

ПРИРОДА

4 14



В НОМЕРЕ:**3 ГРАВИТАЦИЯ – ИСКРИВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА ИЛИ ФИЗИЧЕСКОЕ ПОЛЕ?**

Поскольку опыт показывает, что пробные тела и свет движутся по геодезическим линиям искривленного риманова пространства-времени, Эйнштейн при построении Общей теории относительности и выбрал последнее за основу. Но в таком пространстве-времени не могут соблюдаться законы сохранения энергии и импульса, которые так же надежно установлены экспериментально. Разрешить это противоречие позволяет релятивистская теория гравитации, в которой гравитационное поле не отличается от других полей материи (как первоначально полагал и сам Эйнштейн).

Герштейн С.С.**О новом развитии теории гравитации (3)****Логунов А.А.****Релятивистская теория гравитации: новые результаты (6)****12 Киселев Ф.Л.****О молекулярных механизмах возникновения опухолей**

Опухолевая клетка кардинально отличается от нормальной огромным количеством (около 5000) геномных и эпигеномных нарушений. Их обнаружение позволило найти новые ранние диагностические маркеры и разработать более совершенные подходы к химиотерапии опухолей. Несомненно, эти направления в ближайшие годы будут стремительно развиваться, что позволяет надеяться на дальнейшие серьезные успехи в лечении онкологических заболеваний.

22 Сидоренков Н.С., Бизуар К., Зотов Л.В., Салстейн Д.**Момент импульса атмосферы**

Атмосфера вращается не только вместе с Землей, но и относительно земной поверхности. Характеризует это движение момент импульса атмосферы; анализ поведения его осевого и экваториальных компонентов позволяет судить о кинематике циркуляции воздуха и протекающих в нем процессах.

29 Коростелев Е.М., Зелюткина Л.О., Севастьянов Д.В.**Древние волокна – уникальные памятники освоения Севера**

Система водно-волоковых путей на Русском Севере включала в себя реки, озера и сухопутные участки между ними – от Балтийского моря до Уральских гор. В каком же состоянии сегодня находятся древние волокна? Смогут ли современные туристы пройти дорогами, по которым наши предки осваивали богатые северные земли?

38 Бебия С.М.**Рай для ботаника**

Китай – одна из флористических областей мира, где еще сохранились уникальные остатки разнообразия древнейшей растительности. Любой ботаник мечтает побывать там, но ему необходимо поспешить: скоро эти уникалы можно будет увидеть лишь в ботанических садах – впрочем, их в Китае более 230.

50 Горбунов А.П., Горбунова И.А.**Верный. История катастроф****55 Завалко И.М., Ковальзон В.М.****Как возникла наука о сне****Апрельский факультатив****64 Берман Д.И., Никольский П.А.****Мамонтов крот с Колымы****Расцветаева Р.К.****Хикикомория (68)****81 Каминский Ф.В.****Кто изобрел радар?**

Из истории изобретений российского физика Г.В.Потапенко в Америке

Рецензии**90 Менцин Ю.Л.****Ньютон и Монетный двор**

Ученый как очень эффективный менеджер (на кн.: Т.Левенсон. Ньютон и фальшивомонетчик. О том, как величайший ученый стал сыщиком)

94**Новые книги****В конце номера****95 Портнов А.М.****Самогон изобрели славяне!**

CONTENTS:

3 GRAVITY: THE CURVATURE OF SPACE OR A PHYSICAL FIELD?

Since experience shows that test bodies and light move along the geodesic lines of the curved Riemannian space-time. Einstein, when constructing General Relativity Theory, chose the latter as a basis. However in such space-time one can not comply with the laws of conservation of energy and momentum which are also reliably established experimentally. Relativistic theory of gravity in which the gravitational field does not differ from other fields of matter (as originally assumed by Einstein) allows to lift this contradiction.

Gershtein S.S.

On a New Development of Theory of Gravity (3)

Logunov A.A.

Relativistic Theory of Gravity: New Results (6)

12 Kiselev F.L.

On Molecular Mechanism of Origination of Tumors

Tumor cell drastically differs from a normal one by a huge number (around 5000) of genomic and epigenetic abnormalities. Detection of these allows to find new early diagnostic markers and to develop more advanced approaches to chemotherapy of tumors. These routes will undoubtedly develop rapidly in the coming years, which allows to hope for further serious progress in treatment of oncological diseases.

22 Sidorenkov N.S., Bizouard Ch., Zotov L.V., Salstein D.

Angular Momentum of Atmosphere

Atmosphere is rotating not only together with Earth, but also relative to Earth surface. This movement is described by angular momentum of atmosphere: the analysis of behavior of its axial and equatorial components allows to understand kinematics of the air circulation and processes occurring in it.

29 Korostelev E.M., Zelyutkina L.O., Sevastyanov D.V.

Ancient Drawing Dies Are Unique Monuments of North Development

The system of aquatic-drawing routes in Russian North included rivers, lakes and land bridges between them, from Baltic Sea to Urals. In what condition these ancient drawing dies are? Will today tourists be able to pass the roads our ancestors were roaming while mastering the rich North lands?

38 Bebia S.M.

Paradise of a Botanist

China is one of floristic provinces of the world where still remain the unique remnants of the biodiversity of our planet's most ancient flora. Every botanist dreams to visit these places, but he should not delay this trip for long: quite soon these unique plants could be seen only in botanic gardens. On the other hand, there are more than 230 of the latter in China.

50 Gorbunov A.P., Gorbunova I.A.

Vernyj. History of Catastrophes

55 Zavalko I.M., Kovalzon V.M.

How the Science of Sleep Emerged

April Lectures

64 Berman D.I., Nikolsky P.A.

Mammoth Mole from Kolyma

Rastzvetaeva R.K.

Chikikomoria (68)

81 Kaminsky F.V.

Who Invented Radar?

