC всхожесть составила 98,8%, длина ростка была больше на 5,3%, длина корня на 8,1%, масса 100 ростков на 11,4%, по отношению к Vitavax.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
 к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица 1. Влияние препаратов в рекомендованных дозировках на биометрические показатели проростков пшеницы сорта Молдова-614

№	Вариант	Всхожесть, %	Длина ростка, см	Длина корня, см	Масса 100 ростков, г
1	Vitavax 200 FF, 2,5л/т	96,0	15,2	17,2	9,92
2	Vitavax, 2,5л/т+Trichodermin-SC, 0,5л/т	84,0	15,1	17,0	9,85
3	Vitavax, 2,5л/т+Gliocladin-SC, 0,5л/т	88,0	14,6	17,1	9,78
4	Trichodermin-SC, 0,5л/т	96,0	16,2	18,5	11,08
5	Gliocladin-SC, 0,5л/т	98,8	16,0	18,6	11,05
6	Контроль	97,2	14,9	16,7	9,64
НСР0,05		6,7	0,55	0,53	0,39

В контроле всхожесть составила 97,2%, однако развитие проростков было хуже, по сравнению с вариантами № 1-5 (табл. 1).

При снижении нормы расхода химического протравителя семян на 20% без снижения дозировок биопрепаратов (вар. № 7-10), отмечено улучшение показателей развития проростков. В смеси с грибными биопрепаратами длина ростка была больше на 3,9-5,3%, длина корня на 4,7-7,6%, масса 100 ростков на 6,5-7,6%. В смеси с бактериальными препаратами показатели несколько повысились: длина ростка была больше на 7,2-7,9%, длина корня на 5,2-8,1%, масса 100 ростков на 4,2-8,7%, по сравнению с применением пестицида в рекомендованной норме расхода 2,5 л/т. (табл. 2).

При снижении нормы расхода пестицида на 40% (вар. № 11-12) всхожесть составила 94,7% в обоих вариантах. Длина ростка и длина корня мало отличались от предыдущих вариантов № 7-10, а масса 100 ростков превышала пестицид на 3,8-4,3% (табл. 2).

Таблица 2. Биометрические показатели проростков пшеницы сорта Молдова-614 при снижении пестицидной нагрузки на 20% и 40%

№	Вариант	Всхожесть, %	Длина ростка, см	Длина корня, см	Масса 100 ростков, г
1	Vitavax 200 FF, 2,5л/т	96,0	15,2	17,2	9,92
7	Vitavax, 2,0л/т+Trichodermin-SC, 0,5л/т	96,0	15,8	18,0	10,67
8	Vitavax, 2,0л/т+Gliocladin-SC, 0,5л/т	93,2	16,0	18,5	10,56
9	Vitavax, 2,0л/т+Rizoplan, 0,5л/т	97,2	16,3	18,6	10,78
10	Vitavax, 2,0л/т+Paurin, 0,3л/т	93,2	16,4	18,1	10,34
11	Vitavax, 1,5л/т+Trichodermin-SC, 0,5л/т	94,7	15,8	18,0	10,30
12	Vitavax, 1,5л/т+Gliocladin-SC, 0,5л/т	94,7	15,7	18,5	10,35
НСР0,05		5,7	0,61	0,57	0,32

При уменьшении пестицидной нагрузки и биопрепаратов на 50% отмечено значительное снижение всхожести, в вариантах № 13-15 проросшие семена составили 72-85,3%. Несмотря на то, что длина ростка и корня превышали показатели пестицида в рекомендованной дозе, отмечено снижение массы 100 ростков на 11,8-13,2% (табл. 3).

Совместимость продуцентов биопрепаратов и протравителя Vitavax 200 FF определяли на агаризованных питательных средах. В результате экспериментов установлено, что пестицид не подавляет рост биологических агентов и компоненты баковых смесей совместимы (рис. 1).

Таблица 3. Биометрические показатели проростков пшеницы сорта Молдова-614 при снижении пестицидной нагрузки и биопрепаратов на 50%

№	Вариант	Всхожесть, %	Длина ростка, см	Длина корня, см	Масса 100 ростков, г
1	Vitavax 200 FF, 2,5л/т	96,0	15,2	17,2	9,92
13	Vitavax, 1,25л/т+Trichodermin-SC, 0,25л/т	85,3	15,8	18,0	8,73
14	Vitavax, 1,25л/т+Gliocladin-SC, 0,25л/т	72,0	15,9	17,6	10,0
15	Vitavax, 1,25л/т+Rizoplan, 0,25л/т	80,0	15,8	18,2	8,75
16	Vitavax, 1,25л/т+Paurin, 0,15л/т	92,0	15,8	17,5	8,61
НСР0,05		6,0	0,37	0,62	0,44

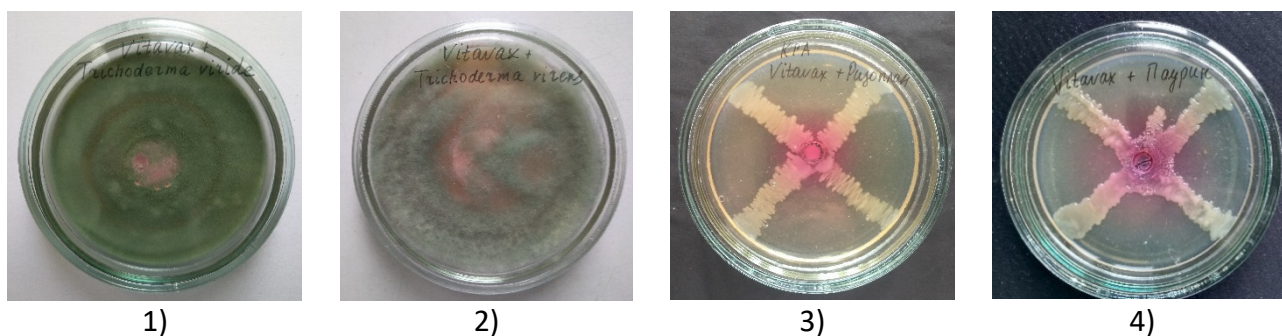


Рис. 1. Совместимость пестицида Vitavax 200 FF и продуцентов биопрепаратов  
 1) – Vitavax + *T.viride*, 2) – Vitavax + *T.virens*,  
 3) – Vitavax + *P.fluorescens* AP-33 (3481), 4) – Vitavax + *P.fluorescens* CK-330D

### Выводы

В результате проведенных исследований было определено, что для снижения пестицидного пресса на семена пшеницы, улучшения экологической ситуации в агроценозах и получения продукции с незначительным содержанием остаточных количеств ядохимикатов, можно применять для предпосевной обработки семян баковые смеси протравителя Vitavax 200 FF с биопрепаратами со сниженной нормой расхода фунгицида на 20% и 40% без изменения дозировки биопрепаратов. При использовании смесей наблюдается увеличение длины ростка на 3,3-7,9%, длины корня на 4,7-8,1%, массы 100 ростков на 3,8-8,7%, по сравнению с применением фунгицида Vitavax 200 FF.

### Благодарности.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Государственной программы № 20.80009.7007.16 Республики Молдова.

### Список литературы / References

- Ганиев М.М., Недорезков, В.Д. Химические средства защиты растений. М.: КолосС, 2006, 248 с.  
 Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках. М.: «Наука». МГУ, 2004, 528 с.  
 Морозов Д.О., Коршунов, С.А., Любовецкая, А.А. и др. Современные системы интегрированной защиты сельскохозяйственных растений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019, 92 с.  
 Пестициды. [https://www.pesticity.ru/pesticide/vitavaks\\_200](https://www.pesticity.ru/pesticide/vitavaks_200) - дата обращения 5.05.2021  
 Рекомендации по протравливанию семян яровых зерновых культур в весенний период 2021 года. <https://rosselhoccenter.com/otdel-zashchity-rastenij-9> - дата обращения 2.03.2021.  
 Registrul de Stat al produselor de uz fitosanitar și al fertilizantilor, permise pentru utilizare în RM. <http://www.pesticide.md/registrul-de-stat/> - дата обращения 5.05.21.

**REDUCTION OF PESTICIDE LOAD ON WHEAT SEEDS DURING TREATMENT BEFORE SOWING OF TANK MIX WITH BIOPRODUCTS**

T.I. SCERBACOVA, S.M. CRUCEAN

*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection Republic of Moldova,  
tscerb@gmail.com*

**Abstract.** The effect of tank mixtures of the seed dressing Vitavax 200 FF and biologics to suppress the development of root rot of wheat variety Moldova-614 was studied in laboratory conditions. To create tank mixes, biological products Trichodermin-SC, Gliocladin-SC, Rizoplan and Paurin were used. The mixtures were formulated based on the recommended application rates for the pesticide and biologics; reduction of pesticide load by 20% and 40%; reduction of pesticide load and biological products by 50%. It was found that when using the recommended dosages of biologics in tank mixtures, there is a decrease in the development of seedlings. With a decrease in pesticide load by 20% and 40%, the indicators improve, compared with the use of the pesticide in the recommended dosage. With a decrease in the pesticide load and biological products by 50%, the germination of seeds and the mass of 100 sprouts are reduced.

**Keywords:** pesticide load, biologics, tank mix, wheat.

**ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ *ORYZA SATIVA L.* ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ  
СОРТОВ РИСА К Пониженным температурам**

С. А. ЮРЧЕНКО, Т. Л. КОРОТЕНКО

ФГБНУ «Федеральный научный центр риса» (ФГБНУ «ФНЦ риса»),

п. Белозерный, г. Краснодар [tr.senya.yurchenko@mail.ru](mailto:tr.senya.yurchenko@mail.ru)

**Аннотация.** Рис — это субтропическая культура, которая отрицательно реагирует на низкие температуры. Необходимо выделить холодоустойчивый материал из коллекции «ФНЦ риса», адаптивный к пониженным температурам в период прорастания и всходов. На основании проведенной оценки 50 образцов, высеянных в различные сроки, отобраны наиболее продуктивные образцы, устойчивые к пониженным температурам.

**Ключевые слова.** рис (*Oryza s. L.*), генетические ресурсы, холодоустойчивость, интенсивность роста, срок посева

**Введение**

Рис является одной из ценных в мировой продовольственной безопасности зерновых культур. По площади возделывания она превышает 155 млн. га., а более чем у 3,5 млрд человек эта культура выступает в качестве основного продукта питания [1]. Низкие температуры являются одним из главных факторов, ограничивающих продуктивность и географическое распространение сельскохозяйственных растений на планете [2]. Так как рис является субтропической культурой, он требователен к теплу во все фазы вегетации, а восприимчивость отдельных сортов к пониженным температурам в период всходов и прорастания, лимитирует сроки производственных посевов и ареал возделывания.

Актуальной задачей современной селекции является получение высокоурожайных и экологически устойчивых сортов к нерегулируемым факторам внешней среды. Российское рисоводство является одним из самых северных в мире. Поэтому крайне важно, для получения высокой урожайности, включать в севооборот холодостойкие сорта. По данным Гущина Г.Г. (1938) для получения всходов риса оптимальная температура воздуха должна составлять 20-25°C, а минимальная 10-12°C. [3]. В период посева семян в Краснодарском крае могут наблюдаться пониженные температуры воздуха (менее 12-14°C), что приводит к снижению полевой всхожести и изреженности посевов риса. Важным является подбор селекционного материала, устойчивого к данному фактору внешней среды. Исходные формы должны обладать способностью быстро прорасти при пониженной температуре [4].

Для эффективного выведения сортов с адаптивными свойствами необходимо вести целенаправленный подбор родительских форм с нужными признаками. На сегодняшний день УНУ «Коллекция Федерального научного центра риса» (г. Краснодар) насчитывает более 7,3 тыс. образцов риса, включающие достижения отечественной и мировой селекции 42 стран мира. Образцы коллекции адаптированы к экологическим условиям России, однако необходимо провести оценку на их продуктивность при воздействии пониженных температур в условиях раннего посева. Целью исследования являлось проведение комплексной оценки набора образцов риса для выделения холодостойкого материала в условиях юга России, по результатам которой будет сформирована признаковая коллекция. Создание признаковой коллекции и базы данных позволит сократить время поиска и облегчить селекционерам подбор родительских линий.

**Объекты и методы исследования**

Материалом для исследования являются зарубежные и отечественные сорта риса в количестве 50 образцов, полученные из международных питомников холодоустойчивости института IRRI

(Филиппины). В качестве стандартов холодостойкости использовали сорт отечественной селекции Кубань 3 и казахской селекции Арал 22.

Объект исследования: влияние различных сроков посева на интенсивность роста растений в начале вегетации и формирование элементов продуктивности образцов коллекции риса; генотипические особенности.

Для изучения прохождения фаз вегетации в разных температурных режимах посев проводили сухими семенами в сосуды в два срока: 30 апреля и 20 мая. Закладка вегетационного опыта, подкормка минеральными удобрениями, наблюдения за ростом и развитием растений, описание генотипов по морфологическим признакам, фенологические наблюдения, визуальные оценки проводились по методикам «ВНИИ риса» и согласно Методическим указаниям по изучению мировой коллекции риса и классификатору рода *O. Sativa L.* (1982) [5]. Математическую обработку данных проводили при помощи программы Microsoft Excel.

Для определения устойчивости образцов к пониженным температурам, проводили визуальную оценку интенсивности роста проростков, где 1 - низкая, а 9 - высокая интенсивность роста. Данный экспресс-метод дает возможность определить скорость прорастания семян, а использование разных сроков посева позволило поместить идентичные генотипы в различные температурные условия и оценить влияние температур в условиях вегетационной площадки на формирование элементов продуктивности и биологические свойства образцов. Отбор проводили по высокой интенсивности роста растений отбирали образцы с наиболее стабильными показателями элементов продуктивности растений по двум срокам посева.

### **Результаты и обсуждение.**

Проблема холодостойкости занимает важное место в системе оценки сортов на устойчивость к неблагоприятным факторам среды. В ходе исследования было протестировано 50 образцов, 33 из которых были отобраны как холодостойкие. В таблице 1 показано 18 наиболее перспективных сортообразцов, включая стандарты.

Показатель интенсивности роста проростков стандарта Кубань 3 в условиях первого срока посева были в пределах 5 баллов, а при втором сроке посева увеличился до 7 баллов. В тоже время интенсивность роста у стандарта Арал 22 была стабильна, в обоих сроках посева равнялись 7 баллам. По данному признаку следует отметить следующие образцы под номерами: 04074, 04887, 165-09, 177-09, 86-01, К-3928, которые были выше или на уровне стандартов, что характеризует их как наиболее адаптивные к изменению срока посева.

Следует отметить, что при втором сроке посева вегетационный период по всем образцам сократился в среднем на 11 дней. Длительность периода всходы-полная спелость у образцов под номерами 165-09 и К-3928 существенно не менялась (сократилась на 2 и 4 дня соответственно) при посеве 20 мая.

Элементы продуктивности растений представлены двумя признаками (табл.1): «количеством колосков на метелке» и «массой зерна с метелки», которые дают возможность оценить потенциал исследуемых образцов. Дисперсионный анализ данных показала, что по двухфакторному опыту (где фактор А – это генотип, фактор В – дата посева) нулевая гипотеза отвергается. Расчет коэффициента детерминации показал, что по признаку «количество колосков на метелке» доля влияния фактора А - 50,54%, доля влияния фактора В – 13,3 %, взаимодействия факторов АВ – 24,31%, а по признаку «масса зерна с метелки» фактор А – 57,51%, фактор В - 10,14%, взаимодействие факторов АВ – 19,26%.

№ каталога	Название образца	Количество колосков на метёлке, шт.			Масса зерна с метелки, гр.			Вегетационный период, дней		Интенсивность роста, балл	
		Фактор В дата посева		Средняя фактора А	Фактор В дата посева		Средняя фактора А	30.04	20.05	30.04	20.05
		30.04	20.05		30.04	20.05					
0816	Заря	87,3	69,3	78,3	2,1	2,1	2,1	92	83	5	5
<b>01310</b>	<b>Кубань 3 - стандарт</b>	<b>86,7</b>	<b>110,3</b>	<b>98,5</b>	<b>2,3</b>	<b>3,2</b>	<b>2,8</b>	<b>104</b>	<b>92</b>	<b>5</b>	<b>7</b>
04074	Лидер	125,0	162,3	143,7	3,1	4,1	3,6	116	105	7	7
04672	Тогускен	100,3	120,0	110,2	3,0	3,2	3,1	115	104	7	5
<b>04674</b>	<b>Арал 22 - стандарт.</b>	<b>82,0</b>	<b>91,3</b>	<b>86,7</b>	<b>2,5</b>	<b>3,2</b>	<b>2,8</b>	<b>107</b>	<b>94</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
04887	Кубояр	119,0	119,7	119,3	2,9	3,1	3,0	113	103	7	7
243-06	Yanyoagi 99	88,3	112,0	100,2	1,9	2,3	2,1	119	103	5	7
250-06	Zhongyov 207	112,7	137,7	125,2	2,5	2,9	2,7	124	114	9	7
255 - 08	ПВ-1 Kirkpinar	63,7	105,3	84,5	2,2	2,9	2,6	120	105	7	5
165-09	TREAON 88088 - TR-1113	70,0	64,0	67,0	2,1	1,7	1,9	127	125	7	7
177-09	96010 - TR 1749-5-1-1	114,3	159,7	137,0	2,7	3,3	3,0	108	97	9	7
235-09	Tong Jing 29	91,0	200,3	145,7	2,3	3,6	3,0	108	96	5	7
483-10	IRTON AA25752/09 Jodo	122,0	104,0	113,0	3,0	3,1	3,0	114	104	5	7
126-12	AA 30085/2011 99023	138,3	158,0	148,2	3,5	3,7	3,6	115	103	5	7
52-13	GALA	85,0	155,0	120,0	2,5	3,3	2,9	125	113	7	7
93-15	LH 1	109,0	120,7	114,8	2,7	2,8	2,7	121	107	5	7
86-01	Девзра	63,0	90,0	76,5	1,8	1,6	1,7	101	93	7	9
К-3928	Рис суходольный	81,3	59,7	70,5	1,7	1,7	1,7	93	89	7	9
	Средняя фактора В	94,6	117,5		2,2	2,9		116	105		

Фактор А - генотип

$$\begin{aligned}
 HCP_{05} &= 21,3; & HCP_{05} &= 0,5; \\
 HCP^A_{05} &= 15,1; & HCP^B_{05} &= 3,0; & HCP^A_{05} &= 0,4; \\
 & & & & HCP^B_{05} &= 0,1
 \end{aligned}$$

Расчет наименьшей существенной разницы по признаку «количество колосков на метелке» показал, что  $HCP^B_{05}$  - 3,0 шт. Существенная разница главного эффекта «фактора В» между сроками посева составила 19,9 шт. По главному эффекту «фактора А» (данные таблицы 1) видно, что наименьшее количество колосков формировал образец TREAON 88088 - TR-1113 - 67,0 шт., а наибольшее количество - у образца AA 30085/2011 99023 – 148,2 шт., тем самым разница между наименьшим и наибольшим количеством колосков составила 81,2 шт., что на 66,1 шт. больше, чем

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

НСР<sup>A</sup><sub>05</sub> - 15,1 шт. У 8 образцов (04074, 04887, 250-06, 250-06, 177-09, 235-09, 126-12, 52-13, 93-15) главный эффект «фактора А» был выше показателя НСР стандарта Кубань-3. Анализ частных средних по признаку «количество колосков на метелке» показал, что 4 образцах (04074, 250-06, 177-09, 126-12) превышали показатели НСР стандарта Кубань-3 в условии первого и второго срока посева.

Анализ НСР<sub>05</sub> по признаку «масса зерна с метелки» показал, что главный эффект фактора В равен 0,1 гр., таким образом существенное отличие составляет 0,58 гр. По главному эффекту фактора А видно, что наибольшая масса зерна с метелки была на образцах 126-12 и 04074, существенная разница которых составила 0,38 и 0,32 гр. соответственно, превышая стандарт Арал22. На остальных образцах значения были в пределах НСР. Анализ оценки частных средних показал, что образцы 126-12 и 04074 превышали показатели стандарта Арал 22 при двух сроках посева. Таким образом сорт Лидер и образец АА 30085/2011 99023 (Турция) были самыми продуктивными по массе зерна с растения при двух сроках посева.

### Выводы

В результате проведенного исследования из 50 образцов было отобрано 33 образца, как наиболее устойчивые к пониженным температурам в период сева и с хорошими селекционными признаками. Что предоставляет селекционерам возможность выбора образцов различного географического происхождения (Россия, Украина, Италия, Казахстан, Япония, Филиппины, Китай, Турция, Вьетнам, Корея, Узбекистан).

При проведении оценки выделились образцы под номерами по каталогу 04074 – сорт Лидер (Россия) и 126-12 - АА 30085/2011 99023 (Турция). Они отличались высокой интенсивностью роста, на уровне стандартов, на ряду с показателя продуктивности выше стандартов, которые подтверждены показателем НСР и были выше по всем срокам. Так же следует отметить сокращение периода вегетации на все исследуемых образца. Так среднегрупповой показатель продолжительности вегетационного периода на втором сроке сократился на 11 дней, при этом продуктивность растений второго срока посева превысила первый: по числу колосков на 19 шт., а по массе зерна на 0,33гр. У сорта Лидер, при позднем сроке посева, он сократился на 11 дней, а у образца под номером 126-12 на 12 дней.