From history of inventions of Russian physicist G.V.Potapenko in America

Book Reviews

90 Mentzin Yu.L.

Newton and the Mint

A scientist as a very effective manager (on book: T.Levenson. Newton and a Counterfeiter. How the Greatest Scientist Became a Detective)

94

New Books

In the End of an Issue

95 Portnov A.M.

Moonshine was invented by Slavs!

ГРАВИТАЦИЯ — ИСКРИВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА ИЛИ ФИЗИЧЕСКОЕ ПОЛЕ?

Открытия последних лет в космологии поставили со всей остротой вопрос о справедливости известных законов гравитации и развитии новых представлений в этой области. Рассказать об указанных вопросах популярно, не используя сложный математический аппарат, весьма трудно. В связи с этим редакция сочла полезным предпослать статье А.А.Логунова, ориентированной на достаточно информированного по теме читателя, заметку С.С.Герштейна с изложением некоторых предпосылок теории гравитации, имеющих важное значение для релятивистской астрофизики.

О новом развитии теории гравитации

академик С.С.Герштейн

Общая теория относительности (ОТО) — одно из величайших открытий в истории человечества. Создавая ее, А.Эйнштейн исходил из экспериментально установленного равенства инертной и гравитационной массы тел и так называемого принципа эквивалентности. В первоначальной формулировке последний гласил, что равномерно ускоренное движение относительно инерциальной системы координат может компенсировать действие гравитационного поля («падающий лифт» Эйнштейна). Другими словами, неинерциальная система координат эквивалентна некоторому гравитационному полю. Поэтому гравитационное поле, по мысли Эйнштейна, может описываться метрическими коэффициентами (компонентами тензора g_{ik}) интервала между событиями в четырехмерном пространстве-времени $ds^2 = \sum_{i,k} g_{ik} dx_i dx_k$ (такова более поздняя, естественная формулировка принципа эквива-

лентности). В соответствии с этим ОТО называют иногда геометрической теорией*.

Следует подчеркнуть: первоначально (в 1913 г.) при поиске теории гравитации Эйнштейн полагал, что гравитационное поле не должно отличаться от других полей материи и в присутствии этого поля должны выполняться законы сохранения энергии и импульса. Однако, когда он сам и Д.Гильберт независимо друг от друга установили уравнения гравитационного поля, в них четырехмерное пространство-время приобрело кривизну, которая определяется тензором энергии-импульса вещества, т.е. пространство-время стало не псевдоевклидовым

* Вид геометрии в современной математике определяется выражением для квадрата расстояния между двумя бесконечно близкими точками, т.е. ее структура задается характером метрического тензора из этого выражения. Так, привычное нам евклидово пространство плоское (с нулевой кривизной) — в нем можно ввести декартову систему координат, в которой тензор имеет диагональный вид.

пространством специальной теории относительности* (СТО), а римановым пространством**.

В таком «искривленном» пространстве-времени не могут соблюдаться законы сохранения энергии и импульса — на этот факт сразу же указал математик Гильберт. Эйнштейн же, как физик, считал соблюдение законов сохранения энергии и импульса необходимым, поскольку все экспериментальные факты свидетельствовали об их справедливости. В попытке добиться этого он ввел особую величину — так называемый псевдотензор энергии-импульса, обладающий свойствами тензора только при линейных преобразованиях координат. Однако введение такой величины приводило к ряду парадоксов. Например, используя стандартные правила общей теории относительности, нельзя было получить какое-либо определенное значение для интенсивности гравитационного излучения, и только благодаря своей физической интуиции Эйнштейн нашел правильное значение этой величины (позволившее объяснить изменение периода вращения двух расположенных близко друг от друга пульсаров относительно их центра масс). Нелепым было и то, что для пустого пространства (в отсутствие материальных тел) псевдотензор, вычисленный в сферических координатах, оказывался отличным от нуля, а гравитационная энергия сферически симметрично го тела — бесконечной.

Полевая теория гравитации, которую предложил А.А.Логунов, сохранив объяснения всех наблюдаемых на опытах эффектов ОТО, устранила все ее парадоксы, замеченные ранее многими авторами. Более того, она смогла предсказать плоскую пространственную структуру Вселенной и наличие в ней невидимой (темной) материи, дополняющей относительную плотность вещества Вселенной до критического значения $\Omega_{tot} = 1$.

Важно отметить, что релятивистская теория гравитации (РТГ) построена на том же самом принципе так называемых *калибровочных полей*, на котором базируются современные теории единого электромагнитного и слабого взаимодействий, а также теория сильного взаимодействия — квантовая хромодинамика. Во всех этих теориях источниками полей, переносящих взаимодействия между частицами, служат сохраняющиеся величины («заряды») и их токи. Сохраняющимися величинам, согласно известной теореме Э.Нётер, отвечает определенная симметрия энергии систе-

мы. Если эта симметрия носит *локальный* характер (т.е. параметры преобразования симметрии не одинаковы повсюду, а являются произвольными функциями пространственно-временной точки), то создаваемые зарядами поля должны быть определены так, чтобы при преобразованиях симметрии они также изменялись, компенсируя в физических величинах (например, импульсе) произвол в параметрах симметрии. Такие «компенсирующие» поля и получили название калибровочных. Если из калибровочных полей и их пространственно-временных производных можно составить комбинации, которые не зависят от произвольной функции преобразования симметрии, то именно эти комбинации будут физическими величинами, характеризующими рассматриваемые поля. Пользуясь принципом наименьшего действия и требованием специальной теории относительности, можно получить для этих полей уравнения, связывающие эти поля с зарядами и токами, которые их порождают. Калибровочные поля, создаваемые сохраняющимися зарядами и их токами, являются векторными полями***.

Модель калибровочного поля впервые рассмотрели Э.Янг и Р.Миллс в 1954 г. К теории Янга и Миллса обратились в 1959 г., после того, как Р.Фейнман и М.Гелл-Манн и независимо Р.Маршак и Дж.Сударшан открыли закон универсального, так называемого ($V-A$) слабого взаимодействия. Получалось, что слабое взаимодействие, подобно электромагнитному, переносится векторными частицами, и, аналогично электромагнитному току, сохраняется слабый векторный ток. Эти факты заставили задаться вопросом: «Почему именно векторные частицы служат переносчиками указанных взаимодействий?». Ответ на него давала теория калибровочных полей.