### Список литературы / References

1. Коротенко Т.Л. Резистентность к возбудителю пирикулярноза и морфобиологические особенности генотипов коллекции *Oryza S. L.* из разных эколого-географических групп в условиях Кубанской зоны рисосеяния / Т.Л. Коротенко, О.А. Брагина, И.И. Супрун, Ж.М. Мухина, Ю.В. Епифанович, А.А. Петрухненко, Т.А. Хорина / Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т.22. No 1. - С. 69-78.
2. Zeng, Y. Geographical distribution and cold tolerance at booting stage of the second core collection of rice landraces (*Oryza sativa*) from Yunnan, China / Y. Zeng, S. Li, S. Shen, Z. Zhang, X. Pu, L. Qi / Plant genetic resources newsletter // - FAO. - Rome, 2005. - N 143. - P. 51-55.
3. Гуцин Г. Г. Рис / Г. Г. Гуцин. – М.: Огиз – Сельхозгиз, 1938. – 840 с.
4. Скаженник М.А. Методы физиологических исследований в рисоводстве / Скаженник М.А., Воробьев Н. В., Досеева О. А.- Краснодар, 2009. -24 с.
5. Методические указания по изучению мировой коллекции риса и классификатор рода *Oryza L.* Ленинград: ВИР,1982. - 34 с.



**ORYZA SATIVA L. SOURCE MATERIAL FOR IMPROVING THE RESISTANCE OF DOMESTIC RICE VARIETIES TO LOW TEMPERATURES**

S. A. YURCHENKO, T. L. KOROTENKO

*Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Rice Centre» (FSBSI «FSC of Rice»),  
Belozerny, Krasnodar, mr.senya.yurchenko@mail.ru*

**Abstract.** Rice is a subtropical crop that reacts negatively to low temperatures. It is necessary to select a cold-resistant material from the collection of "FSC of Rice", adaptive to low temperatures during germination and seedling stages. Based on the assessment of 50 samples sown at different times, the most productive samples resistant to low temperatures were selected.

**Keywords.** Rice (*Oryza s. L.*), genetic resources, cold tolerance, growth rate, sowing time.

## **БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛНОЦЕННОСТЬ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА И ПРИЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ РОСТОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАСТЕНИЙ В ПОЛЕВЫХ И РЕГУЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ**

М.В. АРХИПОВ<sup>1</sup>, Н.С. ПРИЯТКИН<sup>1</sup>, Л.П. ГУСАКОВА<sup>1</sup>, П.А. ЩУКИНА<sup>1</sup>, Т.С. РУТКОВСКАЯ<sup>1</sup>,  
Н.Н. ПОТРАХОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,  
Санкт-Петербург, E-mail: prini@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),  
Санкт-Петербург, E-mail: kzhamova@gmail.com, nn@eltech-med.com

**Аннотация.** В процессе производства зерна разного целевого назначения как в России, так и за рубежом используются различные агротехнологии по выращиванию, уборке, сушке и послеуборочной обработке. Реализация агротехнологий в промышленном семеноводстве приводит к разной степени скрытой поврежденности структуры зерновки, негативно влияющей на ростовой потенциал семени и технологические характеристики зерна.

**Ключевые слова:** качество семян и зерна, рентгенография, ростовой потенциал семян.

### **Введение**

Проблема биологического разнообразия и вопросы неоднородности посевного материала до сих пор остаются актуальными, требующими получения новых знаний о причинах скрытой разнокачественности зерновки и возможных путях производства семян и зерна с минимальным уровнем скрытой поврежденности (Макрушин и др. 2018). В данной работе был использован неинвазивный анализ внутренней целостности зерновки, который проводился на основе метода мягко-лучевой микрофокусной рентгенографии с прямым увеличением для зерна различного целевого назначения.

Данная технология является пионерной в мировом семеноведении и промышленном семеноводстве и обладает отечественным приоритетом. Ее применение в прецизионных анализах индивидуальной зерновки и массовом досмотре производственных партий зерна показало перспективность рентгенографии для контроля качества семян, получаемых в полевых и регулируемых условиях (Архипов и др., 2020; Архипов, Прияткин и др., 2020).

### **Объекты и методы исследования**

Объектами исследования служили образцы зерна семенного назначения ячменя сортов Криничный и Суздалец, сформированные в 4-х районах Ленинградской области в 2017 году. Рентгенографический анализ образцов партий семян осуществлялся методом цифровой микрофокусной рентгенографии путем отбора контрольных проб в 4-х кратной повторности. Объем стандартной пробы для рентгенографии, как и для определения всхожести семян по ГОСТу 12038-84 - 400 штук семян.

Съемку проводили с 3-кратным увеличением изображения зерновки на передвижной рентгенодиагностической установке ПРДУ-02. В качестве приемника изображения использовали твердотельный плоскочелюстной детектор рентгеновского излучения форматом 240x300 мм. С его помощью рентгеновское изображение семян выводили на экран монитора для визуального наблюдения или анализа изображений по специально разрабатываемой программе.

### **Результаты и обсуждение**

В результате проведенных экспериментов было установлено, что выявленные скрытые дефекты зависят от режимов получения зерна в условиях мелко-деляночных или производственных

опытов. Так, анализ результатов семян, сформированных в Ленинградской области в условиях мелкоделяночного прецизионного опыта, показал, что в структуре зерновки выявляются два вида скрытых дефектов - начальная стадия внутреннего прорастания (66%) и ЭМИС (17%).

Было установлено, что в условиях производственного опыта выявляются три вида дефектов: трещиноватость (до 79%), ЭМИС (до 33%) и поврежденность зародыша (до 27%). Показатель скрытой дефектности – трещиноватость был зарегистрирован только при получении семенного материала в промышленном семеноводстве и отсутствовал для семян, сформированных в мелкоделяночных экспериментах. При этом было показано, что в производственных условиях при послеуборочной подработке семенного вороха наиболее травмирующим является режим сушки, который и проявляется в возникновении в партиях зерна такого дефекта, как скрытая трещиноватость.

Такой подход, основанный на инвазивном изучении структурных особенностей зерновки, позволяет решать, как теоретические, так и прикладные задачи, а именно:

- проводить оценку степени целостности внутренних структур зерновки;
- анализировать причины, вызывающие возникновение дефектов природного и техногенного характера;
- проводить оценку связи различных типов скрытых дефектов зерновки с ее ростовым потенциалом;
- проводить мониторинг качества партий зерна сразу после его уборки при осуществлении массовых анализов;
- отбирать наилучшие партии зерна семенного, продовольственного или фуражного назначения, оптимизируя при этом расходы на необходимые для получения оптимального урожая агресурсы (семена, протравители, удобрения и др.).

Решение всех этих задач позволит обеспечить производства зерна с минимальным уровнем скрытой травмированности и выведет отечественное семеноводство на новый более высокий технологический уровень, обеспечив его конкурентоспособность на мировом семенном рынке. Следует отметить, что результаты, полученные в проведенных экспериментах при рентгенографическом досмотре партий зерна, позволяют получить количественную оценку степени скрытой поврежденности и существенно дополнить традиционные показатели внешней травмированности, выявляемой на основе традиционных методик. В данной работе были получены принципиально новые результаты о скрытой целостности зерновки и ее связи с ростовым потенциалом. До настоящего времени данные о скрытой поврежденности зерна различного целевого назначения не были системно изучены в промышленном зернопроизводстве и исследования в указанном направлении необходимо расширять. В ближайшей перспективе усовершенствование отечественного физико-технического и информационного базиса рентгенографии, проводимое в Агрофизическом институте, позволит разработать алгоритм научной поддержки отечественных производителей семян, необходимой для получения высококачественного семенного материала, снизив тем самым уровень зависимости отечественного семенного рынка от импортных семян.

## **Выводы**

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости и актуальности применения неинвазивного рентгенографического метода для детального анализа структурных особенностей семян, в первую очередь, различного типа скрытых дефектов и аномалий, возникающих при получении семенного материала в полевых и регулируемых условиях.

Такой подход является принципиально новой научно-методической базой, позволяющей изучать различные типы скрытых дефектов, возможные причины их возникновения и на этой основе разрабатывать агротехнологии, обеспечивающие получение семенного материала с минимальным уровнем скрытой поврежденности.

### Список литературы

- Макрушин Н. М., Плугарь Ю. В., Малько А. М., Макрушина Е. М., Шабанов Р. Ю. Инновационные аспекты учения об онтогенезе, формировании, отборе и оценке качества семян. Симферополь: Полипринт, 2018. 248 с.
- Архипов М.В., Прияткин Н.С., Гусакова Л.П., Щукина П.А. Связь показателей структурной целостности зерновки с реализацией ее ростового потенциала // Таврический вестник аграрной науки. 2020. №2(20). С.8-16. DOI: 10.33952/2542-0720-2-22-8-16.
- Архипов М.В., Прияткин Н.С., Щукина П.А., Гусакова Л.П., Потрахов Н.Н., Малько А.М., Данилова Т.А., Плугатарь Ю.В., Макрушин Н.М. Рентгенография в промышленном семеноводстве // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (84). С.48-60. DOI: 10.21515/1999-1703-84-48-60.

### References

1. Makrushin N. M., Plugar Yu. V., Malko A.M., Makrushina E. M., Shabanov R. Yu. Innovative aspects of the theory of ontogenesis, formation, selection and evaluation of seed quality. Simferopol: Polyprint, 2018. 248 p.
2. Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Gusakova L. P., Shchukina P. A. The relationship of indicators of the structural integrity of the grain with the realization of its growth potential // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No.2(20). P. 8-16. DOI: 10.33952/2542-0720-2-22-8-16.
3. Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Shchukina P. A., Gusakova L. P., Potrakhov N. N., Malko A.M., Danilova T. A., Plugatar Yu. V., Makrushin N. M. Radiography in industrial seed production // Works of the Kuban State Agrarian University. 2020. No. 3 (84). P. 48-60. DOI: 10.21515/1999-1703-84-48-60

### BIOLOGICAL USEFULNESS OF SEED MATERIAL AND METHODS FOR REALIZING GROWTH POTENTIAL WHEN GROWING PLANTS IN FIELD AND REGULATED CONDITIONS

M.V. ARKHIPOV<sup>1</sup>, N.S. PRIYATKIN<sup>1</sup>, L.P. GUSAKOVA<sup>1</sup>, P.A. SHCHUKINA<sup>1</sup>, T.S. RUTKOVSKAYA<sup>1</sup>,  
N.N. POTRAKHOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ahrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russia, E-mail: prini@mail.ru;

<sup>2</sup>The First Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg, Russia E-mail: kzhamova@gmail.com

**Abstract.** In the process of producing grain for various purposes, both in Russia and abroad, various agricultural technologies are used for growing, harvesting, drying and post-harvest part-time work. The implementation of agricultural technologies in industrial seed production leads to varying degrees of hidden damage to the structure of the caryopsis, which negatively affects the growth potential of the seed and the technological characteristics of the grain.

**Keywords:** quality of seeds and grain, radiography, growth potential of seeds.

**РЕГРЕССИОННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ РАСТЕНИЙ В УСКОРЕННОМ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ СОРТОИСПЫТАНИИ**

Н.А. ШЕЛОУХОВА

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),  
Санкт-Петербург, *batygin@mail.ru*

**Аннотация.** Проведена оценка количественных признаков злаков в серии испытаний в полевых условиях и в РАЭС. Построены регрессионные модели с использованием аппроксимации с помощью функций «экспоненциальной», «полиномиальной» и «нормальной». Выявлено, что регрессионные модели количественных признаков, полученные для РАЭС, более точно отражают широту нормы реакции генотипа на среду, чем в полевых испытаниях.

**Ключевые слова:** экологическое сортоиспытание, РАЭС, *Triticum aestivum* L., регрессионный анализ

Экологическое сортоиспытание новых образцов зерновых культур с целью оценки количественных признаков продуктивности растений в разной среде предшествует Госсортоиспытанию и длится не менее трех лет в одном или нескольких регионах. Кроме традиционного испытания сортов на оптимальных фонах удобрений под воздействием естественной почвенной влажности, разработаны схемы ускоренного испытания в условиях регулируемой агроэкосистемы (РАЭС) (Стефанова и др., 2002; Лыкова и др., 2009). На примере пшеницы в РАЭС было проведено моделирование 9 вариантов сред, с варьированием параметрами ГТК и NPK, причём в таком диапазоне действия двух факторов, в котором заведомо сортообразец будет давать меньший урожай наряду с максимально возможным (при соблюдении оптимальных условий). Одним из методов математической обработки результатов сортоиспытания является метод регрессионного анализа.

Условно все математические модели биологических систем можно разделить на регрессионные, качественные и имитационные (Плюснина и др., 2014). Регрессионные зависимости - это формулы, описывающие связь различных характеристик системы, не претендуя на физический или биологический смысл этих зависимостей. Для построения регрессионной модели достаточно статистически достоверных наблюдаемых корреляций между переменными или параметрами системы.

Экспериментально были выбраны 12 фитометрических признаков растений пшеницы для примера математического моделирования результатов экологического испытания посредством регрессионных зависимостей. Это признаки, характеризующие группу растений: X1 – урожайность (г/м<sup>2</sup>), X9 – масса 1000 зёрен (г); одно растение: X2 – кустистость общая (шт./раст.), X3 – кустистость продуктивная (шт./раст), X10 – масса растения (г), X11 – масса зерна с растения (г); и развитие главного побега: X4 – длина соломины (см), X5 – длина колоса (см), X6 – число колосков (шт.), X7 – число цветков (шт.), X8 – число зёрен (шт.), X12 – масса зёрен (г).

Для аппроксимации данных использовали «экспоненциальную», «полиномиальную», «нормальную» функции в виде:

$$U = F_1^{b_1} \cdot F_2^{b_2} \cdot \exp(b_0 + F_1 \cdot b_3 + F_2 \cdot b_4 + F_1 \cdot F_2 \cdot b_5), \quad (a)$$

где  $U$  – урожай зерна с единицы площади (1 м<sup>2</sup>);  $F_1$  – NPK, кг/га д.в.;  $F_2$  – ГТК. параметры ( $b_i$ ) модели каждого сорта определялись методом наименьших квадратов.

$$F(x, y) = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2, \quad (b)$$

где  $x, y$  – факторы среды,  $F(x, y)$  – функция отклика, соответствующая изучаемому количественному признаку. Параметры  $b_0 - b_2$  характеризуют линейную часть нормы реакции по признаку на фактор среды, а  $b_3 - b_5$  – отражают нелинейную часть реакции в ответ на воздействие факторов среды.

$$f(X, Y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left[\left(\frac{X-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2 - 2\rho\left(\frac{X-\mu_x}{\sigma_x}\right)\left(\frac{Y-\mu_y}{\sigma_y}\right) + \left(\frac{Y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right]\right) \quad (c)$$

$-\infty < X < \infty, -\infty < Y < \infty, -\infty < \mu_x < \infty, -\infty < \mu_y < \infty, \sigma_x > 0, \sigma_y > 0$  и  $-1 < \rho < 1$ ; где  $x, y$  — факторы среды,  $f(X, Y)$  — функция отклика, соответствующая изучаемому количественному признаку,  $\mu_x, \mu_y$  — соответствующие средние случайных величин  $X$  и  $Y$ ;  $\sigma_x, \sigma_y$  — соответствующие стандартные отклонения случайных величин  $X$  и  $Y$ ;  $\rho$  — коэффициент корреляции  $X$  и  $Y$ .

Необходимо было определить, какая же модель регрессии, с использованием какой аппроксимации, с помощью функций «экспоненциальная», «полиномиальная» или «нормальная», наиболее пригодна для оценки опытных данных в экологическом сортоиспытании. Сначала была построена поверхность отклика по каждому признаку (X1-X12) с использованием каждой функции (a, b, c). Рассчитанные в результате аппроксимаций значения соответствовали каждому признаку и каждой функции (Шелухова, 2016). Не все признаки соответствовали нормальному распределению (Шелухова, 2019). Был применён непараметрический критерий Колмогорова-Смирнова (K-S). Двухвыборочный критерий K-S чувствителен не только к различию в положении 2 распределений, но также и к форме распределения (Лемешко и др., 2017). Фактически он чувствителен к любому отклонению от гипотезы однородности, но не указывает, с каким именно отклонением мы имеем дело. Статистики критерия K-S выражаются через максимальное (минимальное) значение разности между выборочной и теоретической функциями распределения или их оценками. Двухвыборочный критерий K-S основан на статистике  $D_{m,n} = \sup|F_m(x) - G_n(x)|$ .

Значения максимального расстояния между поверхностями ( $D_{m,n}$ ) и вероятность этого события (P) при сравнении значений 3 функций с опытными данными  $x$  (яровая пшеница) представлены в Табл. 1, 2. Было показано, что условия РАЭС соответствуют большому числу совпадений значений распределений опытных и теоретических, а значит, являются лучшими для математического моделирования экологического испытания. Не удалось, однако, подобрать адекватную модель для признака X2. И для признака X3 в нашем случае годился только опыт в РАЭС и полиномиальная функция.

Таблица 1. Тест K-S о равенстве 2 распределений в полевых опытах

Признаки	x-a			x-b			x-c		
	$D_{m,n}$	K-S	P	$D_{m,n}$	K-S	P	$D_{m,n}$	K-S	P
X1	0,13	0,67	<b>0,75</b>	0,15	0,77	<b>0,59</b>	0,39	2,02	0,00
X2	0,37	1,92	0,00	0,39	2,02	0,00	0,50	2,60	0,00
X3	0,44	2,31	0,00	0,39	2,02	0,00	0,63	3,27	0,00
X4	0,15	0,77	<b>0,59</b>	0,15	0,77	<b>0,59</b>	0,61	3,18	0,00
X5	0,17	0,87	<b>0,45</b>	0,19	0,96	<b>0,31</b>	0,30	1,54	0,02
X6	0,17	0,87	<b>0,45</b>	0,17	0,87	<b>0,45</b>	0,31	1,64	0,01
X7	0,13	0,67	<b>0,75</b>	0,13	0,67	<b>0,75</b>	0,22	1,16	<b>0,14</b>
X8	0,17	0,87	<b>0,45</b>	0,17	0,87	<b>0,45</b>	0,24	1,25	<b>0,09</b>
X9	0,19	0,96	<b>0,31</b>	0,15	0,77	<b>0,59</b>	0,39	2,02	0,00
X10	0,13	0,67	<b>0,75</b>	0,19	0,96	<b>0,31</b>	0,31	1,64	0,01
X11	0,30	1,54	0,02	0,28	1,44	0,03	0,33	1,73	0,01
X12	0,33	1,73	0,01	0,31	1,64	0,01	0,35	1,83	0,00
Число совпадений	8			8			2		

жирн. шрифт — практич. и теоретич. распределения совпадают с  $P\{F_{\text{теор}} \geq F_{\text{exp}}\} > 0.05$

Таблица 2. Тест К-S о равенстве 2 распределений в условиях РАЭС

Признаки	x-a			x-b			x-c		
	$D_{m,n}$	K-S	P	$D_{m,n}$	K-S	P	$D_{m,n}$	K-S	P
X1	0,14	0,97	<b>0,31</b>	0,30	2,01	0,00	0,20	1,34	<b>0,05</b>
X2	0,30	2,01	0,00	0,41	2,76	0,00	0,33	2,24	0,00
X3	0,40	2,68	0,00	0,10	0,67	<b>0,76</b>	0,61	4,10	0,00
X4	0,11	0,75	<b>0,63</b>	0,16	1,04	<b>0,23</b>	0,43	2,91	0,00
X5	0,14	0,97	<b>0,31</b>	0,12	0,82	<b>0,53</b>	0,18	1,19	<b>0,12</b>
X6	0,16	1,04	<b>0,23</b>	0,11	0,75	<b>0,63</b>	0,18	1,19	<b>0,12</b>
X7	0,14	0,97	<b>0,31</b>	0,14	0,97	<b>0,31</b>	0,16	1,04	<b>0,23</b>
X8	0,17	1,12	<b>0,16</b>	0,12	0,82	<b>0,53</b>	0,19	1,27	<b>0,08</b>
X9	0,10	0,67	<b>0,76</b>	0,21	1,42	<b>0,04</b>	0,29	1,94	0,00
X10	0,18	1,19	<b>0,12</b>	0,16	1,04	<b>0,23</b>	0,26	1,71	0,01
X11	0,11	0,75	<b>0,63</b>	0,20	1,34	<b>0,05</b>	0,23	1,57	<b>0,14</b>
X12	0,21	1,42	0,04	0,20	1,34	<b>0,05</b>	0,34	2,31	0,00
Число совпадений	9			9			6		

**жирн. шрифт** — практич. и теоретич. распределения совпадают с  $P\{F_{\text{теор}} \geq F_{\text{exp}}\} > 0.05$

Сравнение распределений случайной величины  $Z = f(X, Y)$ , вычисленных по функциональным зависимостям  $a$ ,  $b$  или  $c$  для группы признаков, показало лучшие результаты для степенных функций  $a$  и  $b$ , чем для функции  $c$ . Вероятно, это связано с тем, что объединение данных по разным вариантам и генотипам не всегда соответствует нормальному распределению. Полиномиальная функция соответствует дискретному распределению и является в таком случае более универсальной. В любом случае, подбор функции отклика для каждого конкретного признака и опыта позволяет на 17% улучшить результат аппроксимации.

Таким образом, опыты с заданными и/или учтенными лимитирующими значениями факторов среды являются универсальным исследованием взаимодействия «генотип-среда» по целому ряду количественных признаков, как в полевых условиях (Букреева и др., 2015), так и в РАЭС при соответствующем подборе функций подгонки и группы признаков. Для признаков «урожайность», «масса зерна с растения» и «высота растения» любая функция подгонки даёт поверхность отклика, соответствующую полученным данным. Для других признаков может потребоваться подбор функции аппроксимации. Полином II степени даёт как правило надёжный результат сравнения генотипов в испытании воздействия среды по целому ряду количественных признаков.

В испытании, помимо обеспечения лимфакторов, необходимо достичь также оптимальных значений среды для реализации потенциала какого-либо генотипа. Это одно из условий сохранения генетических ресурсов растений (Чесноков, Косолапов, 2016). То есть ЭСИ не возможно без испытаний в оптимальных условиях (регионах, областях, где возделывание испытываемого вида растений предпочтительно). Опытным путем оптимум условий необходимо достичь посредством моделирования факторов среды в соответствии с принципом ускоренного испытания генотипов (Лыкова, 2008): испытание в РАЭС при дисперсности среды (от оптимума к пессимумам) и гомогенности (генетической и экофизиологической) семенного материала. Необходимо так совершенствовать сортоиспытание, чтобы потенциала продуктивности растений можно было достичь экспериментально для каждого генотипа.

Таким образом, задача математического аппарата — описать эффекты селекционных воздействий, предварительно выявив закономерности внутрисистемных взаимодействий «генотип-среда» (Драгавцев, 2018). Для прогнозирования количественных признаков простые математические модели не всегда эффективны. До сих пор сортоиспытания нуждаются в

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

улучшении математического аппарата, способного достаточно эффективно описать поведение сортообразцов в наборе экологических ниш. Мы имеем математические модели, которые справедливы лишь для определённых регионов и конкретного, ограниченного набора сортов. Для задач интродукции и сортоиспытаний необходимы, в первую очередь, модели, способные прогнозировать поведение сортов и гибридов для любых агроклиматических условий и любого географического пункта промышленных зон возделывания. Разработка таких моделей позволит сократить временные и трудовые затраты при интродукции и сортоиспытаниях (Жученко, 2003), обеспечить надёжность ЭСИ и стабильность зернового сектора страны (Архипов и др., 2017).

Таким образом, регрессионные модели генотипов, полученные на основании данных ускоренного испытания генотипов в РАЭС – адекватные. Поверхность отклика, заданная экспоненциальной, полиномиальной или нормальной функциями отражает реакцию генотипа на среду. Признаки «урожайность», «высота растений» и «масса зерна с растения» (для злаков) являются удобными для получения краткого отчёта по ускоренному экологическому сортоиспытанию.

### **Список литературы / References**

- Архипов М.В., Данилова Т.А., Гусакова Л.П., Прияткин Н.С., Шелоухова Н.А. Актуальные проблемы повышения эффективности науки в обеспечении выполнения ключевых задач продовольственной безопасности в зерновом секторе страны // Труды КубГАУ, 2018, №71. С.5-9.
- Букреева Г.И., Грицай Т.И., Домченко М.И. Особенности формирования качества зерна озимой мягкой пшеницы в контрастных погодных условиях // Тр. КубГАУ. 2015, № 56. С. 85-91
- Драгавцев В.А. Как «устроены» признаки продуктивности растений и почему России необходим Селекционный фитотрон // Тр. КубГАУ. 2018, №72. С. 134-141
- Жученко А. А. Экологическая генетика культурных растений. Самара, 2003. 260с.
- Лемешко Б. Ю., Лемешко С. Б., Веретельникова И. В. О применении критериев проверки однородности законов распределения // Вестн. ТГУ. Управл., вычислит. техн. и инф-ка. 2017, № 41. С. 24–31.
- Лыкова Н.А. Принцип ускоренного испытания генотипов // Доклады Россельхозакадемии. 2008, №3. С. 3–4
- Лыкова Н.А., Виличко А.К., Ермаков Е.И. Эффект экофизиологического последствия у растений пшеницы и ячменя // Продукционный процесс растений: теория и практика эффективного и ресурсосберегающего управления. Тр. Всеросс. конф. с междунар. участием. - СПб: АФИ, 2009. С. 83-84
- Плюснина Т.Ю., Фурсова П. В., Тёрлова Л. Д., Ризниченко Г. Ю. Математические модели в биологии. М. Ижевск: НИЦ «РХД», 2014. 136 с.
- Стефанова Н.А., Виличко А.К., Алексеева Д.И., Потапова С.М., Батыгин Н.Ф. Проблемы экологического испытания зерновых культур и пути их решения // Гумус и почвообразование. СПб, 2002 СПбГАУ. С. 138-157.
- Чесноков Ю.В., Косолапов В.М. Генетические ресурсы растений и ускорение селекционного процесса. Москва: ООО «Угрешская типогр.», 2016. 172 с.
- Шелоухова Н.А. Нелинейное оценивание количественных признаков растений пшеницы // Мат-лы Всеросс. Науч. конф. (с междунар. уч.) «Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления». СПб, 21.09. 2016 г. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. С. 320-325
- Шелоухова Н.А. Сравнительные аспекты применения регрессионного метода оценки количественных признаков растений в естественных условиях и в регулируемой агроэкосистеме // Матер. II Межд. науч. конф. «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего», посвящ. памяти акад. Е.И. Ермакова. СПб, 02.10. 2019 г. СПб: ФГБНУ АФИ, 2019. С.484-485



**REGRESSION METHOD FOR ESTIMATING OF THE PLANT QUANTITATIVE CHARACTERS IN THE RAPID  
ECOLOGICAL VARIETY TESTING**

N.A. SHELOUKHOVA

*Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, batygin@mail.ru*

**Abstract.** The quantitative characteristics of cereals were evaluated in a series of tests in the field and in RAES (regulated agroecosystem). Regression models are constructed using approximation using the functions exponential, polynomial and normal. It was revealed that regression models of quantitative traits obtained for RAES more accurately reflect of the genotype reaction norm than those in field experiments.

**Keywords:** ecological variety testing, regulated agroecosystem, *Triticum aestivum L.*, regression analysis

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ АГРОАДАПТОГЕНОВ СЕРИИ КАА

А.А. КОМАРОВ (МЛАДШИЙ)<sup>1</sup>, Э.Ю. НУГИС<sup>2</sup>, А.А. КОМАРОВ (СТАРШИЙ)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ленинградский НИИСХ «Белозорка» – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»  
E-mail: kommon87@mail.ru;

<sup>2</sup>Estonian Crop Research Institute, J. Aamisepa 1, 48309 Jõgeva vald, Estonia;

<sup>3</sup>ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ),  
Санкт-Петербург, agrophys.inst@yandex.ru;

**Аннотация.** Представлены данные по использованию в практике растениеводства новых удобрительных композиций на полимерной основе. Комплексные агроадаптогены серии КАА оказали высокую эффективность при выращивании разнообразных культур в разных регионах возделывания. Отличительная особенность КАА от всех предыдущих комплексных удобрений в том, что их свойства определяются не совмещением различных элементов питания, а многокомпонентным составом функциональных средств, закрепленным в матрицу полимера. При этом синергетический эффект КАА обеспечивается новым качеством, свойственным экосистемной эмерджентности.

**Ключевые слова.** Полимерные удобрения, «Витанолл», комплексные агроадаптагены (КАА)

### Введение

В последнее время в практике сельскохозяйственного производства все шире используются агрофизические подходы в системе управления «почва-растения-окружающая среда». Одним из эффективных инструментов при этом служат полимерные соединения, выполняющие разнообразную роль. Так, полимерные основы используются в соляризации при дезинфекции почвы, основанной на ее пассивном нагреве солнечными лучами, проходящими через прозрачную полимерную пленку-мульчу (Stapleton, 2000). Другой подход в использовании полимеров представляет применение их в качестве основы для удобрений, например для формирования комплексных агроадаптогенов (КАА). Особенностью новых полимерных удобрений серии КАА является то, что их основой (матрицей) является органический полимер регулярного состава (Комаров, Комаров, 2018). В состав полимера включены макро- и микроэлементы (известного состава, который дифференцирован в зависимости от марки удобрения), а также физиологические регуляторы (в том числе гумусовые модельные соединения с заданным механизмом физиологического действия). К числу подобных соединений относится препарат «Стимулайф», который не является элементом питания, однако именно он способен направить потоки питательных элементов в те или иные органы растений, выступая в качестве экзогенного регулятора роста и развития растений. Тем самым он способен регулировать ускорение ростовых процессов и получение более ранней и урожайной продукции. Полимерные удобрения обладают новыми особенностями, свойственными ряду гумусовых веществ: поверхностно-активными и адгезивными по отношению к поверхности листовой пластины, способностью депонировать, а затем пролонгировано снабжать элементами питания вегетирующее растение, протекторными и защитными свойствами. В тоже время, в отличие от гуматов, они обладают строго заданным химическим составом, структурой и другими необходимыми для идентификации продукта свойствами.

Целесообразность и высокая эффективность новых видов удобрений на полимерной основе показана в инновационных исследованиях. Так, в исследованиях проводимых в 2017–2018 гг. на экспериментальной базе ФГБНУ ВНИИКХ на фоне дробно-локального внесения минерального удобрения азофоска (16:16:16) в дозе ½ от рекомендуемой расчетной нормы с применением полимерного препарата «Матрица роста» (15 % ВРК – биологически активное полифункциональное полимерное соединение) проводились эксперименты на пяти сортах картофеля (Ред Скарлетт, Ильинский, Голубизна, Накра и Никулинский) разных сроков

созревания (Шабанов, Хутинаев и др., 2019). В среднем за два года при применении препарата «Матрица роста» по всем испытываемым сортам получена прибавка урожайности 5,1 т/га (18 %) или до 100 тыс. руб./га условного чистого дохода (Старовойтова, Шабанов и др. 2020).

### **Объекты и методы исследования**

Полевые эксперименты с использованием удобрений КАА, проводили в разных регионах России, в Казахстане и Эстонии. В качестве основы КАА выступали полимерные удобрения серии «Витанолл».

### **Результаты и обсуждение**

Изучаемые полимерные удобрения показали их высокую эффективность в разных условиях возделывания, на разных культурах и сортах. Так, КАА предложены для дифференцированного внесения в системе точного земледелия в качестве средств управления ростом и развитием растений (Комаров, Комаров, 2018). В производственных экспериментах, проведенных в условиях Ленинградской области показано, что в высокоинтенсивных технологиях возделывания культурных растений некорневые обработки растений гуминовыми и полимерными удобрениями обеспечивают высокую эффективность с чистым доходом 5–10 тыс. руб/га (Суханов, Комаров и др., 2019).

Изучая эффективность действия комплексного удобрения «Витанолл-N» и гуминового удобрения «Гумостим» было установлено, что у скороспелого сорта Средневолжский прибавка относительно контроля составила 17,6–25,1%. Анализ результатов лабораторных и полевых опытов показал достаточно высокую корреляционную зависимость между морфометрическими показателями проростков и урожайностью зелёной массы сортов донника однолетнего. У изучаемых сортов наибольшая связь урожайности установлена с длиной корешка ( $r = 0,71-0,72$ ) и массой корешков ( $r = 0,66-0,84$ ). В меньшей степени продуктивность сопряжена с параметрами надземной части проростков. У обоих сортов отмечена средняя положительная связь с массой ростков,  $r = 0,35-0,50$  (Казарина, Марунова, 2020). В работах по совершенствованию процесса и методики клонального микроразмножения сортов картофеля установлена перспективность использования новых препаратов типа Витанолл (Федорова, Федорова, Яловик, 2019). За счет применения этих препаратов проведен подбор питательных сред на всех этапах культивирования. Созданы оптимальные условия размножения для перспективных сортов картофеля. Было выявлено положительное влияние регуляторов роста растений на рост, развитие, продуктивность и выход семенной фракции картофеля (Зайцева, Федорова, 2019).

В производственных опытах, проведенных в 2021 году в Краснодарском крае с картофелем голландской селекции (Арроу), была подтверждена высокая эффективность использования технологии с применением КАА (табл.). Когда на опытном участке заменили удобрения и стимуляторы роста растений, традиционно применяемые в хозяйстве, на препараты группы Витанолл и Нодикс была уменьшена норма расхода некоторых дорогостоящих удобрений для картофеля. При этом дозировку Нутриванта сократили в два раза, Изабиона – в 4 раза. Стоимость комплекса обработок картофеля с применением технологии Витанолл составила 7767 руб./га, в то время как по технологии предприятия затраты на 1 га составляют 11068 рублей (<http://tdzelenit.ru/>).

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица. Эффективность включения полимерного комплекса «Витанолл» в технологический процесс возделывания картофеля (<http://tdzelenit.ru/>)

Период обработки	ОПЫТ			КОНТРОЛЬ (Технология хозяйства)		
	Наименование препарата	Норма расхода	Стоимость, руб./га	Наименование препарата	Норма расхода	Стоимость, руб./га
Клубни	Серкадис, кг/га	0,8		Серкадис, кг/га	0,8	
	Монарх, кг/га	0,05		Монарх, кг/га	0,05	
	комплект Витанолл® инкрустатор + ТУК	1 к-т/20т	570,00	Радифарм	1,0	2116,00
	биопротравитель Нодикс®	0,1 л/т	255,00			
Всходы	Карбамид	5,0 кг/га		Карбамид	5,0 кг/га	
	<b>Изабион</b>	<b>0,25 л/га</b>	<b>322,25</b>	<b>Изабион</b>	<b>1,0 л/га</b>	<b>1289,00</b>
	комплект Витанолл® микро + ТУК	1 к-т/5га	700,00	Агрифос Ж	2,0 л/га	1224,00
	Витанолл® NP	1 л/га	295,00			
	Витанолл® смачиватель универсальный	0,05 л/га	142,50			
Смыкание рядков	Танос	0,6 кг/га		Танос	0,6 кг/га	
	комплект Витанолл® микро + ТУК	1 к-т /5га	700,00	GRAMITREL	2,0 л/га	1400,00
	Витанолл® NP	1 л/га	295,00	Фульвитал универсальный	0,25 кг/га	625,00
	Витанолл® смачиватель универсальный	0,05 л/га	142,50			
Фаза бутонизации	Ревус Топ	0,6 л/га		Ревус Топ	0,6 л/га	
	<b>Нутривант картофель</b>	<b>2,0 кг/га</b>	<b>900,00</b>	<b>Нутривант картофель</b>	<b>4,0 кг/га</b>	<b>1800,00</b>
	комплект Витанолл® микро + ТУК	1 к-т /5га	700,00	Фульвитал классика	0,5 кг/га	625,00
	Витанолл® РК	1 л/га	760,00			
	Витанолл® смачиватель универсальный	0,05 л/га	142,50			
Фаза цветения	Икар Калисто калий	1 л/га	700,00	Икар Калисто калий	1 л/га	700,00
	Ревус Топ	0,6 л/га		Ревус Топ	0,6 л/га	
	Витанолл® РК	2 л/га	760,00	Изабион	1 л/га	1289,00
	Витанолл® микро	0,5 л/га	240,00			
	Витанолл® смачиватель универсальный	0,05 л/га	142,50			
ИТОГО	<b>7767,25 руб.</b>			<b>11068,00</b>		

Биологическая урожайность картофеля на опытном варианте оказалась выше контрольной на 30%, по результатам уборки урожайность опытного участка превышала контрольный вариант на 10 т/га. Также применение технологии Витанолл + Нодикс оказало положительное влияние на равномерность налива клубней. На опытном участке было значительно больше выровненных клубней товарной фракции (рис.).



Рис. Влияние технологии «Витанолл» на урожайность картофеля

### Выводы

Установлено, что даже на фоне высокоинтенсивных технологий комплексные агрохимикаты серии КАА (с включением в их состав гуматов) позволяют значительно повысить урожайности зерновых, овощных и других культур на 20–37%. Комплексные удобрения серии КАА отличаются от всех предыдущих комплексных удобрений тем, что их свойства определяются не совмещением различных элементов питания, а многокомпонентным составом различных функциональных средств. При этом синергетический эффект обеспечивается новым качеством, свойственным экосистемной эмерджентности.

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Полимерная матрица КАА позволяет повысить эффективность различных биологически активных веществ путем перевода их в формы с контролируемым выделением активного вещества. К настоящему времени описано большое число таких систем, содержащих постепенно выделяющиеся биологически активные и лекарственные вещества различного типа. При этом используется два механизма. Первый, когда активное вещество не связано химически с полимерным носителем и выделяется из системы за счет диффузионных факторов или биodeградации носителя и второе, когда оно постепенно выделяется за счет разрыва, главным образом за счет гидролиза, химической связи между полимерным носителем и остатком регулятора, входящим в состав макромолекулярной системы. Именно этот, последний механизм, наиболее соответствует действию КАА.

### Благодарности

Авторы выражают признательность руководству и специалистам хозяйств за выполнение полевых экспериментов и внедрение в практику производства новых полимерных удобрений серии «Витанолл».

### Список литературы / References

1. Stapleton J.J. Soil solarization in various agricultural production systems // Crop Protect. 2000. Vol.19, N 8/10. P. 837-841.
2. Комаров А.А., Комаров А.А. Перспективы использования комплекса агрохимикатов для дифференцированного его внедрения в качестве средства управления ростом и развития растений // Агрохимический вестник. 2018. № 6. С. 34-38.
3. Шабанов Н. Э., Хутинаев О. С., Старовойтова О. А., Манохина А. А. Применение биологически активных полифункциональных полимерных соединений при возделывании картофеля // Вестник ФГОУВПО Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина. 2019. 3(91). С. 45-50.
4. Старовойтова О.А., Шабанов Н.Э., Хутинаев О.С., Манохина А.А. Биологически активные полифункциональные полимерные соединения при возделывании картофеля // Материалы международной конференции «Перспективы развития агропромышленного и лесного производства союзного государства России и Белоруссии». Нижний Новгород, 26.09.2019 г. 2020. С. 166-170.
5. Штильман М.И., Шашкова И. М., Добрынин А.А., Тсатсакис А. Полимерный материал для регулирования роста и развития растений // Патент на изобретение № 2515886 RU.
6. Суханов П.А., Комаров А.А., Пермьяков Е.Г., Комаров А.А. Производственные эксперименты применения гуматов в Ленинградской области // Материалы Третьей Всерос. научно-практич. Конф. «Проблемы и перспективы биологического земледелия; актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства». Ростов-на-Дону - Рассвет, 01–03 октября 2019 г. С. 145-148.
7. Казарина А.В., Марунова Л.К. Урожайность сортов донника белого однолетнего в зависимости от действия препаратов для обработки семян и вегетирующих растений в лесостепи Самарского Заволжья // Кормопроизводство. №8. 2020. С. 27-32.
8. Федорова Л.Н., Федорова Ю.Н., Яловик А.В. Особенности развития процесса морфогенеза микрорастений картофеля в условиях *in vitro* // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Великие Луки, 11–12 апреля 2019 г. С. 69-74.
9. Зайцева М.И., Федорова Ю.Н. Совершенствование технологии производства семенного картофеля в условиях северо-западного региона РФ // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Великие Луки, 11–12 апреля 2019 г. С. 15-29.
10. Результаты применения технологии Витанолл + Нодикс на картофеле сорт Аррой в КФХ Тронь С.А. (Калининский район, Краснодарский край). <http://tdzelenit.ru/>.

**APPLICATION OF COMPLEX AGROADAPTAGENS OF THE KAA SERIES**

A. A. KOMAROV (JUNIOR)<sup>1</sup>, E. Yu. NUGIS <sup>2</sup>, A. A. KOMAROV (SENIOR)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre,*

*E-mail: komman83@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Estonian Crop Research Institute, J. Aamisepa 1, 48309 Jõgeva vald, Estonia*

<sup>3</sup>*Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia, agrophys.inst@yandex.ru;*

**Annotation.** The data on the use of new polymer-based fertilizer compositions in the practice of crop production are presented. Complex agroadaptagens of the KAA series have shown high efficiency in growing a variety of crops in different cultivation regions. A distinctive feature of KAA from all previous complex fertilizers is that their properties are determined not by the combination of various nutrition elements, but by the multicomponent composition of functional means fixed in the polymer matrix. At the same time, the synergetic effect of KAA is provided by a new quality inherent in ecosystem emergence.

**Keywords.** Polymer fertilizers, «Vitanoll», complex agroadaptagens (KAA)

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ВОДОПРОЧНОСТИ ПОЧВЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Д.А. УШКОВА, Д.И. ПОТАПОВ, Г.Н. ФЕДОТОВ, И.В. ГОРЕПЕКИН

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

**Аннотация.** Разработана методика определения водопрочности почв, основанная на разрезании линейно расположенных агрегатов при помощи лезвий, находящихся под нагрузкой. Важным условием проведения эксперимента является удаление воздуха из почвенных агрегатов и их последующее увлажнение в вакууме.

Результаты опытов по оценке водопрочности агрегатов различных типов почв коррелируют с данными литературы, повторяя значения точек экстремума для почв, наиболее контрастных по водопрочности своих агрегатов.

**Ключевые слова.** водопрочность почв, методы определения водопрочности почв, пластометр Ребиндера.

### Введение

Одним из ключевых требований к почвам при возделывании на них сельскохозяйственных растений является оструктуренность. Наличие агрономически ценной структуры почвы придает ей ряд ценных производственных свойств: рыхлость, облегчающую прорастание семян и развитие из них растений, благоприятный для развития растений водно-воздушный и тепловой режимы. Выполнение почвой всех этих функций возможно только в том случае, если её агрегаты способны противостоять разрушающему действию воды, т.е. обладают водопрочностью (Вершинин, 1958).

Как следует из литературы (Vogelmann et al., 2013), водопрочность почв связана с их гидрофобностью, т.е. количеством (плотностью) гидрофобных связей. Согласно предложенному Е.В. Шеиным механизму (Шеин, Милановский, 2003), гидрофильные участки ГВ взаимодействуют с глинистыми минералами, а гидрофобные участки взаимодействуют друг с другом, обеспечивая водопрочность почвенной структуры.