На этой основе удалось построить единую теорию электрослабых взаимодействий, блестяще подтвержденную многочисленными экспериментами. Таким же образом была создана и современная теория элементарных сильных взаимодействий — квантовая хромодинамика. Объяснить составное строение сильновзаимодействующих частиц (адронов) из кварков удалось, приняв, что каждый тип (аромат) кварков может находиться в трех различных состояниях (названных цветом), причем эта характеристика должна *сохраняться*. Тут и была высказана гипотеза, что сохраняющийся цвет может служить зарядом, т.е. источником особых векторных полей (глюонов), переносящих взаимодействие между кварками. Базирующаяся на этом квантовая хромодинамика тоже прекрасно подтвердилась на опыте.

* В пространстве СТО, называемом пространством Минковского, трехмерное евклидово пространство дополнено четвертой — временной — координатой.

** В геометрии Б.Римана нет общего для всего пространства диагонального метрического тензора: кривизна риманова пространства отлична от нуля и изменяется от точки к точке. Это пространство не обладает группами движения (трансляции и вращения) и, соответственно, симметрией, которая порождает законы сохранения.

*** Отметим, что для получения всех уравнений Максвелла, описывающих электромагнитное поле, в настоящее время (когда мы знаем законы квантовой механики и специальной теории относительности) понадобился бы лишь один факт: существование сохраняющегося электрического заряда.

В связи с успехом калибровочных теорий возникает вопрос: «Не могут ли быть источниками каких-либо калибровочных полей другие сохраняющиеся величины?». На подобную роль подходит, в частности, тензор энергии-импульса, состоящий из энергии, импульса и их потоков. По мысли Логунова, именно полный тензор энергии-импульса, включающий вклад всех видов материи, и служит источником гравитационного поля. Такой подход сразу объясняет то, что в нерелятивистском пределе гравитационное поле будет пропорционально инертной массе создающих его тел. Другой важный вывод: данное поле будет тензорным (поскольку источник его — тензор). В этом отношении гравитационное поле отличается от векторных калибровочных полей, источники которых — сохраняющиеся векторные токи. Тензорный характер гравитационного поля определяет возможность его «геометризации». Как было показано Логуновым, тензор гравитационного поля ϕ , соединяясь с метрическим тензором пространства СТО (пространством Минковского) γ , дает метрический тензор риманова пространства g , так что движение материальных тел под действием гравитации происходит таким образом, как если бы они двигались в искривленном римановом пространстве. Более того, комбинации полей, входящие в уравнения, могут быть истолкованы как кривизны этого риманова пространства. Итак, возникает новый взгляд на «геометрическую» теорию гравитации ОТО: риманово пространство ОТО оказывается кажущимся, «эффективным» пространством, построенным на первичном пространстве Минковского (в котором сохраняются энергия и импульс) и физическом гравитационном поле.

Принципиально важно, что из условия сохранения вещества в римановом пространстве РТГ получает четыре общековариантных (т.е. сохраняющих свою форму при любых преобразованиях координат) «поляризационных» уравнения гравитации, согласно которым переносчиками гравитации могут служить частицы (гравитоны) только со спинами 2 и 0. Таким образом, в РТГ возникает полная система уравнений гравитации, дающая однозначное решение для гравитационного поля в любой выбранной системе координат. Следует отметить, что «поляризационные» уравнения РТГ в частном случае декартовых координат удовлетворяются в так называемой гармонической системе координат, предложенной В.А.Фоком для «островных» систем (например, Солнечной). Фок указывал на замечательную возможность выбора в римановом пространстве ОТО инерциальной системы координат, в которой будут соблюдаться законы специальной теории относительности и ковариантность относительно преобразования

Лоренца. Этот факт мог бы послужить указанием на полевую природу гравитации, но Фок считал, что его условие «гармоничности» применимо только к «островным» системам.

Применение уравнений РТГ к однородной и изотропной Вселенной Фридмана сразу дает важный результат. Во-первых, из них вытекает, что пространственная геометрия Вселенной плоская, а во-вторых — что суммарная относительная плотность вещества во Вселенной (плотность, отнесенная к критической, характеризующей переход от одного варианта эволюции к другому) $\Omega_{\text{tot}} = 1$, т.е. Вселенная эволюционирует по параболическому сценарию: когда плотность вещества вначале уменьшается со временем, а затем, достигая некоторого минимального значения, вновь возрастает до прежнего значения (причем сама Вселенная бесконечна). Эти предсказания были сделаны Логуновым и его сотрудниками еще в 1984 г. и указали на существование невидимой («темной») материи, поскольку видимой материи для обеспечения единичной плотности не хватало. При наличии малой конечной массы гравитона величина Ω_{tot} становится несколько большей единицы, а эволюция Вселенной приобретает осциллирующий характер: расширение сменяется сжатием и затем вновь расширением.

Одним из важнейших результатов РТГ может стать проведенное впервые вычисление релятивистского выражения для гравитационной энергии сферически-симметричного нестатического тела. Этот результат получен на базе выражения для тензора энергии-импульса гравитационного поля вне тела и закона сохранения энергии. Оказалось, что при приближении радиуса тела к так называемому радиусу Шварцшильда внутренняя энергия тела (включающая энергию составляющих его частиц и энергию гравитационного поля) неограниченно растет и может превысить суммарную массу частиц. Это должно привести к нагреванию вещества, стабилизации сжатия и вылету определенного количества частиц, предотвратив неограниченный коллапс тела, т.е. образование «черных дыр», существование которых противоречит принципу причинности и, вопреки распространенному мнению, вовсе не следует (как и считал сам Эйнштейн) из общей теории относительности. Из релятивистской теории гравитации следует поистине фундаментальный вывод, что радиус тел должен быть больше гравитационного радиуса Шварцшильда. Это согласуется с высказыванием Эйнштейна о невозможности распределить вещество в пространстве произвольным образом. Наблюдение объектов с массами, во много раз превышающими массу Солнца, совсем не означает, что эти объекты представляют собой черные дыры, не имеющие внешней поверхности. ■

Релятивистская теория гравитации: новые результаты

А.А.Логунов

В 1987 г. в журнале «Природа» была опубликована моя статья о полевой теории гравитации [1]. За прошедшее с тех пор время были сделаны фундаментальные открытия, касающиеся устройства Вселенной. Как они согласуются с предложенной теорией? Не повторяя детальный экскурс из упомянутой статьи в используемые представления, напомним лишь вкратце основные положения этой теории и новые выводы, которые из нее следуют [2].

Фундамент и конструкция

Структура пространства окружающего нас мира стала предметом острых дискуссий на рубеже XIX—XX вв. В 1921 г. в статье «Геометрия и опыт» А.Эйнштейн писал: «...вопрос о том, имеет этот континуум евклидову, риманову или какую-либо другую структуру, является вопросом физическим, ответ на который должен дать опыт, а не вопросом соглашения о выборе на основе простой целесообразности» [3]. Это, конечно, правильно, но сразу возникает вопрос: какой опыт? Опытных фактов может быть достаточно много. Например, изучая движение света и пробных тел, можно в принципе однозначно установить геометрию пространства-времени. Необходи-



Анатолий Алексеевич Логунов, академик, советник Президиума РАН, главный научный сотрудник Института физики высоких энергий НИЦ КИ (Протвино). Лауреат Ленинской (1970) и Государственных (1973, 1984) премий, Герой Социалистического Труда, награжден Золотой медалью им.А.М.Ляпунова РАН. Научные интересы связаны с физикой элементарных частиц, квантовой теорией поля и теорией гравитации.

димо ли ее и положить в основу физической теории? На первый взгляд, следует ответить утвердительно, и вопрос будет исчерпан. Именно по этому пути позднее пошел Эйнштейн при построении общей теории относительности (ОТО). Раз пробные тела и свет движутся по геодезическим линиям искривленного риманова пространства-времени, последнее он и выбрал как исходное. Однако в действительности ситуация гораздо сложнее. Все виды материи подчиняются законам сохранения энергии-импульса и момента количества движения. Эти законы, обобщая многочисленные опытные данные, характеризуют общие динамические свойства всех форм материи, вводя универсальные характеристики, которые позволяют количественно описать превращение одних форм материи в другие. Ведь все это тоже опытные данные, ставшие фундаментальными физическими принципами. Как быть с ними? Если следовать Эйнштейну и основываться на римановой геометрии, тогда от них следует отказаться. Однако более естественно сохранить их для всех физических полей, в том числе и для гравитационного. До сих пор не известен ни один экспериментальный факт, прямо или косвенно ставящий под сомнение справедливость законов сохранения энергии-импульса и момента количества движения как в макро-, так и в микромире. Поэтому в основу теории необходимо положить пространство Минковского, т.е. псевдоевклидову геометрию пространства-времени, что и было сделано в релятивистской теории гравитации (РТГ), которая построена в рамках специальной теории относительности (СТО).

В отличие от общей теории относительности, в РТГ сохранены инерциальные системы координат (следовательно, сохранен

и принцип инерции), а ускорение является абсолютным. Источником физического гравитационного поля в силу универсальности гравитационного взаимодействия служит сохраняющийся тензор энергии-импульса всех физических полей, включая и гравитационное. Именно поэтому гравитационное поле оказывается тензорным физическим полем, которое, как и все другие физические поля, локализовано в пространстве Минковского. РТГ в инерциальной системе в галилеевых координатах (т.е. координатах этого пространства), в отличие от ОТО, оставляет в силе фундаментальные законы сохранения энергии-импульса и момента количества движения абсолютно всех полей. Гравитационное поле, как и все другие физические поля, характеризуется своим *тензором энергии-импульса*. Если гравитационному полю

сопоставить частицы (кванты поля), то оказывается, что они должны иметь массу покоя и спины 2 и 0. Ранее мы предполагали, что масса покоя гравитона m_g равна нулю, но сама логика полевой теории привела к величине m_g , отличной от нуля. Хотя значение этой массы теорией не определяется, само ее наличие чрезвычайно существенно.

Полная система уравнений РТГ может быть формально получена по аналогии с уравнениями Максвелла, если вместо векторного электромагнитного поля в левой части уравнений мы поставим тензорное гравитационное поле, а сохраняющийся электромагнитный ток заменим сохраняющимся тензором энергии-импульса всех физических полей материи, включая и гравитационное. Конечно, это не вывод уравнений РТГ, а всего лишь эвристический прием (см. табл.). Но точное

Таблица

Параллели между теориями электромагнетизма и гравитации

Электродинамика	Релятивистская теория гравитации
Электромагнитное поле — векторное A^i .	Гравитационное поле — тензорное ϕ^{ik} . ϕ^{ik} подключается к метрическому тензору γ^{ik} пространства Минковского, образуя метрический тензор «эффективного» псевдориманова пространства $\tilde{g}^{ik} = \sqrt{-g}g^{ik} = \sqrt{-\gamma}\gamma^{ik} + \sqrt{-\gamma}\phi^{ik} = \tilde{\gamma}^{ik} + \tilde{\phi}^{ik}$
Уравнение для электромагнитного поля (без учета гравитации): $\gamma^{ik}D_iD_kA^m = 4\pi j^m$. Источник поля: сохраняющийся электромагнитный ток j^m .	Уравнения для гравитационного поля $\gamma^{ik}D_iD_k\tilde{\phi}^{mn} = 16\pi Gt^{mn}$. Источник поля: сохраняющаяся плотность тензора энергии-импульса всех физических полей, включая и гравитационное. Эти уравнения нелинейны.
Условие, оставляющее в векторном поле только частицы со спином 1 (условие Лоренца): $D_iA^i = 0$.	Уравнения, оставляющие в тензорном поле $\tilde{\phi}^{ik}$ только частицы со спином 2 и 0: $D_i\tilde{\phi}^{ik} = 0$. Эти уравнения объединяются в единую систему с уравнениями гравитационного поля $R_{ik} - \frac{m^2}{2}(g_{ik} - \gamma_{ik}) = 8\pi G(T_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}T)$, $m = \frac{m_g c}{\hbar}$. Последние отличаются от уравнений Эйнштейна с космологическим членом наличием массового члена с метрическим тензором пространства Минковского γ_{ik} . Из этой совокупности 14 общековариантных уравнений следует уравнение движения вещества $\nabla_i T^m = 0$.