К определению водопрочности почвенной структуры существуют различные подходы. Одним из наиболее распространённых является ситовой анализ (Вершинин, 1958; Ревут, 1972; Jordahl, 1991; Amezketa et al., 1996), основанный на определении средневесового диаметра агрегатов, образовавшихся в результате ударного воздействия сит и разрывающего действия защемленного в агрегатах воздуха при рассеивании почвенного образца в воде в колонке сит различного диаметра. Для устранения неконтролируемого влияния защемленного воздуха на процесс распада агрегатов было предложено проводить опыты в условиях вакуума (Ревут, 1972). Другая группа методов изучения водопрочности почвенных агрегатов основана на их разрушении под ударными воздействиями капель воды (Вершинин, 1958; Ревут, 1972; Le Bissonnais, 1996; Cerdà A., 2000).

Также широко распространён метод П.И. Андрианова, в котором ведущую роль в разрушении агрегатов, погруженных в стоячую воду, играют защемленный воздух и расклинивающее действие воды (Вершинин, 1958; Ревут, 1972; Le Bissonnais, 1996).

Основным недостатком всех этих методов является слабая контролируемость (и, как следствие, невозможность) механических воздействий, разрушающих почвенные агрегаты – вибрация при ситовом анализе, удары капель с одновременным разрывающим воздействием защемленного воздуха в «капельном» методе, разрывающее воздействие защемленного воздуха и расклинивающее действие воды в методе Андрианова.

При этом, несмотря на существенные различия в подходах к оценке водопрочности, все перечисленные методы базируются на действии механических сил разной природы и величины, разрывающих связи (удерживающие части агрегатов) погруженных в воду или увлажненных до полной влагоемкости агрегатах.



С рассматриваемых позиций перспективным представляется использование пластометра Ребиндера, применяемого для выявления типов структурных связей в почве и их прочности (Вадюнина, Корчагина, 1986). В этом методе есть хорошо контролируемое механическое воздействие, но отсутствует увлажнение агрегатов перед разрушением и одновременного воздействия на большие количества агрегатов.

Целью исследования была разработка метода, дающего возможность получать однозначные, статистически значимые результаты по водопрочности почвенных агрегатов.

### **Объекты и методы исследования**

В работе использовали образцы:

агродерново-глубокоподзолистой на водно-ледниковых (древнеозерных) отложениях почвы, подстилаемой с глубины 92 см бескарбонатными лёссовидными (покровными) суглинками, окрестности поймы р. Яхрома, Московская область;

чернозема выщелоченного среднемощного на лёссовидном суглинке, Свердловский район, Орловская область;

каштановой среднемощной почвы на элюво-делювиальных суглинках, Иловлинский район, Волгоградская область;

серозема типичного на лёссовидных наносах предгорий, почвенная коллекция Факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова;

красно-коричневой (красноцветной), сформировавшейся на элювии и делювии известняка<sup>1</sup>, мыс Мартьян, Крым.

### **Результаты и обсуждение**

Процесс определения водопрочности состоял из двух этапов: подготовки образцов и проведения измерения.

При подготовке образцов агрегаты почв влажностью 16-18% просеивали через сито с диаметром ячеек 4.5–5 мм и высушивали до воздушно-сухого состояния.

В ходе экспериментов агрегаты помещали в кассету, представляющую собой 2 алюминиевых уголка, закрепленных таким образом, чтобы угол профиля был ориентирован по направлению действия силы тяжести (рис. 1 А). В нижней части профиля были размещены фитили из хлопчатобумажной ткани. В алюминиевые уголки на фитили укладывали по 14 почвенных агрегатов так, чтобы они касались друг друга. Посредством вакуумирования удаляли из агрегатов воздух в течение 15 минут при разрежении 15 кПа, которое было подобрано в ходе предварительных экспериментов. После этого агрегаты в вакууме капиллярно увлажняли. Ввиду неодинаковой смачиваемости агрегатов различных почвенных типов, для каждого из них время капиллярного увлажнения подбирали индивидуально. О завершении процесса судили по образованию на поверхности всех агрегатов пленки воды, которая была хорошо различима.

После увлажнения агрегатов в вакууме кассету извлекали из эксикатора и помещали в расположенную на весах емкость с водой таким образом, чтобы фитили агрегатов обеспечивали полное насыщение агрегатов, достигнутое на этапе вакуумирования. Затем на линейно расположенные агрегаты помещали устройство с лезвиями, на которое устанавливали стаканчик с мерной шкалой (рис. 1. Б). Добавляя песок в стаканчик, увеличивали нагрузку на агрегаты, которую фиксировали при помощи весов. Луч лазера, закрепленный на другом штативе,

<sup>1</sup> Авторы выражают благодарность за образцы чернозема, предоставленные аспиранткой Факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова Решетниковой Р.А.

направленный на мерную шкалу стаканчика, обеспечивал хороший контроль процесса разрушения агрегатов.

С целью стандартизации получаемых данных экспериментально определенную нагрузку в граммах выражали в Ньютонах. Площадь контакта агрегатов с лезвиями определяли по формуле (1):

$$S = n * (a * b) , \quad (1)$$

где  $n$  – количество лезвий (равно 2);

$a$  – толщина лезвия (равна 0,5 мм);

$b$  – длина участка лезвия, контактирующего с агрегатами (равна произведению усредненного диаметра агрегатов – 4,75 мм – на их количество – 14 штук).

Таким образом, определяли величину механического давления (Па), создаваемого при воздействии лезвий на агрегаты. Для получения удельной характеристики, полученное значение делили на общее количество агрегатов в выборке (28 штук).

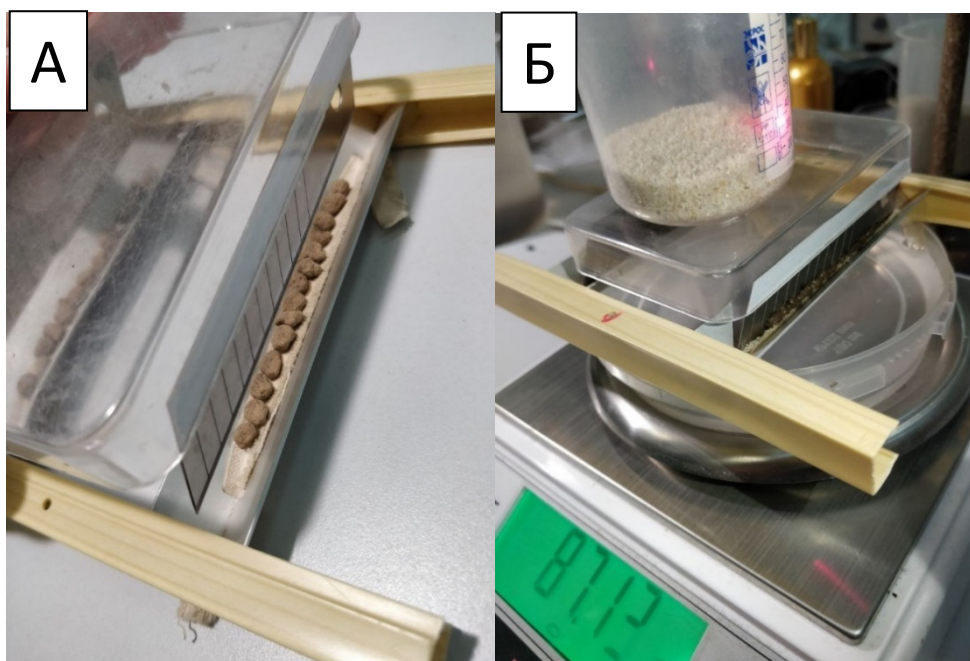


Рис. 1. А – Кассета с фитилем и расположенными на фитиле агрегатами и установка для рассечения агрегатов. Б – Процесс определения водоустойчивости агрегатов

Эксперименты проводили в шестикратной повторности, что позволяло оценивать водопрочность агрегатов с ошибкой, не превышающей 15% при 95% доверительной вероятности. Разработанный способ оценки водопрочности получил название метода «лезвий».

Для проверки корректности результатов, полученных при помощи разработанного метода, была проведена оценка водопрочности воздушно-сухих агрегатов различных типов почв (рис. 2, кривая I). Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что максимальные значения водопрочности агрегатов отмечены для чернозема и красно-коричневой почвы, а наименьшие – для серозема и дерново-подзолистых почв. Агрегаты каштановой почвы занимают промежуточное положение. Ход полученной кривой с представленными на ней точками экстремума соответствует данным (рис. 2 кривая II), представленным И.Б. Ревутом (Ревут, 1972), что подтверждает возможность использования метода лезвий для оценки водопрочности почвенных агрегатов.

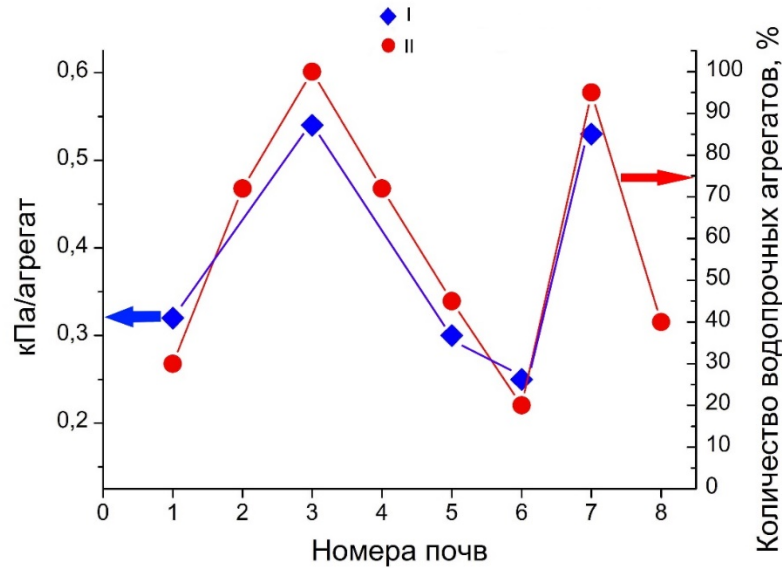


Рис. 2. Сравнение результатов экспериментов по оценке водопропрочности почвенных агрегатов с литературными данными (Ревут, 1972). Номерам почв соответствуют:

Кривая I: 1. Дерново-подзолистая почва; 3. Чернозем; 5. Каштановая почва; 6. Серозем; 7. Красно-коричневая (красноцветная) почва.

Кривая II (Ревут, 1972): 1. Подзолистые почвы; 2. Деградированные черноземы; 3. Мощные черноземы; 4. Обыкновенные черноземы; 5. Каштановые почвы; 6. Сероземы; 7. Красноземы; 8. Подзолы субтропиков.

## Выводы

Разработан метод по оценке водопропрочности почвенных агрегатов. Его достоинствами являются технологическая простота, точность и высокая производительность. При этом наличие корреляции между результатами проведенных экспериментов и данными литературы свидетельствует о возможности использования данного метода в практике оценки водопропрочности почвенных агрегатов.

## Список литературы / References

1. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат. 1986. 416 с
2. Вершинин П.В. Почвенная структура и условия ее формирования М.: Издательство Академии наук СССР. 1958. 188 с.
3. Ревут И.Б. Физика почв. Изд. 2-е, дополн. и переработ. Л.: «Колос». 1972. 368 с.
4. Шеин Е.В., Милановский Е.Ю. Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов // Почвоведение. 2003. №1. С. 53-61.
5. Amezketa E., Singer M. J., Le Bissonnais Y. Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation // Soil Science Society of America Journal. 1996. V. 60. no. 3. P. 888-894.
6. Cerdà A. Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia // Soil and Tillage Research. 2000. V. 57. no 3. P. 159-166.
7. Jordahl J. L. Soil management impact on the water stability of soil aggregates / Retrospective Theses and Dissertations. 1991. 151 p.
8. Le Bissonnais Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology // European Journal of soil science. 1996. V. 47. no. 4. P. 425-437.
9. Vogelmann E. S., Reichert J. M., Prevedello J., Awe G. O., Mataix-Solera J. Can occurrence of soil hydrophobicity promote the increase of aggregates stability? // Catena. 2013. V. 110. P. 24-31.

**DEVELOPMENT OF METHOD FOR THE WATER STABILITY ASSESSMENT OF SOIL AGGREGATES**

D.A. USHKOVA, D.I. ПОТАПОВ, G.N. FEDOTOV, I.V. GOREPEKIN

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

**Abstract.** A method for determining the water stability of soils based on cutting linearly arranged aggregates with blades under load is developed. An important condition of the experiment is the removal of air from soil aggregates and their subsequent wetting in a vacuum.

The results of the water stability assessment of aggregates of different soil types correlate with the literature data, repeating values of extremum points for soils that are most contrasting in water stability of their aggregates.

**Keywords.** water stability of soil, methods for determination of the water stability of soils, Rebinder plastometer.

**ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ АГРОФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ СРЕДНЕГО ПРИАМУРЬЯ**

Н.А. СЕЛЕЗНЕВА, А.Г. ТИШКОВА

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук обособленное подразделение Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровск. E-mail: nataliselezneva82@mail.ru*

**Аннотация.** Исследования проводились на тяжелосуглинистых почвах Среднего Приамурья для изучения изменения агрофизических и микробиологических показателей. Плотность слоя 0-10 см, увеличилась по сравнению с естественной экосистемой на 0,54-0,58 г/см<sup>3</sup>, 10-20 см – на 0,33-0,34 г/см<sup>3</sup>, 20-30 см – на 0,01-0,08 г/см<sup>3</sup>. Содержание аммонификаторов и амилолитиков снизилось в среднем в 2,1 раза, грибов – в 2,3 раза. Применение минеральных удобрений способствует усилению биологической активности, по сравнению с вариантом без их использования, амилолитическая микрофлора возрастает в 1,7 раза, аммонифицирующая – в 2,4 раза.

**Ключевые слова:** тяжелосуглинистые почвы, плотность, микробное сообщество, агроценоз.

**Введение**

Многочисленными исследованиями доказано, что агротехнические приемы и севооборот влияют на физические, химические и биологические свойства почвы. Влияние сельскохозяйственных методов на активность и состав почвенных микробных сообществ особенно важно, поскольку они играют центральную роль в экологической функции и биологической стабильности и, следовательно, тесно связаны с качеством почвы. Почвенные микроорганизмы ответственны как за минерализацию, так и за стабилизацию органического вещества за счет широкого диапазона ферментативной активности (Zhang, et al., 2014).

Почвенные бактерии и грибы могут улучшить плодородие деградированных земель с помощью различных процессов. Эти микроорганизмы увеличивают биодоступность питательных веществ за счет фиксации азота и мобилизации основных питательных веществ (фосфора, калия и железа) в растение и могут улучшить структуру почвы, улучшая ее агрегацию и стабильность (Rashid, et al., 2016; Heydari, et al., 2021).

В свою очередь, жизнедеятельность микроорганизмов неразрывно связана с окружающей их средой и экологической обстановкой, складывающаяся в той или иной почве. Микробиологическая активность зависит от плотности и влажности почвы, которая определяет условия воздушного режима (Новоселов, 2015; Никульчев, 2020).

**Объекты и методы исследования**

Исследования проводили в 2019–2020 гг. в длительном стационарном опыте Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства (Хабаровский край), заложенном последовательно на трех полях полевого севооборота в 1963–1965 гг. в 8-й ротации севооборота при возделывании овса и сои. Почвенный покров на территории проведения исследований представлен тяжелосуглинистыми почвами с кислой реакцией среды и низким естественным плодородием, которое обусловлено повышенной кислотностью, незначительным содержанием питательных элементов и гумуса, слабой биологической активностью. Схема опыта включала следующие варианты:

Овес: без удобрений – контроль; минеральные удобрения в двойной дозе (N32P32K32); минеральные удобрения в тройной дозе (N48P48K48);

Соя: без удобрений – контроль; минеральные удобрения в двойной дозе (N348P48K48); минеральные удобрения в тройной дозе (N64P64K64);

Материалы III международной научной конференции  
«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Площадь делянок – 150...270 м<sup>2</sup>, повторность – 4-кратная. Образцы отбирали в фазе цветения зерновых культур и сои. Измерения осуществляли в трехкратной повторности, для дальнейших расчетов использовали среднее значение.

Местоположение делянок в агрохимическом стационаре не менялось с 1965 года. Прикопки располагались в реперных точках, заложенных в 1989 году. В прикопках послойно через 10 см буром Некрасова емкостью 50 см<sup>3</sup>, отбирались образцы с ненарушенным сложением для определения плотности скелета почвы и образцы для определения физико-химических свойств почвы в лабораторных условиях.

Пробы для микробиологического анализа отбирали с соблюдением асептики. Общую численность, а также количественной характеристики трех основных групп (аммонифицирующих, амилолитических и грибов) микроорганизмов определяли путем посева на плотные питательные среды с серией последовательных разведений почвенной суспензии, согласно действующим методикам (В. И. Титова и др., 2012).

В полевом севообороте выращивались многолетние травы, кукуруза, соя и зерновые культуры. Обработка почвы заключалась в ежегодной зяблевой вспашке на глубину 25...27 см, весеннем дисковании, бороновании на глубину 8...10 см и междурядных культивациях в посевах сои на профилированной поверхности.

### Результаты и обсуждение

На изменение агрофизических свойств почвы и функционирование микробного сообщества, что приводит к изменению плодородия почв влияют агротехнические (вспашка, применение минеральных удобрений, севообороты) и климатические факторы. Гидротермические условия вегетационного периода в годы исследований различались по количеству тепла и осадков, о чем свидетельствуют значения ГТК: в 2019 г. – 3,3, в 2020 г. – 2,3. Сумма осадков составила соответственно 814,2 мм и 442,3 мм, активных температур – 2481,8 °С и 1961,5°С. Особенно велики различия между среднемноголетними и годовыми показателями отдельных месяцев вегетационного периода. Так, за период исследований (2019-2020 гг.) в июне выпало осадков на 23,8-78,2% больше по сравнению со среднемноголетней нормой.

Переувлажнение почв с тяжелым механическим составом, по данным Басистого В.П. (2008), обусловлено в основном их низким коэффициентом водоотдачи и неравномерным распределением осадков в течении вегетационного периода. Поэтому отвальная вспашка осенью и повторная обработка почвы весной совместно с обработками почвы по вегетации для улучшения водно-воздушного режима в условиях Среднего Приамурья служат условиям для нормального функционирования агроэкосистем. Однако длительная антропогенная нагрузка сопровождается переуплотнением пахотного горизонта в результате действия сельскохозяйственных машин, снижается полевая влагоемкость, ухудшается аэрация почвы. При обильных осадках вода, заполняя почвенные поры более рыхлого горизонта начинает скапливаться над слабопроницаемыми нижележащими горизонтами, образуя верхний слой верховодки. В результате аэрация почвенного профиля снижается и количество доступной влажности уменьшается до 30% (табл. 1).

Плотность почвы 1,12-1,18 г/см<sup>3</sup> в вариантах с внесением минеральных удобрений отмечалась в слое 0-20 см при возделывании овса, соя при менее разветвленной корневой системе способствовала повышению плотности пахотного горизонта до 1,14-1,21 г/см<sup>3</sup>. В контрольном варианте без внесения минеральных удобрений плотность почвы составила под соей 1,16-1,24 г/см<sup>3</sup> и в посевах овса - 1,17-1,22 г/см<sup>3</sup>.

Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference  
**“Agrophysics Trends: from actual challenges in arable farming and crop production towards advanced technologies”**

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

September 14-15, 2021

Таблица 1. Изменение агрофизических свойств тяжелосуглинистой почвы

Вариант культура год	Слой почвы, см	Плотность почвы, г/см <sup>3</sup>			Пористость, %			Пористость аэрации, %			Влажность почвы, %		
		soya	oats	aver	soya	oats	aver	soya	oats	aver	soya	oats	aver
		2019	2020	ee	2019	2020	ee	2019	2020	ee	2019	2020	ee
Естественная экосистема	0-10	0,54	0,64	0,59	76,4	72,2	74,30	46,4	36,1	41,29	55,4	56,4	55,9
	10-20	0,82	0,90	0,86	66,5	63,4	64,95	30,1	22,2	26,14	44,4	45,8	45,1
	20-30	1,20	1,19	1,20	53,7	54,1	53,90	10,2	8,6	9,45	36,2	38,2	37,2
Контроль	0-10	1,16	1,17	1,17	54,8	54,3	54,58	18,6	20,6	19,64	31,2	28,8	30,0
	10-20	1,24	1,22	1,23	51,7	52,5	52,14	13,1	18,9	16,02	31,2	27,5	29,4
	20-30	1,28	1,27	1,28	50,2	50,5	50,39	9,1	17,6	13,40	32,1	25,9	29,0
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0-10	1,14	1,12	1,13	55,6	56,5	56,12	22,3	25,4	23,90	29,2	27,8	28,5
	10-20	1,21	1,18	1,20	53,2	54,2	53,77	16,9	23,9	20,46	30,0	25,7	27,9
	20-30	1,26	1,24	1,25	51,3	52,1	51,74	11,5	22,3	16,95	31,6	24,0	27,8
N <sub>3</sub> P <sub>3</sub> K <sub>3</sub>	0-10	1,16	1,15	1,16	54,5	54,7	54,62	17,9	24,1	21,05	31,5	26,6	29,1
	10-20	1,20	1,17	1,19	53,4	54,3	53,89	14,4	23,9	19,24	32,5	25,9	29,2
	20-30	1,22	1,24	1,23	52,7	51,6	52,14	17,9	20,9	19,40	28,5	24,7	26,6

В сравнении с почвами естественных экосистем, где плотность в слое 0-20 см в среднем составляла 0,59-0,86 г/см<sup>3</sup> плотность агроценозов увеличилась в слое 0-10 см на 0,54-0,58 г/см<sup>3</sup>, в слое 10-20 см на 0,33-0,34 г/см<sup>3</sup>. Изменения плотности в слое 20-30 см в сравнении с естественной экосистемой составили 0,01-0,08 г/см<sup>3</sup>.