D_i — символ ковариантных производных в пространстве Минковского; ∇_i — символ ковариантных производных в псевдоримановом пространстве; T^{ik} — тензор энергии-импульса вещества; t^{ik} — тензор энергии-импульса гравитационного поля; R_{ik} — тензор Риччи. Формулы с членами, включающими одинаковые верхние и нижние индексы (i, k), подразумевают суммирование по ним.

рассмотрение на основе изложенных выше положений, в соединении с локальной калибровочной инвариантностью и ее минимальным нарушением, приводит к полной системе из 14 общековариантных уравнений. Эта полная система уравнений существенно отличается от уравнений ОТО, где есть только 10 общековариантных уравнений. Для полноты системы их дополняют еще четырьмя координатными условиями, которые всегда необщековариантны и неуниверсальны.

Явное присутствие в уравнениях РТГ метрического тензора пространства Минковского позволяет отделить силы инерции от сил гравитации. Пространство Минковского оказывается *наблюдаемым*, его метрика точно выражается через метрику «эффективного» риманова пространства и характеристики вещества.

Благодаря тому что в РТГ взаимодействие гравитационного поля с веществом в силу универсальности поля описывается путем подключения тензора гравитационного поля ϕ^{ik} к метрическому тензору γ^{ik} пространства Минковского, в теории возникает «эффективное» риманово пространство с простой топологией. Такой результат действия гравитационного поля мы назвали принципом геометризации. Особенность этого поля состоит в том, что оно влияет на вторые производные от компонент метрического тензора. Таким образом, движение вещества под действием гравитационного поля в пространстве Минковского тождественно его движению по геодезической линии в «эффективном» римановом пространстве. Риманово пространство имеет буквально полевое происхождение. Из вышеизложенного следует, что пространство Минковского и гравитационное поле оказываются исходными первичными понятиями, а «эффективное» риманово пространство — понятием вторичным, обязанным своим происхождением гравитационному полю и его универсальному действию на вещество. Таким образом, если в ОТО предполагается, что наше исходное пространство риманово, а гравитация возникает из-за кривизны риманова пространства-времени, то в РТГ риманово пространство-время как эффективное возникает из-за наличия универсального физического тензорного поля, локализованного в пространстве Минковского.

Оглядываясь на основоположников

Если последовательно рассмотреть стартовые физические послылки Эйнштейна при построении ОТО, то нетрудно увидеть в РТГ реализацию его исходных идей. Физические послылки Эйнштейна опирались на законы сохранения энергии-импульса материи. Так, в 1913 г. он писал: «...тензор гравитационного поля υ_{ik} является источником поля наравне с тензором материальных систем θ_{ik} . Исключительное положение энергии гравитаци-

онного поля по сравнению со всеми другими видами энергии привело бы к недопустимым последствиям» [4]. Как видно из сказанного выше, именно эта его первоначальная идея и положена в основу построения РТГ. При создании ОТО Эйнштейну ее реализовать не удалось, поскольку в ОТО вместо *тензора* энергии-импульса гравитационного поля имеется лишь *псевдотензор* и общих законов сохранения материи нет. Это обстоятельство беспокоило Эйнштейна; в письме к М.Бессо от 20 августа 1918 г. он отмечал: «Это приводит меня к вопросу об энергии. Твое высказывание показывает мне, что и ты придерживаешься того мнения, что можно отказаться от тензора энергии для гравитации. Но тогда закон сохранения энергии теряет всякую ценность». И далее: «Если понятие энергии-импульса не может быть распространено на g_{ik} -поле, то оно теряет всякую ценность». Проводя исследования в римановом пространстве, Эйнштейн под давлением математического аппарата вынужден был оставить исходную физическую идею и согласиться с вынужденной потерей в теории законов сохранения энергии и импульса. Так ОТО и осталась с псевдотензором, в результате чего из теории исчезло как само понятие физического поля, так и понятие потока гравитационной энергии. Гравитационное поле в ОТО в принципе нелокализуемо, а следовательно, оно не может быть и физическим полем. Но Эйнштейн, благодаря своей физической интуиции, нашел не следующую из ОТО формулу для гравитационного излучения, которая точно следует из РТГ. В полевом подходе к гравитации исходные физические послылки Эйнштейна полностью реализуются, и в то же время физически обоснована псевдориманова геометрия, но только как эффективная.

Следует отметить также, что в РТГ естественным образом включены и физические положения В.А.Фока [5]: принцип относительности, выражаемый преобразованиями Лоренца, наличие привилегированных систем координат, ускорение по отношению к пространству, а также гармонические координатные условия (в РТГ последние входят как общековариантные полевые уравнения). Следуя своим физическим представлениям, Фок фактически выходил за рамки ОТО. Отмечая это, Л.Инфельд писал в статье [6]: «Тем самым для Фока выбор гармонического координатного условия становится некоторым фундаментальным законом природы, изменяющим сам характер общей теории относительности и превращающим ее в теорию гравитационного поля, справедливую только в инерциальных системах координат». Но Фок ошибочно полагал, что перечисленные выше физические положения содержатся в ОТО как в геометрической теории; на самом же деле они находят полную реализацию только в полевых представлениях о гравитации.

В отличие от ОТО, РТГ не позволяет уничтожить гравитационное поле выбором системы ко-

ординат даже локально, поскольку оно имеет тензорный характер. Силы инерции и гравитационные силы имеют разную природу: если первые можно исключить, выбирая подходящую систему координат, то вторые устранить нельзя, поскольку они имеют тензорный характер. Это означает, что никакого принципа эквивалентности сил инерции и гравитации даже локально не существует. Равенство же инертной и гравитационной масс объясняется тем, что источником гравитационного поля служит полный сохраняющийся тензор энергии-импульса материи.

Физические следствия

Перечислим коротко, какие выводы следуют из РТГ, чтобы понять, как ее предсказания согласуются с наблюдаемыми данными.

Эволюция Вселенной. Фридмановская однородная и изотропная Вселенная может быть только плоской (ее трехмерная геометрия евклидова) и развивается *циклически* от максимальной плотности до минимальной и т.д. В самом начале Вселенная расширяется ускоренно, затем замедленно, но позднее опять ускоренно. Далее ускоренное расширение сменяется замедленным, что и ведет к остановке процесса расширения. После этого во Вселенной начинается процесс гравитационного сжатия. Такая эволюция — следствие наличия у гравитона массы покоя m_g . Из теории следует, что в начале расширения не было космологической сингулярности (а следовательно, и никакого Большого взрыва), было состояние большой плотности и высокой температуры в каждой точке пространства (горячая Вселенная). Уравнения показывают, что начальное ускорение, которое стало «толчком» к расширению, было пропорционально максимальной плотности вещества ρ_{\max} , а расширение началось с величины масштабного фактора $a_{\min} \neq 0$. Величина ρ_{\max} — свободный параметр теории.

В РТГ на радиационно-доминантной стадии эволюции Вселенной в период начального расширения, который предшествует фридмановской стадии расширения, скалярная кривизна поля пропорциональна максимальной плотности ρ_{\max} , тогда как в ОТО она равна нулю. Из-за наличия кривизны на радиационной эволюционной стадии создаются условия для рождения реликтового гравитационного фона нетеплового происхождения. Наблюдаемое во Вселенной красное смещение можно объяснить не движением галактик, а изменением гравитационного поля с течением времени.

Теория дает, что наблюдаемая величина полной относительной плотности $\Omega_{\text{отот}}$ равна

$$\Omega_{\text{отот}} = \rho_{\text{отот}}/\rho_{\text{oc}} = 1 + 1/6m_g^2 (c^2/hH)^2, c/H \approx 10^{28} \text{ см.}$$

Масса гравитона входит в это равенство с чрезвычайно большим множителем (в ОТО для плос-

кой Вселенной величина $\Omega_{\text{отот}}$ равна единице). Здесь H — постоянная Хаббла, h — постоянная Планка, $\rho_{\text{oc}} = 3H^2/8\pi G$ — критическая плотность, G — гравитационная постоянная, c — скорость света, $\rho_{\text{отот}}$ — современная полная плотность материи.

Из современных наблюдательных данных мы имеем для массы гравитона оценку сверху: $m_g \leq 1.6 \cdot 10^{-66}$ г. Уравнения РТГ показывают, что суммарная плотность энергии вещества (все физические поля за исключением гравитационного поля) и гравитационного поля во Вселенной точно равна нулю. РТГ уже в 1984 г. предсказывала существование во Вселенной большой скрытой массы, что подтвердилось после открытия темной материи и темной энергии.

Для объяснения в рамках РТГ современного ускоренного расширения Вселенной можно использовать гипотезу о существовании в природе так называемой «квинтэссенции», уравнение состояния которой

$$p_q/c^2 = -(1 - v) \cdot \rho_q, v < 2/3$$

(p_q — давление; ρ_q — плотность; v — параметр), или какой-либо другой субстанции, плотность которой *уменьшается* с увеличением масштабного фактора $a(\tau)$ медленнее, чем $const/a^2$. РТГ исключает неограниченное (фантомное) расширение ($v < 0$) и наличие космологического члена, соответствующего гравитационному отталкиванию. Полная относительная плотность материи состоит из три составляющие:

$$\Omega_{\text{отот}} = \Omega_{\text{or}} + \Omega_{\text{om}} + \Omega_{\text{oq}}$$

где Ω_{or} — относительная плотность радиационной материи; Ω_{om} — относительная плотность «холодной» (включая барионную и темную) материи; Ω_{oq} — относительная плотность темной энергии, т.е. в нашем случае — «квинтэссенции».

В данной схеме современная относительная плотность холодной материи равна 0.27, тогда как темной энергии — 0.73. Относительная радиационная плотность составляет около 10^{-5} . Полученная из наблюдений оценка показывает, что ускоренное расширение Вселенной началось спустя примерно 7 млрд лет после начала процесса расширения. Время его *окончания* зависит от величины параметра v , характеризующего скорость убывания плотности «квинтэссенции» с ростом масштабного фактора, и находится в пределах 100—400 млрд лет. После этого начинается процесс замедленного расширения. Полное время расширения до значения a_{\max} оказывается, соответственно, 200—600 млрд лет. Наличие массы покоя гравитона приводит к космологическому члену, соответствующему притяжению, которое со временем остановит процесс расширения (в нашем подходе — остановит процесс убывания по абсолютной величине гравитационного поля) — и начнется процесс сжатия (т.е. процесс роста по абсолютной величине гра-

витационного поля, а вместе с ним и роста плотности материи).