Порозность аэрации при переувлажнении в почве природной экосистемы была достаточной для нормального развития растений лишь в слое 0-20 см. Водно-воздушный режим почв зависит не только от количества осадков, но и от оструктуренности пахотного горизонта почвы. Во время ливней значительная часть осадков сбрасывается поверхностным стоком. Это обусловлено тем, что тяжелые почвы, вследствие низкой водоотдачи медленно впитывают воду. В среднем за период исследований влажность почвы в естественных экосистемах в слое 0-30 см составляла 37,2-55,9%, при этом влажность почв агроценоза не превышала 30% по всему пахотному горизонту.

Исследования Соболевой и Лукина (2013), Новоселова (2015), Дегтярёвой и др. (2015) показали, что увеличение влажности почвы способствует увеличению численности микрофлоры почвы. Средний за годы исследований, уровень влажности тяжелосуглинистых почв агроценоза составил 32,96 % и 46,07 % – в почвах, не подвергнутых антропогенной нагрузке. Численность микробонаселения почвы прямо пропорционально зависела от влажности ( $r=0,841$ ). Взаимосвязь между насыщенностью почвы воздухом и численностью микробиома была сильной и прямой ( $r=0,920$ ).

Численность микроорганизмов в почве агроценоза значительно снизилась по сравнению с почвами естественных экосистем: содержание аммонификаторов снизилось в 2,1 раз, также как и амилолитиков, грибов в 2,3 раза (табл.2). Применение минеральных удобрений в севообороте способствует снижению негативного воздействия сельскохозяйственной деятельности на содержание численности микрофлоры почвы, по сравнению с вариантом без их использования, амилолитическая микрофлора возрастает в 1,7 раза, аммонифицирующая – в 2,4 раза.

Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства  
к технологиям будущего»**

ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г.

Таблица 2. Биологические показатели тяжелосуглинистой почвы

Тип почв	Количество микроорганизмов почвы, млн. ед./1 г абсолютно сухой почвы									Общая численность микробиома почвы (на МПА, КАА, Чапек)*, млн. КОЕ/1 г. абс. сух. почвы
	Аммонифицирующая микрофлора (на МПА)			Амилолитическая микрофлора (на КАА)			Грибы (на среде Чапека)			
культура	soя	овес	средн ее	soя	овес	средн ее	soя	овес	средне е	
год	2019	2020		2019	2020		2019	2020		
Естественная экосистема	1,18	1,42	1,3	2,05	2,29	2,17	0,89	1,17	1,03	4,5
Контроль	0,31	0,33	0,32	0,69	0,74	0,72	0,18	0,27	0,23	1,26
N2P2K2	0,49	0,80	0,65	0,84	1,05	0,95	0,38	0,53	0,46	2,045
N3P3K3	0,63	1,21	0,92	1,32	1,55	1,44	0,59	0,75	0,67	3,025

\* среднее за 2019-2020 гг. слой почвы 0-10 см

По данным Новоселова С.И. (2015), увеличение плотности почвы негативно сказывается на численности почвенных микроорганизмов. Результаты наших исследований это подтверждают. Включение земель в сельскохозяйственное производство отрицательно сказывается на физических показателях почвы. Так, плотность верхнего (0-10 см) слоя почвы увеличилась в 1,9 раза по сравнению с естественной экосистемой, а следовательно, снизилось и общее количество микроорганизмов в 2,1 раза. Связи между данными показателями носили сильный отрицательный характер, коэффициент корреляции составлял -0,829.

### Выводы

Агротехническими факторами, воздействующими на почву исследуемого агроценоза, является механическая обработка и внесение минеральных удобрений. Антропогенное воздействие может иметь как положительное воздействие, формирование пахотного горизонта с более высоким водно-воздушными характеристиками, чем почвы естественных экосистем, так и отрицательное – снижение качества почвы, уплотнение. В сравнении с почвами естественных экосистем, где плотность в слое 0-20 см в среднем составляла 0,59-0,86 г/см<sup>3</sup> плотность агроценозов увеличилась в слое 0-10 см на 0,54-0,58 г/см<sup>3</sup>, в слое 10-20 см на 0,33-0,34 г/см<sup>3</sup>. Изменения плотности в слое 20-30 см в сравнении с естественной экосистемой составили 0,01-0,08 г/см<sup>3</sup>.

В результате исследований установили, что численность микроорганизмов существенно меняется в градиенте экосистем от естественных к антропогенно-преобразованным в зависимости от внесения минеральных удобрений, влажности и плотности почвы. Общая численность компонентов микробного ценоза участков во влеченных в сельскохозяйственную деятельность снизилась в 2,1 раза по сравнению с природной экосистемой.

### Список литературы

- Zhang, B., Li, Y., Ren, T. et al. Short-term effect of tillage and crop rotation on microbial community structure and enzyme activities of a clay loam soil // *Biol Fertil Soils*. 2014. Vol. 50 (7). P. 1077-1085. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-014-0929-4>.
- Rashid M. I., Mujawar L.H., Shahzad T., Almeelbi T., Ismail I.M.I., Oves M. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils // *Microbiological Research*. 2016. Vol. 183. P. 26-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007>.
- Heydari L., Bayat H., Gregory A. S. Investigating the effect of inoculation of chickpea with rhizobium and mycorrhizal fungi (*Funneliformis mosseae*) on soil mechanical and physical behavior // *Geoderma*. 2021. V. 385. P. 114860. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114860>.



4. Новоселов С.И. Влияние агроэкологических условий на аммонифицирующую и нитрифицирующую способность почвы // Вестник Марийского государственного университета. 2015. Т. 1. № 4 (4). С. 42-47. ISSN: 2411-9687.
5. Никульчев К.А., Банецкая Е.В. Сравнительная оценка способа возделывания сои в условиях Приамурья // Дальневосточный аграрный вестник. 2020. №3(55). С. 58-67. DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2020-13034>.
6. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: Научно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородская с.-х. академия, 2012. 64 с.
7. Басистый В.П. Основы почвоведения. Почвы российского Дальнего Востока. Хабаровск: ТОГУ, 2008. 171 с.
8. Соболева Е.А., Лукин А.Л. Влияние агроэкологических условий на численность и активность почвенной микрофлоры при выращивании подсолнечника в южной лесостепи ЦЧР // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013. № 1 (36). С. 18-24.
9. Дегтярева И.А., Мотина Т.Ю., Давлетшина А.Я., Ежкова Д.В., Зарипова С.К. Влияние влажности почв на жизнеспособность микроорганизмов, входящих в состав комплексного биоудобрения // Вестник технологического университета. 2015. Т.18. №12. С. 201-203.

#### **THE INFLUENCE OF AGRO-TECHNICAL FACTORS ON THE CHANGE OF AGROPHYSICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF HEAVY-NOSTRICED SOILS OF THE MIDDLE AMUR REGION**

N.A. SELEZNEVA, A.G. TISHKOVA

*Far Eastern Agricultural Research Institute (FIARI)*

The results of studies to determine the influence of agrotechnical factors on soil density, humidity and biological indicators are presented. The research was carried out in 2019-2020 in a stationary experiment on the heavily cosy soils of the Middle Amur region. The aim of the research was to study changes in agrophysical and microbiological indicators of heavy-nosed soils in natural and man-made-transformed ecosystems of the Middle Amur region. It was established that the optimal density regime in the control variant (without fertilizers) 1.16-1.17 g/cm<sup>3</sup> was preserved only in a layer of soil 0-10 cm, when mineral fertilizers were introduced - 1.12-1.21 g/cm<sup>3</sup> in a layer of 0-20 cm. The soil density of agrocenosis in the layer 20-30 cm exceeded the optimal values by 0.02-0.07 g/cm<sup>3</sup>. During flowering, the density of the layer is 0-10 cm, in the waste treatment, increased compared to the natural ecosystem by 0.54-0.58 g/cm<sup>3</sup>, 10-20 cm - by 0.33-0.34 g/cm<sup>3</sup>, 20-30 cm - by 0.01-0.08 g/cm<sup>3</sup>, which negatively affected the aeration of the soil of the agricultural axis. As a result of long-term agricultural use, there was a decrease in agrophysical soil properties, which negatively affected the number of microorganisms in the soil of agrocenosis: the content of ammoniifis and amyloitics decreased by an average of 2.1 times, mushrooms - by 2.3 times. The use of mineral fertilizers contributes to the increase of biological activity, compared to the variant without their use, the amiolitic microflora increases by 1.7 times, ammonifizing - by 2.4 times.

**Keywords.** heavy-dried soils, density, microbial community, agrocenosis.

## АВТОРСКИЙ УКАЗТЕЛЬ

- АБРАМОВА Т. В., 22  
АЙДАРОВ А.Н., 468  
АЛЕКСАНДРОВ Е. Г., 270  
АЛЬБЕРТ Р. Ф., 27  
АНАНЬЕВ А.А., 77  
АНДРОНИК Л.И., 262, 428  
АНДРОНОВ Е. Е., 115  
АНИКИНА Л.М., 316, 371  
АНИСИМОВА Т.Ю., 185  
АНТОНОВ Г. И., 82  
АНТОЧ Л.П., 428  
АНЦИФЕРОВА О. А., 87, 93, 99  
АРТЕМЬЕВА А. М., 16, 274, 348, 400, 460  
АРХАНГЕЛЬСКАЯ Т. А., 27, 61  
АРХИПОВ М.В., 489  
АСЕЕВА Т.А., 463  
БАЛМУШ З. К., 361, 292  
БАРАНОВА Н. В., 310  
БАРАШКОВА А.С., 410  
БАХШИЕВ А.Г., 323  
БЕЗУГЛОВА О.С., 32, 189  
БЕЛЕНКОВ А. И., 104  
БЕЛОУСОВА Г. Г., 278  
БЕСПАЛОВ В. А., 177  
БОЛДЫРЕВА В.Э., 32, 189  
БОЛОТОВ А. Г., 70  
БОРОВСКАЯ А. Д., 338  
БРИКМАНС А. В., 40  
БУДАГОВСКАЯ О. Н., 282, 287  
БУДАГОВСКИЙ А. В., 282, 287  
БУЖОРЯНУ Н.С., 438  
БУТНАРАШ В. И., 292, 361  
БУЧКИНА Н. П., 22  
БЫКОВ Ф. Л., 193  
БЫЛИЧ Е.Н., 296  
ВАРЧЕВА С.Е., 235  
ВАСИЛЕНКО Е. В., 193  
ВАСИЛЬЧЕНКО А. В., 36  
ВАСИЛЬЧЕНКО А. С., 36  
ВЕЛЛЕР В. Е., 212  
ВЕРТЕБНЫЙ В. Е., 304, 371  
ВЕРХОВЦЕВА Н.В.,  
ВОРНИКУ З. Н., 510  
ГАВЗЕР С.И., 379  
ГАВРИЛОВСКАЯ Н. В., 198  
ГАЛЛЬ Н.Р., 371  
ГАЛУШКО А. С., 16, 115, 371, 400  
ГАНЯ А.И., 356  
ГАРИФУЛЛИН И.И., 48  
ГИЛЕВ А. М., 40  
ГИНЕВСКИЙ Р. С., 240  
ГОНЧАРЮК М. М., 292, 361  
ГОРДИН В.А., 193  
ГОРЕ А.В., 405  
ГОРЕПЕКИН И. В., 66, 503  
ГРАДИНАР Д. Г., 356  
ГРИЦ Н.В., 110  
ГРОДНИЦКАЯ И. Д., 82  
ГРОШЕВА Е.В., 287  
ГРЭЖДИЕРУ К. Б., 259  
ГУРИНА Е. Н., 36  
ГУСАКОВА Л.П., 489  
ДАНИЛОВА Н.И., 163  
ДЕМБОВЕЦКИЙ А.В., 57  
ДИЧЕНСКИЙ А.В., 110  
ДОБРОХОТОВ А. В., 43  
ДОНЧИЛЭ А.Н., 428  
ДУБОВИЦКАЯ В.И., 371  
ДУНАЕВА Е. А., 202, 240  
ДЯГИЛЕВА А.В., 300  
ЕГОРОВА К. В., 304  
ЕГОРОВА К.В., 443  
ЕЖЕЛЕВ З.С., 70  
ЕРМОЛАЕВА О. С., 207, 246  
ЖЕЛЕЗНЯК Т. Г., 310  
ЖЕЛЕЗОВА С. В., 77, 212  
ЖОЛУДЕВ Р.О., 189  
ЖУРАВЛЕВА А. С., 115, 400  
ЗАВРИЕВ С.К., 410  
ЗАЙЦЕВА Р.И., 316  
ЗАМОРЗАЕВА И.А., 323  
ЗАХАРЕНКО В. А., 218  
ЗДИОРУК Н.В., 328, 405  
ЗЕЙЛИГЕР А. М., 207, 254  
ЗЕЛЕНЦОВ С. В., 333, 423  
ИВАНКОВА А. И., 40  
ИВАНОВ А. И., 119  
ИВАНОВА Р. А., 338  
ИВАНОВА Ж. А., 119, 125  
ИГНАТОВА З.К., 343  
ИГУМНОВА М.М., 348  
ИРЕКЕАНУ Н.В., 292  
КАЗАРИН Ю. К., 40  
КАЛНИН Т.Г., 57  
КАНАШ Е. В., 16, 400  
КАРАЧЁНКОВА А.А., 235  
КЕРДИВАРЭ А., 418  
КИСЕЛЕВ Е.Н., 449  
КИТРОСАН Л., 262  
КЛИМЕНКО О.А., 351  
КЛИМЭУЦАН Д.П., 392  
КОВАЛЕВ И.В., 131  
КОВАЛЕВА Н.О., 131  
КОВАЛЕНКО А. С., 400  
КОВДА И. В., 27  
КОВШОВА В. Н., 136  
КОЗЫРЕВА Л. В., 43  
КОМАРОВ А.А. (мл.), 497  
КОМАРОВ А.А. (ст.), 497  
КОМАРОВ Н.М., 316  
КОНИЩЕВ А.А., 48  
КОНИЩЕВА Е.Н., 48  
КОРЛЭТЯНУ Л.Б., 356  
КОРНЮХИН Д.В., 400  
КОРОТЕНКО Т. Л., 484  
КОТЕЛЯ Л. А., 292, 361  
КОЧЕРИНА Н.В., 443  
КОЧЕТОВ А.А., 16, 443  
КРИВЧЕНКО О.А., 472  
КРИСТЯ Н.И., 379  
КРУЧАН Ш.М., 479  
КУЗНЕЦОВА И. И., 366  
КУЛЕШОВА Т.Э., 371  
КУРИНА А.Б., 274  
ЛАЗАРЕВ В. А., 240  
ЛИТВИНОВ Ю.А., 32, 189  
ЛУНЕВА Н.Н., 374  
ЛУПАШКУ Г.А., 379, 418  
МАРКИН В.Н., 144  
МАСЛОВА М.В., 287  
МАЩЕНКО Н.Е., 338  
МЕЖЕНКОВ А.А., 32, 189  
МЕСТЕР Д.И., 413  
МИНКОВА Д.М., 413  
МИТИН В.А., 300  
МИТРОФАНОВ Е.П., 449  
МИХАЙЛЕНКО И. М., 221  
МИХАЙЛОВ М.Э., 384, 388  
МИХНЯ Н.И., 392  
МОРОЗОВ И.В., 32  
МОШНЕНКО Е. В., 333  
МЫСНИК Е. Н., 227  
МЭРЫЙ Л., 262  
НЕМЕНУЩАЯ Л.А., 396  
НЕСТЕРОВА О. В., 40  
НИКОЛАЕВ А. М., 400  
НИКОЛАЕВ В. А., 52  
НИКОЛАЕВ М. В., 153  
НИКУЦА А. П., 438  
НОВИКОВА Л. Ю., 158  
НУГИС Э.Ю., 497  
ОГЛЕЗНЕВ А.К., 163  
ОЗЕРСКИЙ П. В., 231  
ПАВЛОВА В.Н., 235  
ПАНОВА Г. Г., 16, 316, 371, 400  
ПАШКЕЕВА О. Э., 82  
ПЕТРУШИН А.Ф., 449  
ПЛАТОВСКИЙ Н.Н., 328, 405  
ПОЛЯКОВ Д. Г., 27  
ПОТАПОВ Д. И., 66, 503  
ПОТОЦКАЯ И.В., 468  
ПОТРАХОВ Н.Н., 489  
ПРАЗДНИКОВ В.Р., 70  
ПРИЯТКИН Н.С., 16, 489  
РАЛЯ Т.Х., 328,405  
РОГОЖИН Е.А., 410  
РОНИН Е.И., 413

РОШКА К.В., 392  
РУДАКОВ С., 418  
РУДАКОВА А., 418  
РУТКОВСКАЯ Т.С., 489  
РЯБУХА А. Г., 27  
РЯЗАНЦЕВ Д.Ю., 410  
САВОСЬКИНА О.А., 77  
САЕНКО Г. М., 423  
САЛТАНОВИЧ Т.И., 428  
САПОЖНИКОВ П.М., 163  
САФОНОВА Д.Н., 93  
САШКО Е. Ф., 433  
СВЕТЛИЧЕНКО В.Ю., 438  
СЕЛЕЗНЕВА Н.А., 508  
СЕМЕНОВ К.Н., 16  
СЕНАШОВА В. А., 82  
СЕРГЕЕВА Н. Н., 167  
СИНЯВИНА Н. Г, 16, 304,443  
СКАЖЕННИК М.А., 449  
СКВОРЦОВА Е.Б., 57  
СМЕРЯ С., 262

СОКОЛЕНКО Н.И., 316  
СУЗДАЛЕВА А.В., 57  
ТАРАСОВА Л.Л., 193  
ТЕЛЯТНИКОВА Е. В., 61  
ТЕРЛЕЕВ В. В., 240  
ТИМОШИН В. Н., 221  
ТИТОВА Н.В., 455  
ТИШКОВА А.Г., 508  
ТУМАНОВА Л. Г., 259, 300  
ТЫНИССОН А. Э., 70  
УДАЛОВА О.Р., 16, 371, 400  
УСКОВ А.О., 246  
УШКОВА Д.А., 503  
ФАТЕЕВ Д.А., 460  
ФЕДОРОВА Т. Н., 463  
ФЕДОТОВ Г. Н., 66, 503  
ФИЛИППОВ П. А., 172  
ФОКША Н. Г., 323  
ФРИД А. С., 316  
ХАМОВА Т. В., 400  
ХАРЕА И.Д., 438

ХАРЧУК О. А., 181  
ХОМЯКОВ Ю. В., 304, 371  
ЧЕВЕРДИН Ю. И., 177  
ЧЕСНОКОВ Ю.В., 3, 16, 304  
ЧИЖИКОВ В.Н., 449  
ЧИНИЛИН А.В., 254  
ШАБАНОВ В.В., 144  
ШАМАНИН В.П., 468  
ШЕИН Е.В., 57  
ШЕЛОУХОВА Н.А., 492  
ШЕПЕЛЕВ С.С., 468  
ШИЛОВА О.А., 16, 400  
ШОРОХОВ М.Н., 472  
ШПАНЕВ А.М., 400  
ЩЕГОЛИХИНА Т.А., 475  
ЩЕРБАКОВА Т.И., 479  
ЩИГРОВА Л. И., 52  
ЦУКИНА П.А., 489  
ЮРЧЕНКО С. А., 484  
ЮСУПОВА Д.И., 99  
ЯРОШЕНКО О. В., 167

## AUTHOR INDEX

- ABRAMOVA T.V., 22  
ALBERT R. F., 27  
ALEXANDROV E., 270  
ANANEV A.A., 77  
ANDRONIC L.I., 262, 428  
ANDRONOV E.E., 115  
ANIKINA L. M., 316, 371  
ANISIMOVA T.Yu., 185  
ANTOCI L.P., 428  
ANTONOV G.I., 82  
ANTSIFEROVA O. A., 87, 93, 99  
ARKHANGELSKAYA T. A., 27, 61  
ARKHIPOV M.V., 489  
ARTEM'EVA A. M., 16, 274, 348, 400, 460  
ASEEVA T.A., 463, 468  
BAHSIEV A. G., 323  
BALICI E.N., 296  
BALMUS Z., 292, 361  
BARANOVA N. V., 310  
BARASHKOVA A.S., 410  
BELENKOV A.I., 104  
BELOUSOVA G.G., 278  
BESPALOV V. A., 177  
BEZUGLOVA O. S., 189  
BEZUGLOVA O.S., 32  
BOLDIREVA V. E., 32, 189  
BOLOTOV A.G., 70  
BOROVSKAIA A. D., 338  
BRIKMANS A. V., 40  
BUCHKINA N.P., 22  
BUDAGOVSKAYA O. N., 282, 287  
BUDAGOVSKY A. V., 282, 287  
BUJOREANU N.S., 438  
BUTNARAS V., 292, 361  
BYKOV F. L., 193  
CHESNOKOV Yu. V., 3, 16, 304  
CHEVERDIN Yu. I., 177  
CHINILIN A.V., 254  
CHITROSAN L., 262  
CHIZHIKOV V.N., 449  
CLIMENCO O. A., 351  
CORLATEANU L. B., 356  
COTELEA L., 292, 361  
CRUCEAN S.M., 479  
CUZNETSOVA I. I., 366  
DANILOVA N.I., 163  
DEMBOVETSKY A. V., 57  
DIAGHILEVA A.V., 300  
DICHENSKIY A.V., 110  
DOBROKHOTOV A.V., 43  
DONCILA A.N., 428  
DUBOVITSKAYA V.I., 371  
DUNAIEVA I. A., 202, 240  
EGOROVA K. V., 304, 443  
ERMOLAEVA O. S., 207, 254  
EZHELEV Z. S., 70  
FATEEV D.A., 460  
FEDOROVA T.N., 463, 468  
FEDOTOV G. N., 66, 503  
FILIPPOV P. A., 172  
FOCSA N. G., 323  
FRID A. S., 316  
GALL N.R., 371  
GALUSHKO A.S., 16, 115, 371, 400  
GANEVA A. I., 356  
GARIFULLIN I. I., 48  
GAVRILOVSKAYA N. V., 198  
GAVZER S.I., 379  
GILYOV A. M., 40  
GINEVSKY R. S., 240  
GONCEARIUC M., 292, 361  
GORDIN V. A., 193  
GORE A.V., 405  
GOREPEKIN I. V., 66, 503  
GRADINAR D. G., 356  
GRAJDIERU C. B., 259  
GRITS N. V., 110  
GRODNITSKAYA I.D., 82  
GROSHEVA E.V., 287  
GURINA E. N., 36  
GUSAKOVA L.P., 489  
HOMYAKOV Yu.V., 304  
IGNATOVA Z. C., 343  
IGUMNOVA M. M., 348  
IVANKOVA A. I., 40  
IVANOV A. I., 119,  
IVANOVA R. A., 338  
IVANOVA Zh. A., 119, 125  
JELEZNIAC T. G., 310  
KALNIN T.G., 57  
KANASH E. V., 16, 400  
KARACHENKOVA A. A., 235  
KAZARIN Y. K., 40  
KERDIVARA A., 418  
KHAMOVA T.V., 400  
KHARCHUK O. A., 181  
KHAREA I.D., 438  
KHOMYAKOV Yu.V., 371  
KISELEV E.N., 449  
KLIMAUTSAN D. P., 392  
KOCHERINA N. V., 443  
KOCHETOV A. A., 16, 443  
KOMAROV A. A. (jn.), 503  
KOMAROV A. A. (sen.), 503  
KOMAROV N. M., 316  
KONISHCHEV A. A., 48  
KONISHCHEVA E. N., 48  
KORNYUKHIN D.L., 400  
KOROTENKO T. L., 484  
KOVALENKO A. S., 400  
KOVALEV I.V., 131  
KOVALEVA N.O., 131  
KOVDA I. V., 27  
KOVSHOVA V. N., 136  
KOZYREVA L. V., 43  
KRISTYA N.I., 379  
KRIVCHENKO O.A., 472  
KULESHOVA T.E., 371  
KURINA A. B., 274  
LAZAREV V. A., 240  
LITVINOV Y. A., 32, 189  
LUNEVA N. N., 374  
LUPASHKU G.A., 379, 418  
MARII L., 262  
MARKIN V. N., 144  
MASCENCO N. E., 338  
MASLOVA M.V., 287  
MESTER D.I., 413  
MEZHENKOV A.A., 32, 189  
MIHNEA N.I., 392  
MIKHAILENKO I. M., 221  
MIKHAILOV M. E., 384, 388  
MINKOVA D.M., 413  
MITIN V.A., 300  
MITROFANOV E.P., 449  
MOROZOV I.V., 32  
MOSHNIENKO E. V., 333  
MYSNIK E. N., 227  
NEMENUSHCHAYA L.A., 396  
NESTEROVA O. V., 40  
NIKOLAEV A. M., 400  
NIKOLAEV M. V., 153  
NIKOLAEV V. A., 52  
NIKUTSA A.P., 438  
NOVIKOVA L. Yu., 158  
NUGIS E. Yu., 503  
OGLEZNEV A.K., 163  
OZERSKI P. V., 231  
PANOVA G. G., 16, 316, 371, 400  
PASHKEEVA O.E., 82  
PAVLOVA V.N., 235  
PETRUSHIN A.F., 449  
PLATOVSCHII N.N., 328, 405  
POLYAKOV D. G., 27  
POTAPOV D. I., 66, 503  
POTRAKHOV N.N., 489  
PRAZDNIKOV V.R., 70  
PRIYATKIN N.S., 16, 489  
RALEA T.H., 328, 405  
ROGOZHIN E.A., 410  
RONIN E.I., 413  
ROSHCA C. V., 392  
RUDAKOV S., 418  
RUDAKOVA A., 418  
RUTKOVSKAYA T.S., 489  
RYABUKHA A. G., 27  
RYAZANTSEV D.Y., 410  
SAENKO G. M., 423  
SAFONOVA D.N., 93  
SALTANOVICI T.I., 428

SAPOZHNIKOV P.M., 163  
SAŞCO E. F., 433  
SAVOSKINA O.A., 77  
SCERBACOVA T.I., 479  
SCHIGROVA L. I., 52  
SCVORTSOVA E.B., 57  
SELEZNEVA N.A., 508  
SEMENOV K.N., 16  
SENASHOVA V. A., 82  
SERGEEVA N.N., 167  
SHABANOV V. V., 144  
SHCHEGOLIKHINA T. A., 475  
SHCHUKINA P. A., 489  
SHEIN E. V., 57  
SHELOUKHOVA N. A., 492  
SHILOVA O.A., 16  
SHILOVA O.A., 400  
SHOROKHOV M.N., 472  
SINYAVINA N. G., 16, 304, 443  
SKAZHENNIK M.A., 449

SMEREA S., 262  
SOKOLENKO N. I., 316  
SPANEV A. M., 400  
SUZDALEVA A.V., 57  
SVETLICHENKO V.Yu., 438  
TARASOVA L. L., 193  
TELYATNIKOVA E.V., 61  
TERLEEV V. V., 240  
TIMOSHIN V. N., 221  
TISHKOVA A.G., 508  
TITOVA N.V., 455  
TUMANOVA L. G., 259, 300  
TYNISSON A.E., 70  
UDALOVA O. R., 16, 371, 400  
URECHEANU N., 292  
USHKOVA D. A., 503  
USKOV A .O., 246  
VARCHEVA S. E., 235  
VASILCHENKO A. S., 36

VASILCHENKO A. V., 36  
VASILENKO E. V., 193  
VELLER V.E., 212  
VERHOVTSEVA N.V., 57  
VERTEBNIY V. E., 304, 371  
VORNIKU Z. N., 310  
YAROSHENKO O.V., 167  
YURCHENKO S. A., 484  
YUSUPOVA D.I., 99  
ZAITSEVA R. I., 316  
ZAKHARENKO V. A., 218  
ZAMORZAEVA I. A., 323  
ZAVRIEV S. K., 410  
ZDIORUK N. V., 328, 405  
ZELENTSOV S. V., 333, 423  
ZEYLIGER A. M., 207, 254  
ZHELEZOVA S. V., 77, 212  
ZHOLUDEV R. O., 189  
ZHURAVLEVA A. S., 115, 400

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЛЕНАРНАЯ СЕКЦИЯ

<b>АГРОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМЕ АДАПТИВНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ</b> ЧЕШОКОВ Ю.В. ....	3
<b>НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ, РЕАЛИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА РАСТЕНИЙ В РЕГУЛИРУЕМОЙ АГРОЭКОСИСТЕМЕ</b> ПАНОВА Г. Г., УДАЛОВА О.Р., КАНАШ Е. В., АРТЕМЬЕВА А.М., СЕМЕНОВ К.Н., ШИЛОВА О.А., КОЧЕТОВ А.А., СИНЯВИНА Н.Г., ПРИЯТКИН Н.С., ГАЛУШКО А.С., ЧЕШОКОВ Ю.В. ....	16

### СЕКЦИЯ «ФИЗИКА СРЕДЫ ОБИТАНИЯ РАСТЕНИЙ»

<b>ВЛИЯНИЕ БИОУГЛЯ НА ВОДОУДЕРЖИВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ</b> АБРАМОВА Т. В., БУЧКИНА Н. П. ....	22
<b>ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ПОЧВ НА ПРИМЕРЕ КОНТРАСТНЫХ ГОРИЗОНТОВ МЕЛОВОГО ПОЧВЕННОГО КОМПЛЕКСА</b> АРХАНГЕЛЬСКАЯ Т. А., ПОЛЯКОВ Д. Г., АЛЬБЕРТ Р. Ф., РЯБУХА А. Г., КОВДА И. В. ....	27
<b>ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ КАРБОНАТНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЧВЕННО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)</b> .....	32
<b>ВЛИЯНИЕ ГЛИТОКСИНА НА ДЫХАТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ И ЕЕ БИОМАССУ</b> ВАСИЛЬЧЕНКО А. В., ВАСИЛЬЧЕНКО А. С., ГУРИНА Е. Н. ....	36
<b>РАЗЛИЧНЫЕ ДОЗЫ БИОУГЛЯ НА БАЗОВЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АГРОПОЧВ ТЯЖЕЛОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЮГА ПРИМОРСКОГО КРАЯ</b> ГИЛЕВ А. М., ИВАНКОВА А. И., БРИКМАНС А. В., НЕСТЕРОВА О. В., КАЗАРИН Ю. К. ....	40
<b>ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОЛЯ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИЙ</b> КОЗЫРЕВА Л. В., ДОБРОХОТОВ А. В. ....	43
<b>ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АГРОФИЗИКИ В ОТВЕТАХ НА ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОСТИ</b> КОНИЩЕВ А.А., ГАРИФУЛЛИН И.И., КОНИЩЕВА Е.Н. ....	48
<b>СЛОЖЕНИЕ И СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ</b> НИКОЛАЕВ В.А., ЩИГРОВА Л. И. ....	52
<b>АГРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ: СОВРЕМЕННЫЕ ТОМОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ВОЗМОЖНОСТИ, ПЕРСПЕКТИВЫ</b> ШЕИН Е.В., СКВОРЦОВА Е.Б., ДЕМБОВЕЦКИЙ А.В., ВЕРХОВЦЕВА Н.В., СУЗДАЛЕВА А.В., КАЛНИН Т.Г. ....	57
<b>ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ ТОРФО-ПЕСЧАНЫХ И ПОЧВЕННО-ТОРФЯНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ</b> АРХАНГЕЛЬСКАЯ Т. А., ТЕЛЯТНИКОВА Е.В. ....	61
<b>РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ГИДРОФИЛЬНО-ГИДРОФОБНЫХ СВОЙСТВ ВЛАЖНЫХ ПОЧВ</b> ПОТАПОВ Д. И., ГОРЕПЕКИН И. В., ФЕДОТОВ Г. Н. ....	66
<b>ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОРФЯНЫХ СУБСТРАТОВ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ АЛЬТЕРНАНТЕРЫ ПУРПУРНОЙ В СИСТЕМЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАТОПЛЕНИЯ</b> ТЫНИССОН А. Э., ЕЖЕЛЕВ З.С., ПРАЗДНИКОВ В.Р., БОЛОТОВ А. Г. ....	70

**СЕКЦИЯ «УПРАВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВ И СОСТОЯНИЕМ ЗЕМЕЛЬ В УСЛОВИЯХ  
ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА»**

<b>АГРОФИЗИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ ПРИ ЭКСТЕНСИВНОМ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ</b> АНАНЬЕВ А.А., ЖЕЛЕЗОВА С.В., САВОСЬКИНА О.А. ....	77
<b>ПОДДЕРЖКА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ БИОУДОБРЕНИЙ</b> АНТОНОВ Г. И., ГРОДНИЦКАЯ И. Д., ПАШКЕЕВА О. Э., СЕНАШОВА В. А. ....	82
<b>КРИТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОЗДУХОНОСНОЙ ПОРИСТОСТИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ РАЗВИТИЯ ОГЛЕЕНИЯ В ОСУШЕННЫХ ПОЧВАХ АГРОЛАНДШАФТОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ</b> АНЦИФЕРОВА О. А. ....	87
<b>РЕЖИМ ВЛАЖНОСТИ ОСУШЕННЫХ ПОЧВ ПОД ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕЙ И ЯЧМЕНОМ</b> АНЦИФЕРОВА О. А., САФОНОВА Д.Н. ....	93
<b>СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНО ОСУШАЕМЫХ ГЛЕЕВАТЫХ БУРОЗЕМОВ САМБИЙСКОЙ РАВНИНЫ</b> АНЦИФЕРОВА О. А., ЮСУПОВА Д.И. ....	99
<b>ДИНАМИКА ОРГАНИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ И ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В ЗЕРНОПРОПАШНОМ СЕВООБОРОТЕ ОПЫТА ЦТЗ</b> БЕЛЕНКОВ А. И. ....	104
<b>ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ЭКСТЕНСИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАВСТОЕВ ЛУГОВ РАЗНЫХ КЛАССОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ</b> ГРИЦ Н.В., ДИЧЕНСКИЙ А.В. ....	110
<b>РАЗНООБРАЗИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО СООБЩЕСТВА НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВОГРУНТОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА НА ОСНОВЕ МЕТАГЕНОМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> ЖУРАВЛЕВА А. С., АНДРОНОВ Е. Е., ГАЛУШКО А. С. ....	115
<b>КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ К НИМ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЁМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ</b> ИВАНОВ А. И., ИВАНОВА Ж. А. ....	119
<b>ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОЧНОЙ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СКЛОНОВОГО АГРОЛАНДШАФТА</b> ИВАНОВА Ж. А. ....	125
<b>БИОХИМИЯ ЛИГНИНА НА РАЗНЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ УРОВНЯХ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВ</b> КОВАЛЕВ И.В., КОВАЛЕВА Н.О. ....	131
<b>ПЛОДОРОДИЕ ВЫРАБОТАННЫХ НИЗИННЫХ ТОРФЯНИКОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА</b> КОВШОВА В. Н. ....	136
<b>ВОПРОСЫ ОБОСНОВАНИЯ НЕОБХОДИМОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОМЕЛИОРАЦИИ ДЛЯ СТЕПНЫХ РАЙОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ</b> МАРКИН В.Н., ШАБАНОВ В.В. ....	144
<b>ГЕОПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКОВАННОСТИ ПОЛЕВОДСТВА К ЭФФЕКТАМ ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ В НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ</b> НИКОЛАЕВ М. В. ....	153
<b>СТАБИЛЬНОСТЬ СУММ ТЕМПЕРАТУР ЗА ВЕГЕТАЦИЮ ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ЕТР В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ</b> НОВИКОВА Л.Ю. ....	158
<b>ВЛИЯНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ И ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ НА КАДАСТРОВУЮ СТОИМОСТЬ ЗЕМЕЛЬ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА</b> САПОЖНИКОВ П.М., ОГЛЕЗНЕВ А.К., ДАНИЛОВА Н.И. ....	163
<b>ЭФФЕКТИВНОЕ ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ ПОД МОНОКУЛЬТУРОЙ САДА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ</b> СЕРГЕЕВА Н. Н., ЯРОШЕНКО О. В. ....	167

<b>ТРАНСФОРМАЦИЯ ПАХОТНОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ</b>	
ФИЛИППОВ П. А. ....	172
<b>ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМОВ В СОВРЕМЕННЫХ ЛЕСОКУЛЬТУРНЫХ ЛАНДШАФТАХ ЦЧЗ</b>	
ЧЕВЕРДИН Ю. И., БЕСПАЛОВ В. А. ....	177
<b>АГРОФИТОЦЕНОЗ СОИ: ДИНАМИКА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ЗАСУХАХ</b>	
ХАРЧУК О. А. ....	181
<b>МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ АГРОФИЗИЧЕСКИХ, АГРОХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ВЫРАБОТАННОГО ТОРФЯНИКА</b>	
АНИСИМОВА Т.Ю. ....	185
<b><u>СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЯЕМОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ»</u></b>	
<b>ОЦЕНКА ЭРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ МАТВЕЕВО-КУРГАНСКОГО РАЙОНА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)</b>	
БЕЗУГЛОВА О.С., БОЛДЫРЕВА В.Э., ЖОЛУДЕВ Р.О., ЛИТВИНОВ Ю.А., МЕЖЕНКОВ А.А. ....	189
<b>ТЕХНОЛОГИЯ ЕЖЕДНЕВНОГО МОНИТОРИНГА ВЛАЖНОСТИ ПАХОТНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ НА ОСНОВЕ ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА ВЛАГОЗАПАСА В ПОЧВЕ ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ</b>	
БЫКОВ Ф. Л., ВАСИЛЕНКО Е. В., ГОРДИН В.А., ТАРАСОВА Л.Л. ....	193
<b>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПА АНАЛОГИЧНОСТИ И КЛАССИФИКАЦИИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ</b>	
ГАВРИЛОВСКАЯ Н. В. ....	198
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВАРИИРОВАНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ НА ВНУТРИРАЙОННОМ УРОВНЕ</b>	
ДУНАЕВА Е. А. ....	202
<b>КЕЙС ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ УРОЖАЙНОСТЬЮ БИОМАССЫ ПОСЕВА ОРОШАЕМОЙ ЛЮЦЕРНЫ И ВЛАГОЗАПАСАМИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА</b>	
ЕРМОЛАЕВА О. С., ЗЕЙЛИГЕР А. М. ....	207
<b>ОЦЕНКА ЗАСОРЁННОСТИ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЁМКИ</b>	
ЖЕЛЕЗОВА С. В., ВЕЛЛЕР В. Е. ....	212
<b>КРАТКОСРОЧНЫЙ, ДОЛГОСРОЧНЫЙ И МНОГОЛЕТНИЙ ФИТОСАНИТАРНЫЙ МОНИТОРИНГ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ПЛАНИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ МОНИТОРИНГ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕСТИЦИДОВ (МЕТОД И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ)</b>	
ЗАХАРЕНКО В. А. ....	218
<b>ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЯМИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ</b>	
МИХАЙЛЕНКО И. М., ТИМОШИН В. Н. ....	221
<b>БАЗА ДАННЫХ «СОРНЫЕ РАСТЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА РАЗНЫХ ТИПАХ МЕСТООБИТАНИЙ»</b>	
МЫСНИК Е. Н. ....	227
<b>НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КОНЦЕПЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НИШИ В ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ</b>	
ОЗЕРСКИЙ П. В. ....	231
<b>АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПЛАНОВ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА</b>	
ПАВЛОВА В.Н., ВАРЧЕВА С.Е., КАРАЧЁНКОВА А.А. ....	235



<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ АГРОЦЕНОЗОВ В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ</b>	
ТЕРЛЕЕВ В. В., ЛАЗАРЕВ В. А., ГИНЕВСКИЙ Р. С., ДУНАЕВА Е. А. ....	240
<b>ИНФОРМАЦИОННАЯ ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИМИ РИСКАМИ</b>	
УСКОВ А.О. ....	246
<b>КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ 3-D МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛАГОЗАПАСОВ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ОГОЛЕННОГО ТЕСТОВОГО УЧАСТКА, ГРАНИЧАЩЕГО С ОРОШАЕМОМ ПОСЕВОМ СОИ</b>	
ЧИНИЛИН А.В., ЗЕЙЛИГЕР А. М., ЕРМОЛАЕВА О. С. ....	254
<b><u>СЕКЦИЯ «ФИЗИОЛОГИЯ, ГЕНЕТИКА, БИОФИЗИКА, БИОХИМИЯ, БИОТЕХНОЛОГИЯ, ЗАЩИТА И СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ»</u></b>	
<b>QUANTITATION OF TOXIGENIC ASPERGILLUS FLAVUS STRAINS IN MAIZE SEED MATERIAL VIA CONVENTIONAL PCR</b>	
GRAJDIERU C. B., TUMANOVA L. G. ....	259
<b>ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЖАРСТОЙКОСТИ И ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ У РАЗЛИЧНЫХ ГЕНОТИПОВ ТОМАТОВ</b>	
МЭРЫЙ Л., АНДРОНИК Л., СМЕРЯ С., КИТРОСАН Л. ....	262
<b>ВОЗМОЖНОСТИ СОКРАЩЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ГЕНОТИПОВ ВИНОГРАДА В КОНТЕКСТЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ</b>	
АЛЕКСАНДРОВ Е. Г. ....	270
<b>ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР <i>BRASSICA RAPA</i> L. ПО УСТОЙЧИВОСТИ К КАПУСТНОЙ МОЛИ И КАПУСТНОЙ СОВКЕ</b>	
АРТЕМЬЕВА А.М., КУРИНА А.Б. ....	274
<b>МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГРИБКОВЫХ ПАТОГЕНОВ В СЕМЕНАХ ТОМАТА</b>	
БЕЛОУСОВА Г. Г. ....	278
<b>НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА РАСТЕНИЙ К ФОТОИНГИБИРОВАНИЮ</b>	
БУДАГОВСКАЯ О. Н., БУДАГОВСКИЙ А. В. ....	282
<b>ВЛИЯНИЕ КОГЕРЕНТНОСТИ СВЕТА НА ФОТОРЕГУЛЯТОРНЫЕ ПРОЦЕССЫ КЛЕТОК БАКТЕРИЙ</b>	
БУДАГОВСКИЙ А.В., БУДАГОВСКАЯ О.Н., МАСЛОВА М.В., ГРОШЕВА Е.В. ....	287
<b>ЗИМОСТОЙКОСТЬ ГИБРИДОВ F<sub>1</sub> ЛАВАНДЫ УЗКОЛИСТНОЙ</b>	
БУТНАРАШ В.И., ГОНЧАРЮК М.М., КОТЕЛЯ Л.А., БАЛМУШ З.К., ИРЕКЕАНУ Н.В. ....	292
<b>ОЦЕНКА САМООПЫЛЕННЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ ПО ТОЛЕРАНТНОСТИ К ЗАСУХЕ</b>	
БЫЛИЧ Е.Н. ....	296
<b>ПЦР-ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБКОВ РОДА <i>PENICILLIUM</i> В СЕМЕНАХ ПЕРЦА СЛАДКОГО И БАКЛАЖАНА</b>	
ДЯГИЛЕВА А.В., ТУМАНОВА Л.Г., МИТИН В.А. ....	300
<b>ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ СВЕТОВОГО ДНЯ НА СОДЕРЖАНИЕ АНТОЦИАНОВ У КАПУСТНЫХ РАСТЕНИЙ ВИДА <i>BRASSICA RAPA</i> L.</b>	
ЕГОРОВА К. В., СИНЯВИНА Н. Г., ВЕРТЕБНЫЙ В. Е., ХОМЯКОВ Ю. В., ЧЕСНОКОВ Ю. В. ....	304
<b>ИЗУЧЕНИЕ ГЕНОТИПИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КОЛЛЕКЦИИ МЯТЫ НЕМЕНТОЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ</b>	
ЖЕЛЕЗНЯК Т. Г., БАРАНОВА Н. В., ВОРНИКУ З. Н. ....	310
<b>ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИМ МИКРОУДОБРЕНИЕМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОРОСТКОВ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ К ЗАСОЛЕНИЮ ПОЧВЫ</b>	
ЗАЙЦЕВА Р.И., АНИКИНА Л.М., ФРИД А.С., СОКОЛЕНКО Н.И., КОМАРОВ Н.М., ПАНОВА Г.Г. ....	316
<b>МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАРАЖЕНИЯ МОЛДАВСКИХ СОРТОВ ПЕРЦА ФИТОПЛАЗМОЙ</b>	
ЗАМОРЗАЕВА И.А., БАХШИЕВ А.Г., ФОКША Н.Г. ....	323
<b>РЕАКЦИЯ ЛИСТЬЕВ САМШИТА ВЕЧНОЗЕЛЁНОГО (<i>BUXUS SEMIPERVENSIS</i> L.) НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛООВОГО ШОКА КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ</b>	
ЗДИОРУК Н.В., РАЛЯ Н.Н., ПЛАТОВСКИЙ Н.Н. ....	328