Гравитационный коллапс. РТГ существенно изменяет представление о характере гравитационного коллапса. Она исключает этот процесс. Когда термоядерные и тепловые ресурсы звезды исчерпаны, благодаря давлению и тензору энергии-импульса гравитационного поля гравитационное сжатие тела большой массы ($M > 3M_{\odot}$) останавливается при радиусе тела, превышающем GM/c^2 , и начинается процесс радиального расширения. Так в макромире величина GM/c^2 приобретает фундаментальное значение в качестве минимального, недостижимого радиуса тела массы M . Это следует из анализа инварианта поля и интеграла движения. Таким образом, возникает универсальный механизм, который останавливает процесс гравитационного сжатия тел большой массы. Из предыдущего, в частности, следует, что пробное тело, радиально движущееся по геодезической линии, достигает поверхности тела за конечное время и с физической скоростью $v < c$.

В процессе гравитационного сжатия идет накопление избыточной энергии тела, которое может привести к следующей картине эволюции космических объектов. Обычный процесс гравитационного сжатия диффузного вещества, который ведет к образованию звезд, после того как термоядерные и тепловые источники энергии исчерпаны, сменяется процессом накопления избыточной энергии в объеме звезды. Это приводит к *отрицательному* дефекту массы, что и вызывает радиальное расширение тела, которое может иметь даже взрывной характер. Таким образом, массивная звезда независимо от того, исчерпаны ли ее термоядерные источники энергии или они еще не включены, по мере гравитационного сжатия неминуемо переходит в состояние, когда ее дефект массы отрицателен и из-за неустойчивости происходит взрывное выделение энергии. Этот процесс имеет общий характер; многократно повторяясь, он оставит во Вселенной только устойчивые объекты. Может быть, в квазарах, как в сверхзвездах, и происходит нечто подобное? Все это требует детального расчета. Вполне осуществим переход от звезды к диффузному веществу и обратно. Идея эволюции объектов от плотного состояния вещества к диффузному ранее выдвигалась академиком В.А.Амбарцумяном [7]. В монографии [8] по этому поводу определенно отмечалось противоположное: «Модели с отрицательным дефектом массы заведомо не могут возникнуть путем конденсации диффузного вещества». Аналогичное утверждалось и в других книгах.

Согласно РТГ, тело, обладающее массой, не может быть точечным. Радиус нестатического сферически-симметричного тела всегда превышает величину GM/c^2 , причем у *нестатического* сферически-симметричного тела внешнее гравита-

ционное поле *статическое*. Поскольку масса гравитона чрезвычайно мала, внешнее гравитационное поле с большой точностью может описываться метрикой Шварцшильда в гармонических координатах. В соответствии с вышеизложенным гравитационный коллапс невозможен, а следовательно, невозможно и образование черных дыр. Таким образом, в теории исчезает само понятие критической массы. Черные дыры исторически возникли на основании разного толкования решения Шварцшильда. Об этом Дж.Прескилл и К.Торн в 1995 г. в предисловии к книге [9] писали: «В некотором смысле то, что мы называем теперь “черной дырой”, уже было известно в 1916 г., когда К.Шварцшильд нашел свое решение полевых уравнений Эйнштейна. Но в течение десятилетий большая часть физиков упорно сопротивлялась таким “возмутительным” приложениям решения Шварцшильда. (Эта часть физиков включала в себя и самого Эйнштейна, который написал в 1939 г. вызывающую сожаление статью, в которой доказывал, что “черные дыры” не могут существовать)». Относительно сингулярности решения Шварцшильда Эйнштейн в 1939 г. [10] писал: «Основным результатом проведенного исследования является четкое понимание того, что в реальном мире отсутствуют “шварцшильдовские сингулярности”. Хотя приведенная теория рассматривает только такие скопления, в которых частицы движутся по круговым траекториям, вряд ли следует сомневаться в том, что рассмотрение и самого общего случая приведет к тем же результатам. Шварцшильдовская сингулярность отсутствует, так как вещество нельзя концентрировать произвольным образом; в противном случае частицы, образующие скопления, достигнут скорости света». Как следует из нашей работы, Эйнштейн был прав. Исследование и общего случая подтверждает заключение Эйнштейна о невозможности существования «черных дыр». Так что упрек Эйнштейну от Прескилла и Торна не имеет никаких физических оснований. Сторонники концепции «черных дыр» (объектов, не имеющих материальной поверхности) не осознали, что существование таких объектов противоречит закону сохранения барионного числа, закону сохранения электрического заряда и принципу причинности Гильберта.

Принцип причинности. Следует отметить, что к таким же выводам можно прийти и в ОТО, если провести расчеты в гармонических координатах и учесть принцип причинности Гильберта, поскольку в *этих координатах* тензор энергии-импульса гравитационного поля в РТГ практически совпадает с псевдотензором Ландау—Лифшица. Но это в свое время не было осознано, поскольку полевой подход еще не был разработан. Суть принципа причинности Гильберта состоит в том, что физически допустимы только такие преобразования координат (Гильберт назвал их собствен-

ными), при которых «...две мировые точки любой времениподобной линии никогда не переходят в точки с одним и тем же значением временной координаты, т.е. не могут стать синхронными».

В РТГ наличие конуса причинности пространства Минковского и конуса причинности псевдориманова пространства приводит к тому, что решения уравнений теории должны удовлетворять следующему требованию: все времениподобные векторы в псевдоримановом пространстве остаются времениподобными и в пространстве Минковского. Последнее означает, что конус причинности псевдориманова пространства должен находиться внутри конуса причинности пространства Минковского. Это положение вместе с условиями причинности Гильберта и составляет принцип причинности в РТГ.

В РТГ вне вещества в галилеевых координатах на гиперповерхности $t = 0$ уравнения теории в соответствии с принципом причинности Гильберта

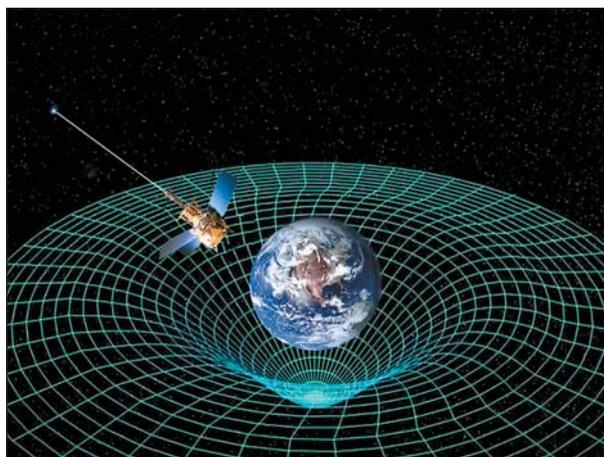
однозначно определяют вторые производные по времени от компонент метрического тензора g_{ik} , что исключает возможность их разрыва, а следовательно, и возможность образования гравитационных ударных волн.