<b>РЕАКЦИЯ СОИ НА СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ СВЕТА В УПЛОТНЁННЫХ АГРОЦЕНОЗАХ И ВЫДЕЛЕНИЕ ГЕНОТИПОВ С ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ЗЕЛЁНОСПЕКТРОВОМУ ЗАТЕНЕНИЮ</b> ЗЕЛЕНЦОВ С. В., МОШНЕНКО Е. В. ....	333
<b>ДЕЙСТВИЕ ТЕПЛОВОГО СТРЕССА И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА МОБИЛИЗАЦИЮ РЕЗЕРВНЫХ ВЕЩЕСТВ СЕМЯН КУКУРУЗЫ ДЛЯ ПРОРАСТАНИЯ</b> ИВАНОВА Р. А., БОРОВСКАЯ А. Д., МАЩЕНКО Н.Е. ....	338
<b>СРАВНЕНИЕ СОСТАВА ПАТОГЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ В СЕМЕНАХ ТРИТИКАЛЕ МОЛДАВСКОЙ СЕЛЕКЦИИ</b> ИГНАТОВА З.К. ....	343
<b>ИЗУЧЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА И ПРОДУКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СОРТОВ САЛАТА <i>LACTUCA SATIVA</i> L. В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ</b> ИГУМНОВА М.М., АРТЕМЬЕВА А.М. ....	348
<b>ХАРАКТЕРИСТИКА УСТОЙЧИВОСТИ К АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССАМ У ЛИНИЙ И ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ</b> КЛИМЕНКО О.А. ....	351
<b>ПОТЕНЦИАЛ ХРАНЕНИЯ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ОГУРЦА (<i>CUCUMIS SATIVUS</i> L.) ПРИ КОНСЕРВАЦИИ <i>EX SITU</i></b> КОРЛЭТЯНУ Л.Б., ГАНЯ А.И., ГРАДИНАР Д. Г. ....	356
<b>ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ГИБРИДЫ F2 <i>SALVIA SCLAREA</i> L., С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЭФИРНОГО МАСЛА</b> КОТЕЛЯ Л. А., ГОНЧАРЮК М. М., БАЛМУШ З. К., БУТНАРАШ В. И. ....	361
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРИБКОВЫХ ПАТОГЕНОВ РОДОВ <i>FUSARIUM</i>, <i>ALTERNARIA</i>, <i>ASPERGILLUS</i>, <i>PENICILLIUM</i> И <i>MYROTHESCIUM</i> В СЕМЕНАХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПОМОЩИ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ</b> КУЗНЕЦОВА И. И. ....	366
<b>БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ В КОРНЕОБИТАЕМОЙ СРЕДЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА</b> КУЛЕШОВА Т.Э., ГАЛЛЬ Н.Р., ГАЛУШКО А.С., УДАЛОВА О.Р., АНИКИНА Л.М., ВЕРТЕБНЫЙ В.Е., ДУБОВИЦКАЯ В.И., ХОМЯКОВ Ю.В., ПАНОВА Г.Г. ....	371
<b>ФИТОСАНИТАРНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ В ОТНОШЕНИИ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ: ПОДХОД, КРИТЕРИЙ, ПРИНЦИП</b> ЛУНЕВА Н.Н. ....	374
<b>НАСЛЕДУЕМОСТЬ, ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ И ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС НЕКОТОРЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРОДУКТИВНОСТИ У ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ</b> ЛУПАШКУ Г.А., ГАВЗЕР С.И., КРИСТЯ Н.И. ....	379
<b>ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КРОССИНГОВЕРА В МАРКИРОВАННЫХ СЕГМЕНТАХ ХРОМОСОМ КУКУРУЗЫ НА ГОМОЗИГОТНОМ ГЕНЕТИЧЕСКОМ ФОНЕ</b> МИХАЙЛОВ М.Э. ....	384
<b>МОДЕЛЬНОЕ ИСПЫТАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГЕТЕРОЗИСА В РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ДИГАПЛОИДНОЙ СЕЛЕКЦИИ</b> МИХАЙЛОВ М.Э. ....	388
<b>РЕАКЦИЯ СОРТОВ ТОМАТА, НЕСУЩИХ ГЕНЫ <i>B</i> (<i>CAROTENE</i>) И <i>R</i> (<i>YELLOW FLESH</i>), НА СТРЕССОВЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ</b> МИХНЯ Н.И., КЛИМЭУЦАН Д.П., РОШКА К.В. ....	392
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРАЦИИ В ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ</b> НЕМЕНУЩАЯ Л.А. ....	396
<b>АГРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ КРЕМНЕЗОЛЬНЫХ НАНОКОМПОЗИЦИЙ</b> ПАНОВА Г. Г., ШИЛОВА О.А., ХАМОВА Т. В., КОРНЮХИН Д.В., ШПАНЕВ А.М., УДАЛОВА О.Р., АРТЕМЬЕВА А.М., ГАЛУШКО А.С., КОВАЛЕНКО А. С., НИКОЛАЕВ А. М., ЖУРАВЛЕВА А. С., КАНАШ Е. В. ....	400

<b>ВЛИЯНИЕ БАВ РЕГЛАЛГ НА СКОРОСТЬ СОЗРЕВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНОТИПОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (<i>TRITICUM AESTIVUM</i> L.)</b>	
ПЛАТОВСКИЙ Н.Н., ЗДИОРУК Н.В., РАЛЯ Ф.Х., ГОРЕ А.В. ....	405
<b>БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АНТИМИКРОБНЫХ ПЕПТИДОВ РАСТЕНИЙ В СОСТАВЕ ГИБРИДНЫХ БЕЛКОВ</b>	
РОГОЖИН Е.А., БАРАШКОВА А.С., РЯЗАНЦЕВ Д.Ю., ЗАВРИЕВ С.К. ....	410
<b>МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ГЕНЕТИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ПЕРЕКРЕСТНИКОВ</b>	
РОНИН Е.И., МЕСТЕР Д.И., МИНКОВА Д.М. ....	413
<b>ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ПЕРОКСИДАЗ В ПРОРОСТКАХ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ЗЕРЕН ГРИБАМИ <i>FUSARIUM OXYSPORUM</i> И <i>DRECHSLERA SOROKINIANA</i></b>	
РУДАКОВА А., РУДАКОВ С., КЕРДИВАРЭ А., ЛУПАШКУ Г. ....	418
<b>РОЛЬ ОСМОТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ КЛЕТОЧНОГО СОКА В ТКАНЯХ СОИ И ДРУГИХ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ К ВОЗБУДИТЕЛЮ ПЕПЕЛЬНОЙ ГНИЛИ <i>MACROPHOMINA PHASEOLINA</i> (TASSI) GOID</b>	
САЕНКО Г. М., ЗЕЛЕНЦОВ С. В. ....	423
<b>КОМПЛЕМЕНТАРНОЕ ВЛИЯНИЕ ВИРУСНЫХ АГЕНТОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА РЕАКЦИЮ МУЖСКОГО ГАМЕТОФИТА ТОМАТА</b>	
САЛТАНОВИЧ Т.И., АНТОЧ Л.П., АНДРОНИК Л.И., ДОНЧИЛЭ А.Н. ....	428
<b>ПРОЯВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ К ПАТОГЕНУ <i>ALTERNARIA ALTERNATA</i> (FR.) KESSLER В КОНТРОЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ</b>	
САШКО Е. Ф. ....	433
<b>СОХРАНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ СЛИВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ И ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕТОДОВ ХРАНЕНИЯ</b>	
СВЕТЛИЧЕНКО В.Ю., НИКУЦА А.П., ХАРЕА И.Д., БУЖОРЯНУ Н.С. ....	438
<b>НОВЫЕ ФОРМЫ <i>RAPHANUS SATIVUS</i> L. ДЛЯ СВЕТОКУЛЬТУРЫ И ОТКРЫТОГО ГРУНТА</b>	
СИНЯВИНА Н.Г., КОЧЕТОВ А.А., ЕГОРОВА К.В., КОЧЕРИНА Н.В. ....	443
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА АГРОФИТОЦЕНОЗОВ РИСА В СВЯЗИ С ИХ СОСТОЯНИЕМ</b>	
СКАЖЕННИК М.А., ЧИЖИКОВ В.Н., ПЕТРУШИН А.Ф., КИСЕЛЕВ Е.Н., МИТРОФАНОВ Е.П. ....	449
<b>ОСОБЕННОСТИ ЛИСТОВОГО АППАРАТА ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПРЕПАРАТОМ РЕГЛАЛГ С МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ</b>	
ТИТОВА Н.В. ....	455
<b>РАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЕНОВ РЕГУЛЯЦИИ СИНТЕЗА КАРОТИНОИДОВ У <i>ARABIDOPSIS THALIANA</i>, <i>BRASSICA RAPA</i> И <i>B. OLERACEA</i></b>	
ФАТЕЕВ Д.А., АРТЕМЬЕВА А.М. ....	460
<b>ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОСЕВОВ СОИ ПРИ РАЗНЫХ СРОКАХ ПОСЕВА В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПРИАМУРЬЯ</b>	
ФЕДОРОВА Т.Н., АСЕЕВА Т.А. ....	463
<b>ИННОВАЦИОННЫЙ СОРТ СОВА КРУПНОЗЕРНОГО ПЫРЕЯ СИЗОГО ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И РЕГЕНЕРАТИВНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РОССИИ</b>	
ШАМАНИН В.П., ПОТОЦКАЯ И.В., АЙДАРОВ А.Н., ШЕПЕЛЕВ С.С. ....	468
<b>АССОРТИМЕНТ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПРОВОЛОЧНИКАМИ НА КАРТОФЕЛЕ</b>	
ШОРОХОВ М.Н., КРИВЧЕНКО О.А. ....	472
<b>ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ВИНОГРАДА ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ И БОЛЕЗНЕЙ</b>	
ЩЕГОЛИХИНА Т.А. ....	475
<b>СНИЖЕНИЕ ПЕСТИЦИДНОГО ПРЕССА НА СЕМЕНА ПШЕНИЦЫ ПРИ ОБРАБОТКАХ ДО ПОСЕВА БАКОВЫМИ СМЕСЯМИ С БИОПРЕПАРАТАМИ</b>	
ЩЕРБАКОВА Т.И., КРУЧАН Ш.М. ....	479
<b>ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ <i>ORYZA SATIVA</i> L. ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СОРТОВ РИСА К ПОНИЖЕННЫМ ТЕМПЕРАТУРАМ</b>	
ЮРЧЕНКО С. А., КОРОТЕНКО Т. Л. ....	484

<b>БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛНОЦЕННОСТЬ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА И ПРИЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ РОСТОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАСТЕНИЙ В ПОЛЕВЫХ И РЕГУЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ</b>	
АРХИПОВ М.В., ПРИЯТКИН Н.С., ГУСАКОВА Л.П., ЩУКИНА П.А., РУТКОВСКАЯ Т.С., ПОТРАХОВ Н.Н. ....	489
<b>РЕГРЕССИОННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ РАСТЕНИЙ В УСКОРЕННОМ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ СОРТОИСПЫТАНИИ</b>	
ШЕЛОУХОВА Н.А. ....	492
<b>ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ АГРОАДАПТОГЕНОВ СЕРИИ КАА</b>	
КОМАРОВ А.А. (мл.), НУГИС Э.Ю., КОМАРОВ А.А. (ст.) ....	497
<b>РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ВОДОПРОЧНОСТИ ПОЧВЕННОЙ СТРУКТУРЫ</b>	
УШКОВА Д.А., ПОТАПОВ Д.И., ФЕДОТОВ Г.Н., ГОРЕПЕКИН И.В. ....	503
<b>ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ АГРОФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ СРЕДНЕГО ПРИАМУРЬЯ</b>	
СЕЛЕЗНЕВА Н.А., ТИШКОВА А.Г. ....	508
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ .....	513

## CONTENT

### PLENARY SESSION

#### **AGROPHYSICAL TECHNOLOGIES IN THE SYSTEM OF ADAPTIVE FARMING**

CHESNOKOV Yu. V. ....3

#### **SCIENTIFIC AND TECHNICAL BASES FOR ASSESSMENT, REALIZATION AND INCREASING THE PRODUCTION POTENTIAL OF PLANTS IN A REGULATED AGROECOSYSTEM**

PANOVA G. G., UDALOVA O.R., KANASH E. V., ARTEM'EVA A.M., SEMENOV K.N., SHILOVA O.A., KOCHETOV A.A., SINYAVINA N.G., PRIYATKIN N.S., GALUSHKO A.S., CHESNOKOV Yu.V. ....16

### «ADVANCES IN SOIL AGROPHYSICS»

#### **THE EFFECT OF BIOCHAR ON THE WATER-HOLDING CAPACITY AND PHYTOTOXICITY OF SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL**

ABRAMOVA T.V., BUCHKINA N.P. ....22

#### **VERIFICATION OF METHODS FOR DETERMINING SOIL THERMAL DIFFUSIVITY FOR THE CASE OF CONTRASTING HORIZONS OF SOIL COMPLEX ON LIMESTONE**

ARKHANGELSKAYA T. A., POLYAKOV D. G., ALBERT R. F., RYABUKHA A. G., KOVDA I. V. ....27

#### **ESTIMATION OF DETAILS OF PARTICLE-SIZE DISTRIBUTION OF HAPLIC CALCIC CHERNOZEM BY THE SOIL-GEOGRAPHIC DATABASE OF RUSSIAN FEDERATION (ON THE EXAMPLE OF THE ROSTOV REGION)**

BOLDYREVA V.E., BEZUGLOVA O.S., LITVINOV Yu.A., MEZHENKOV A.A., MOROZOV I.V. ....32

#### **EFFECT OF GLIOTOXIN ON RESPIRATORY ACTIVITY OF MICROBIAL COMMUNITIES AND ITS BIOMASS**

VASILCHENKO A. V., VASILCHENKO A. S., GURINA E. N. ....36

#### **INFLUENCE OF DIFFERENT DOSES OF BIOCHAR ON BASIC PHYSICAL PROPERTIES OF AGROSOILS WITH HEAVY GRANULOMETRIC COMPOSITION IN THE SOUTH OF PRIMORSKY REGION**

GILYOV A. M., IVANKOVA A. I., BRIKMANS A. V., NESTEROVA O. V., KAZARIN Y. K. ....40

#### **ESTIMATION OF THE TEMPERATURE OF AN AGRICULTURAL FIELD SURFACE ACCORDING TO WEATHER STATIONS DATA**

KOZYREVA L. V., DOBROKHOTOV A.V. ....43

#### **TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF AGROPHYSICS IN RESPONSE TO THE CHALLENGES OF OUR TIME**

KONISHCHEV A. A., GARIFULLIN I. I., KONISHCHEVA E. N. ....48

#### **COMPOSITION AND STRUCTURAL STATE OF SOD-PODZOLIC SOILS DEPENDING ON THE MAIN TREATMENT METHODS**

NIKOLAEV V. A., SCHIGROVA L. I. ....52

#### **AGROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOILS: MODERN TOMOGRAPHIC METHODS, OPPORTUNITIES, PROSPECTS**

SHEIN E. V., SCVORTSOVA E.B., DEMBOVETSKY A. V., VERHOVTSEVA N.V., SUZDALEVA A.V., KALNIN T.G. ....57

#### **THERMAL DIFFUSIVITY OF PEAT-SAND AND SOIL-PEAT MIXTURES AT DIFFERENT WATER CONTENTS**

ARKHANGELSKAYA T. A., TELYATNIKOVA E.V. ....61

#### **DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSESSING THE HYDROPHILIC-HYDROPHOBIC PROPERTIES OF WET SOILS**

POTAPOV D. I., GOREPEKIN I. V., FEDOTOV G. N. ....66

#### **HYDROPHYSICAL PROPERTIES OF PEAT SUBSTRATES FOR GROWING ALTERNANTHERA PURPUREA IN A PERIODIC FLOODING SYSTEM**

TYNISSON A.E., EZHELEV Z. S., PRAZDNIKOV V.R., BOLOTOV A.G. ....70

**«SOIL FERTILITY MANAGEMENT AND LAND QUALITY ASSESSMENT UNDER CLIMATE CHANGE»**

<b>AGROPHYSICAL AND AGROCHEMICAL PROPERTIES OF DARK CASTANOZEM SOIL UNDER EXTENSIVE WINTER WHEAT CULTIVATION IN THE NORTH-EAST OF THE ROSTOV REGION</b>	
ANANEV A.A., ZHELEZOVA S.V., SAVOSKINA O.A. ....	77
<b>SOIL FERTILITY SUPPORT OF FOREST NURSERY USING INNOVATIVE BIOFERTILIZERS IN KRASNOYARSK FOREST-STEPPE</b>	
ANTONOV G.I., GRODNITSKAYA I.D., PASHKEEVA O.E., SENASHOVA V. A. ....	82
<b>CRITICAL VALUE OF POROSITY OF AERATION AS AN INDICATOR OF THE DEVELOPMENT OF GLEYIZATION IN THE DRAINED SOILS OF AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE KALININGRAD REGION</b>	
ANTSIFEROVA O. A. ....	87
<b>HYDROLOGICAL REGIME OF DRAINED SOILS UNDER WINTER WHEAT AND BARLEY</b>	
ANTSIFEROVA O. A., SAFONOVA D.N. ....	93
<b>STRUCTURAL STATE OF LONG-DRAINED GLEYING CAMBISOLS OF THE SAMBIAN PLAIN</b>	
ANTSIFEROVA O. A., YUSUPOVA D.I. ....	99
<b>DYNAMICS OF ORGANIC RESIDUES AND MINERAL NUTRITION ELEMENTS IN GRAIN CROP ROTATION OF THE CTP EXPERIENCE</b>	
BELENKOV A.I. ....	104
<b>THE INFLUENCE OF LONG-TERM EXTENSIVE USE OF GRASS STANDS OF MEADOWS OF DIFFERENT CLASSES ON THE FORMATION OF SOIL FERTILITY</b>	
GRITS N. V., DICHENSKIY A.V. ....	110
<b>DIVERSITY OF THE BACTERIAL COMMUNITY OF OIL-CONTAMINATED SOILS OF ST. PETERSBURG BASED ON METAGENOMIC RESEARCH</b>	
ZHURAVLEVA A.S., ANDRONOV E.E., GALUSHKO A.S. ....	115
<b>CLIMATE CHANGES AND SOME ASPECTS OF ADAPTATION TO THEM IN THE CONDITIONS OF THE NON-CHERNOZEM ZONE OF RUSSIA</b>	
IVANOV A. I., IVANOVA Zh. A. ....	119
<b>THE EFFECTIVENESS OF AN ACCURATE FERTILIZER SYSTEM IN A SLOPING AGRICULTURAL LANDSCAPE</b>	
IVANOVA Zh. A. ....	125
<b>BIOCHEMISTRY OF LIGNIN AT DIFFERENT HIERARCHICAL LEVELS OF STRUCTURAL ORGANIZATION OF SOILS</b>	
KOVALEV I.V., KOVALEVA N.O. ....	131
<b>FERTILITY OF CUT-AWAY LOWLAND PEATLANDS IN A CHANGING CLIMATE</b>	
KOVSHOVA V. N. ....	136
<b>QUESTIONS OF NECESSITY AND SAFETY OF SOIL WATER MANAGEMENT FOR STEPPE CONDITIONS IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA</b>	
MARKIN V. N., SHABANOV V. V. ....	144
<b>GEOSPATIAL ASSESSMENT OF CROP FARMING RISKINESS UNDER CHANGE IN CLIMATE IN THE NON-CHERNOZEM ZONE OF EUROPEAN RUSSIA</b>	
NIKOLAEV M. V. ....	153
<b>STABILITY OF THE SUM OF TEMPERATURES FOR THE VEGETATION OF THE MAIN AGRICULTURAL CROPS OF THE EUROPEAN RUSSIA IN THE CONDITIONS OF CLIMATIC CHANGES</b>	
NOVIKOVA L. Yu. ....	158
<b>INFLUENCE OF AGROCLIMATIC AND SOIL CONDITIONS ON THE CADASTRAL VALUE OF LAND IN THE NORTH-WEST REGION.</b>	
SAPOZHNIKOV P.M., OGLEZNEV A.K., DANILOVA N.I. ....	163
<b>EFFECTIVE SOIL FERTILITY UNDER THE MONOCULTURE OF THE GARDEN WITH THE USE OF BIOMINERAL FERTILIZER OF PROLONGED ACTION</b>	
SERGEEVA N.N., YAROSHENKO O.V. ....	167
<b>TRANSFORMATION OF ARABLE SOD-PODZOLIC SOIL IN MODERN CONDITIONS</b>	
FILIPPOV P. A. ....	172

<b>FEATURES OF THE HYDROLOGICAL STATE OF CHERNOZEMS IN MODERN FOREST AND CULTURAL LANDSCAPES OF THE CENTRAL CHERNOZEM ZONE</b>	
CHEVERDIN Yu. I., BESPALOV V. A. ....	177
<b>SOYBEAN FIELD: SOIL MOISTURE DYNAMICS UNDER FOLLOWING DROUGHTS</b>	
KHARCHUK O. A. ....	181
<b>MONITORING OF THE STATE OF AGROPHYSICAL, AGROCHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS OF PRODUCED PEAT</b>	
ANISIMOVA T.Yu. ....	185
<b>«MATHEMATICAL MODELING, INFORMATION TECHNOLOGIES, PRECISION AGRICULTURE»</b>	
<b>ASSESSMENT OF EROSION HAZARD OF AGRICULTURAL LANDS USING GIS TECHNOLOGIES (ON THE EXAMPLE OF THE MATVEEVO-KURGANSKY DISTRICT OF THE ROSTOV REGION)</b>	
BEZUGLOVA O. S., BOLDIREVA V. E., ZHOLUDEV R.O., LITVINOV Y.A., MEZHENKOV A.A. ....	189
<b>THE TECHNOLOGY OF DAILY MONITORING OF THE MOISTURE CONTENT OF THE ARABLE SOIL LAYER BASED ON THE OPERATIONAL ANALYSIS OF SOIL MOISTURE ACCORDING TO METEOROLOGICAL STATIONS AND REMOTE SENSING OF THE EARTH</b>	
BYKOV F. L., VASILENKO E. V., GORDIN V. A., TARASOVA L. L. ....	193
<b>MATHEMATICAL FORMALIZATION OF THE PRINCIPLE OF SIMILARITY AND CLASSIFICATION OF AGROMETEOROLOGICAL FACTORS</b>	
GAVRILOVSKAYA N. V. ....	198
<b>SIMULATION OF SPATIAL VARIATION OF BIOPRODUCTIVITY AT THE INTRADISTRICT LEVEL</b>	
DUNAIEVA I. A. ....	202
<b>ASSESSMENT OF SPATIAL CORRELATION BETWEEN BIOMASS YIELD OF SOWING IRRIGATED ALFALFA AND MOISTURE RESERVES OF SOIL COVER</b>	
ERMOLAEVA O. S., ZEYLIGER A. M. ....	207
<b>MULTISPECTRAL SURVEY FOR WEEDS DETECTION IN CEREAL CROPS</b>	
ZHELEZOVA S.V., VELLER V.E. ....	212
<b>SHORT-TERM, LONG-TERM AND MULTI YEAR PHYTOSANITARY MONITORING, FORECASTING, SCOPE OF PESTICIDE MONITORING AND USE (METHOD AND ITS IMPLEMENTATION)</b>	
ZAKHARENKO V. A. ....	218
<b>INTELLECTUALIZATION OF AGROTECHNOLOGY CONTROL IN REAL TIME</b>	
MIKHAILENKO I. M., TIMOSHIN V. N. ....	221
<b>DATABASE «WEEDS OF THE RUSSIAN FEDERATION ON DIFFERENT TYPES OF HABITATS»</b>	
MYSNIK E. N. ....	227
<b>SOME ASPECTS OF THE ECOLOGICAL NICHE CONCEPT IN SIMULATION MODELS</b>	
OZERSKI P. V. ....	231
<b>AGROCLIMATIC MONITORING OF REGIONAL AGRICULTURAL SYSTEMS TO DEVELOP CLIMATE ADAPTATION PLANS</b>	
PAVLOVA V.N., VARCHIEVA S.E., KARACHENKOVA A.A. ....	235
<b>USING A MATHEMATICAL MODEL FOR REGULATION OF THE MOISTURE SUPPLY OF AGROCENOSIS IN IRRIGATION FARMING</b>	
TERLEEVA V. V., LAZAREV V. A., GINEVSKY R. S., DUNAIEVA I. A. ....	240
<b>INFORMATIONAL FOUNDATION OF AGROCLIMATE RISK MANAGEMENT</b>	
USKOV A.O. ....	246
<b>3-D MAPPING MODELING OF MOISTURE RESERVES OF SOIL COVER OF A BARBED TEST AREA BORDERED WITH IRRIGATED SOYBEAN CROPS</b>	
CHINILIN A.V., ERMOLAEVA O. S., ZEYLIGER A. M. ....	254

**«CROP PRODUCTION MANAGEMENT: PHYSIOLOGY, GENETICS, BIOPHYSICS AND BREEDING OF PLANTS AND BIOTECHNOLOGIES»**

<b>QUANTITATION OF TOXIGENIC ASPERGILLUS FLAVUS STRAINS IN MAIZE SEED MATERIAL VIA CONVENTIONAL PCR</b>	
GRAJDIERU C. B., TUMANOVA L. G. ....	259
<b>EVALUATION OF THE RESISTANCE POTENTIAL TO DROUGHT AND HEAT STRESS IN VARIOUS TOMATO GENOTYPES</b>	
MARII L., ANDRONIC L., SMEREA S., CHITROSAN L. ....	262
<b>THE POSSIBILITY OF REDUCING THE ENERGY DEPENDENCE OF GRAPEVINE GENOTYPES IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE</b>	
ALEXANDROV E. ....	270
<b>GENETIC DIVERSITY OF <i>BRASSICA RAPA</i> L. VEGETABLE CROPS ON RESISTANCE TO CABBAGE MOTH AND CABBAGE SCOOP</b>	
ARTEMYEVA A.M., KURINA A.B. ....	274
<b>MOLECULAR IDENTIFICATION OF FUNGAL PATHOGENS IN TOMATO SEEDS</b>	
BELOUSOVA G.G. ....	278
<b>A NEW METHOD FOR DETERMINING THE RESISTANCE OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF PLANTS TO PHOTOINHIBITION</b>	
BUDAGOVSKAYA O. N., BUDAGOVSKY A. V. ....	282
<b>EFFECTS OF LIGHT COHERENCE ON PHOTOREGULATORY PROCESSES OF BACTERIA CELLS</b>	
BUDAGOVSKIY A.V., BUDAGOVSKAYA O.N., MASLOVA M.V., GROSHEVA E.V. ....	287
<b>WINTER RESISTANCE OF HYBRIDS F<sub>1</sub>THE LAVANDULA ANGUSTIFOLIA MILL</b>	
BUTNARAS V., GONCEARIUC M., COTELEA L., BALMUS Z., URECHEANU N. ....	292
<b>EVALUATION OF SELF-POLLINATED MAIZE LINES FOR DROUGHT TOLERANCE</b>	
BALICI E.N. ....	296
<b>PCR IDENTIFICATION OF MOLD FUNGI OF THE GENUS PENICILLIUM IN SWEET PEPPER AND EGGPLANT SEEDS</b>	
DIAGHILEVA A.V., TUMANOVA L.G., MITIN V.A. ....	300
<b>STUDY OF THE INFLUENCE OF THE PHOTOPERIOD ON THE CONTENT OF ANTHOCYANES IN SPECIES <i>BRASSICA RAPA</i> L. CABBAGE PLANTS</b>	
EGOROVA K. V., SINYAVINA N. G., VERTEBNIY V. E., HOMYAKOV Yu.V., CHESNOKOV Yu. V. ....	304
<b>STUDYING THE GENOTYPICAL DIVERSITY OF THE MINT COLLECTION OF NON-MENTAL DIRECTION</b>	
JELEZNIK T. G., BARANOVA N. V., VORNIKU Z. N. ....	310
<b>EFFECT OF SEED PRETREATMENT WITH SILICON-CONTAINING MICRONUTRIENT FERTILIZER ON RESISTANCE OF WINTER BARLEY SEEDLINGS TO SOIL SALINIZATION</b>	
ZAITSEVA R.I., ANIKINA L.M., FRID A.S., SOKOLENKO N.I., KOMAROV N. M., PANOVA G.G. ....	316
<b>MOLECULAR DIAGNOSTICS OF PHYTOPLASMA INFECTION IN MOLDAVIAN VARIETIES OF PEPPER</b>	
ZAMORZAEVA I. A., BAHSEV A. G., FOCSA N. G. ....	323
<b>REACTION THE BOXWOOD LEAVES (<i>BUXUS SEMIPERVENSIS</i> L.) ON THE INFLUENCE OF HEAT SHOCK AS A CRITERION FOR ASSESSING THE HEAT RESISTANCE OF PLANTS</b>	
ZDIORUK N. V., RALEA T.H., PLATOVSCII N.N.....	328
<b>SOYBEAN REACTION TO THE SPECTRAL COMPOSITION OF LIGHT IN CONDENSED AGROCENOSSES AND SELECTION OF GENOTYPES WITH INCREASED RESISTANCE TO GREEN-SPECTRAL SHADING</b>	
ZELENTSOV S. V., MOSHNENKO E. V. ....	333
<b>EFFECT OF THERMAL STRESS AND GROWTH REGULATORS ON MOBILIZATION OF RESERVE SUBSTANCES OF MAIZE SEEDS FOR GERMINATION</b>	
IVANOVA R. A., BOROVSKAIA A.D., MASCENCO N.E. ....	338



<b>COMPARISON OF THE COMPOSITION OF PATHOGENIC MICROFLORA IN SEEDS OF TRITICALE OF THE MOLDAVIAN BREEDING</b>	
IGNATOVA Z.C. ....	343
<b>STUDIES OF PERIOD OF VEGETATION AND PRODUCTIVITY OF LETTUCE <i>LACTUCA SATIVA</i> L. MODERN CULTIVARS IN LENINGRAD DISTRICT UNDER DIFFERENT GROWING CONDITIONS</b>	
IGUMNOVA M.M., ARTEMYEVA A.M. ....	348
<b>CHARACTERISTICS OF RESISTANCE TO ABIOTIC STRESSES IN MAIZE LINES AND HYBRIDS</b>	
CLIMENCO O.A. ....	351
<b>STORAGEE POTENTIAL OF CUCUMBER (<i>CUCUMIS SATIVUS</i> L.) COLLECTION SAMPLES UNDER <i>EX SITU</i> CONSERVATION</b>	
CORLATEANU L.B., GANEA A.I., GRADINAR D.G. ....	356
<b>PERSPECTIVE HYBRIDS F2 OF <i>SALVIA SCLAREA</i> WITH HIGH ESSENTIAL OIL CONTENT</b>	
COTELEA L., GONCEARIUC M., BALMUS Z., BUTNARAS V. ....	361
<b>DETECTION OF FUNGAL PATHOGENS OF <i>FUSARIUM</i>, <i>ALTERNARIA</i>, <i>ASPERGILLUS</i>, <i>PENICILLIUM</i> AND <i>MYROTHECIUM</i> GENERA IN WINTER WHEAT SEEDS BY THE METHODS OF MOLECULAR GENETICS</b>	
CUZNETSOVA I. I. ....	366
<b>BIOELECTRIC POTENTIAL IN THE ROOT HABITAT DEPENDING ON THE COMPOSITION OF THE NUTRIENT SOLUTION</b>	
KULESHOVA T.E., GALL N.R., GALUSHKO A.S., UDALOVA O.R., ANIKINA L.M., VERTEBNEY V.E., DUBOVITSKAYA V.I., KHOMYAKOV Yu.V., PANOVA G.G. ....	371
<b>PHYTOSANITARY ZONING IN RELATION TO WEEDS: APPROACH, CRITERION, PRINCIPLE</b>	
LUNEVA N. N. ....	374
<b>HERITABILITY, VARIABILITY AND GENETIC PROGRESS OF SOME PRODUCTIVITY COMPONENTS IN THE WINTER COMMON WHEAT</b>	
LUPASHKU G.A., GAVZER S.I., KRISTYA N.I. ....	379
<b>CROSSING OVER INTENSIFICATION IN MARKED SEGMENTS OF CORN CHROMOSOMES ON A HOMOZYGOUS GENETIC BACKGROUND</b>	
MIKHAILOV M. E. ....	384
<b>MODEL TESTING OF THE POSSIBILITY OF HETEROSIS FIXING IN DIFFERENT SCHEMES OF DOUBLE HAPLOID BREEDING</b>	
MIKHAILOV M. E. ....	388
<b>REACTION OF THE TOMATO VARIETIES CARRYING THE <i>B</i> (<i>CAROTENE</i>) AND <i>R</i> (<i>YELLOW FLESH</i>) GENES TO STRESS TEMPERATURES</b>	
MIHNEA N.I., KLIMAUTSAN D. P., ROSHCA C. V. ....	392
<b>APPLICATION OF VIBRATION IN THE PROCESSING OF AGRICULTURAL RAW MATERIALS</b>	
NEMENUSHCHAYA L.A. ....	396
<b>AGROBIOLOGICAL ASPECTS OF THE SILICA SOLS NANOCOMPOSITIONS INFLUENCE</b>	
PANOVA G.G., SHILOVA O.A., KHAMOVA T.V., KORNYYUKHIN D.L., SPANEV A.M., UDALOVA O.R., ARTEM'EVA A.M., GALUSHKO A.S., KOVALENKO A.S., NIKOLAEV A.M., ZHURAVLEVA A.S., KANASH E. V. ....	400
<b>INFLUENCE OF BAS REGLALG ON THE AGING RATE OF VARIOUS GENOTYPES OF WHEAT (<i>TRITICUM AESTIVUM</i> L.)</b>	
PLATOVSCII N.N., ZDIORUK N. V., RALEA T.H., GORE A.V. ....	405
<b>BIOTECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF PLANT ANTIMICROBIAL PEPTIDES INSIDE FUSION PROTEINS</b>	
ROGOZHIN E.A., BARASHKOVA A.S., RYAZANTSEV D.Y., ZAVRIEV S.K. ....	410
<b>METHODS AND ALGORITHMS FOR GENETIC MAPPING OF CROSSADS</b>	
RONIN E.I., MESTER D.I., MINKOVA D.M. ....	413
<b>CHANGES IN PEROXIDASE ACTIVITY IN SOFT WHEAT SPROUTS AFTER PROCESSING OF GRAINS WITH MUSHROOMS <i>FUSARIUM OXYSPORUM</i> AND <i>DRECHSLERA SOROKINIANA</i></b>	
RUDAKOVA A., RUDAKOV S., KERDIVARA A., LUPASHKU G. ....	418

<b>ROLE OF OSMOTIC PRESSURE OF CELLULAR JUICE IN TISSUES OF SOY AND OTHER HIGHER PLANTS IN THE FORMATION OF PHYSIOLOGICAL RESISTANCE TO THE AGENT OF CHARCOAL ROT <i>MACROPHOMINA PHASEOLINA</i> (TASSI) GOID</b>	
SAENKO G. M., ZELENTSOV S. V. ....	423
<b>COMPLEMENTARY EFFECT OF VIRAL AGENTS AND TEMPERATURE ON THE REACTION OF MALE TOMATO GAMETOPHYTE</b>	
SALTANOVICI T.I., ANTOCI L.P., ANDRONIC L.I., DONCILA A.N. ....	428
<b>MANIFESTATION OF RESISTANCE OF WINTER WHEAT TO THE PATHOGEN <i>ALTERNARIA ALTERNATA</i> (FR.) KESSLER UNDER CONTROLLED CONDITIONS</b>	
SAŞCO E. F. ....	433
<b>PRESERVATION OF PLUM FRUIT QUALITY INDICATORS DEPENDING ON GROWING CONDITIONS AND STORAGE METHODS USED</b>	
SVETLICHENKO V.Yu., NIKUTSA A.P., KHAREA I.D., BUJOREANU N.S. ....	438
<b>NEW ACCESSIONS OF <i>RAPHANUS SATIVUS</i> L. FOR LIGHT CULTURE AND OPEN GROUND</b>	
SINYAVINA N. G., KOCHETOV A. A., EGOROVA K. V., KOCHERINA N. V. ....	443
<b>RESEARCH OF THE PRODUCTION PROCESS OF RICE AGROPHYTOCENOSES IN CONNECTION WITH THEIR CONDITION</b>	
SKAZHENNIK M.A., CHIZHIKOV V.N., PETRUSHIN A.F., KISELEV E.N., MITROFANOV E.P. ....	449
<b>FEATURES OF THE LEAF APPARATUS OF FRUIT PLANTS WHEN TREATED WITH RAGLALG WITH MICROELEMENTS</b>	
TITOVA N.V. ....	455
<b>COMPARATIVE ANALYSIS OF CAROTENOIDS BIOSYNTHESIS GENES IN <i>BRASSICA RAPA</i>, <i>B.OLERACEA</i>, AND <i>B.NAPUS</i></b>	
FATEEV D.A., ARTEMYEVA A.M. ....	460
<b>PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF SOYBEAN CROPS AT DIFFERENT SOWING TIMES IN THE CONDITIONS OF THE MIDDLE AMUR REGION</b>	
FEDOROVA T.N., ASEEVA T.A. ....	463
<b>INNOVATIVE LARGE-GRAINED WHEATGRASS VARIETY SOVA FOR ECOLOGICAL AND REGENERATIVE FARMING IN RUSSIA</b>	
SHAMANIN V.P., POTOTSKAYA I.V., AYDAROV A.N., SHEPELEV S.S. ....	468
<b>ASSORTMENT OF PREPARATIONS FOR THE FIGHT AGAINST WIREWORMS ON POTATOES</b>	
SHOROKHOV M.N., KRIVCHENKO O.A. ....	472
<b>INTEGRATED SYSTEM FOR PROTECTING GRAPES FROM PESTS AND DISEASES</b>	
SHCHEGOLIKHINA T.A. ....	475
<b>REDUCTION OF PESTICIDE LOAD ON WHEAT SEEDS DURING TREATMENT BEFORE SOWING OF TANK MIX WITH BIOPRODUCTS</b>	
SCERBACOVA T.I., CRUCEAN S.M. ....	479
<b><i>ORYZA SATIVA</i> L. SOURCE MATERIAL FOR IMPROVING THE RESISTANCE OF DOMESTIC RICE VARIETIES TO LOW TEMPERATURES</b>	
YURCHENKO S. A., KOROTENKO T. L. ....	484
<b>BIOLOGICAL USEFULNESS OF SEED MATERIAL AND METHODS FOR REALIZING GROWTH POTENTIAL WHEN GROWING PLANTS IN FIELD AND REGULATED CONDITIONS</b>	
ARKHIPOV M.V., PRIYATKIN N.S., GUSAKOVA L.P., SHCHUKINA P.A., RUTKOVSKAYA T. S., POTRAKHOV N. N. ....	489
<b>REGRESSION METHOD FOR ESTIMATING OF THE PLANT QUANTITATIVE CHARACTERS IN THE RAPID ECOLOGICAL VARIETY TESTING</b>	
SHELOUKHOVA N. A. ....	492
<b>APPLICATION OF COMPLEX AGROADAPTAGENS OF THE KAA SERIES</b>	
KOMAROV A. A. (junior), NUGIS E. Yu., KOMAROV A. A. (senior).....	497
<b>DEVELOPMENT OF METHOD FOR THE WATER STABILITY ASSESSMENT OF SOIL AGGREGATES</b>	
USHKOVA D.A., POTAPOV D.I., FEDOTOV G.N., GOREPEKIN I.V. ....	503

**THE INFLUENCE OF AGRO-TECHNICAL FACTORS ON THE CHANGE OF AGROPHYSICAL AND BIOLOGICAL  
PROPERTIES OF HEAVY-NOSTRICED SOILS OF THE MIDDLE AMUR REGION**

SELEZNEVA N.A., TISHKOVA A.G. ....508  
AUTHOR INDEX .....515

ISBN 978-5-905200-46-5



Материалы III международной научной конференции  
**«Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к  
технологиям будущего»**  
ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия, 14–15 сентября 2021 г.

*Технический редактор: А. Ю. Цивилёв*

---

Подписано в печать 27.10.2021  
Подготовлено к печати в ФГБНУ АФИ  
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14.