Солнечная система. Не вдаваясь в подробности, укажем: РТГ *однозначно* объясняет всю имеющуюся совокупность наблюдательных и экспериментальных данных для гравитационных эффектов в Солнечной системе (гравитационное смещение спектральных линий, отклонение луча света Солнцем, временное запаздывание радиосигнала, прецессию гироскопа на околоземной орбите, смещение перигелия Меркурия).

На вопрос, является ли гравитация следствием искривленности нашего пространства-времени или же она есть результат существования реального физического поля, ответ могут дать только новые экспериментальные и наблюдательные данные. ■

Литература

1. Логунов А.А. Релятивистская теория гравитации // Природа. 1987. №1. С.36—47.
2. Логунов А.А. Релятивистская теория гравитации. М., 2012.
3. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. М., 1966. Т.II. Статья 61. С.87.
4. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. М., 1965. Т.I. Статья 21. С.242.
5. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. М., 1961.
6. Infeld L. // Ann. of Phys. 1959. V.6. P.341—367. Перевод: Инфельд Л. Уравнения движения и гравитационное излучение // Новейшие проблемы гравитации. М., 1961. С.200—235.
7. Амбарицумян В.А. Научные труды. Ереван, 1960. Т.2.
8. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Релятивистская астрофизика. М., 1967.
9. Фейнман Р.Ф., Моринго Ф.Б., Вагнер У.Г. Фейнмановские лекции по гравитации. М., 2000.
10. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. М., 1966. Т.II. Статья 119. С.531.



Художественный взгляд на искривление пространства.

О молекулярных механизмах возникновения опухолей

Ф.Л.Киселев

Первое десятилетие XXI в. принесло ошеломляющие данные о механизмах возникновения опухолей и изменили наши представления об этих болезнях. Какие подходы к диагностике и терапии открыли новые знания? Попытаюсь рассказать обо всем этом.

Немного истории

Возникновение молекулярной онкологии во второй половине прошлого века было связано с обнаружением двух типов генов: стимулирующих клеточный рост (онкогенов), и, наоборот, ограничивающих его (генов-супрессоров) [1]. Как тогда предполагали, именно взаимодействие этих генов служит основной причиной неконтролируемого роста клеток, т.е. появление опухоли. Такие революционные для онкологии факты имеют свою историю.

Огромную роль в развитии молекулярной онкологии, на мой взгляд, сыграла вирусная теория происхождения опухолей, высказанная Л.А.Зильбером* в середине 40-х годов и спустя 20 лет получившая всеобщее признание как вирусогене-

* О том, как в тюремных застенках эта идея пришла в голову Л.А.Зильберу, можно прочитать в книге: *Киселев Л.Л., Левина Е.С. Лев Александрович Зильбер*. М., 2004.



Федор Львович Киселев, член-корреспондент РАМН, профессор, доктор биологических наук, руководитель отдела трансформирующих генов опухолей НИИ канцерогенеза Онкологического научного центра им.Н.Н.Блохина. Занимается изучением молекулярных механизмов канцерогенеза.

тическая теория происхождения опухолей [2, 3]. Ее основные положения гласили:

- все опухоли человека вызываются вирусами;
- вирус лишь инициирует перерождение нормальной клетки в опухолевую;
- вирусная нуклеиновая кислота встраивается в геном клетки, модифицируя ее генетическую программу так, что клетка становится бессмертной.

Первый и единственный вирус у человека выделили в конце 60-х годов у детей, страдающих одной из форм онкологической болезни в Африке, — это был вирус лимфомы Беркитта. В 70—80-х годах вирусная теория продолжала свое триумфальное шествие — было обнаружено большое количество РНК- и ДНК-вирусов, вызывающих опухоли у самых различных видов млекопитающих и птиц.

Изучение РНК-содержащих онкогенных вирусов позволило сделать новый, принципиальный шаг в понимании механизмов злокачественного роста. У птиц эти вирусы делятся на две основные группы: вызывающие либо лейкозы, либо саркомы.

Оказалось, что РНК вируса куриной саркомы Рауса, приводящего к развитию опухоли у птиц и к злокачественному перерождению (трансформации) культивируемых клеток, содержит фрагмент, который отсутствует в РНК лейкозных вирусов. Выяснилось, что именно он отвечает за трансформацию клеток, способных к неограниченному размножению в культуре клеток, а при введении чувствительным животным вызывает у них опухоли. Фрагменты генома со сходными свойствами обнаружили во всех РНК-содержа-

щих вирусах, инициирующих опухоли, и назвали их онкогенами. За эти работы, выполненные в конце 70-х годов, М.Бишоп и Х.Вармус в 1989 г. были удостоены Нобелевской премии*.

Изучение генома опухолевых клеток, зараженных саркомными вирусами, принесло новую сенсацию — гомологи вирусных онкогенов есть во всех нормальных клетках. Естественно возник вопрос: почему же в них не проявляется онкогенный потенциал? И проявляется ли он вообще? И если да, то как?

Гены-активаторы и гены-супрессоры

Изучение структуры клеточных онкогенов (протоонкогенов), их локализации на хромосомах, роли в жизни клетки и возможных механизмов активации показало, что протоонкогены действительно могут осуществлять контроль за делением клеток [1–3]. В качестве индукторов клеточного размножения молчащие протонкогены способны активироваться в результате следующих генетических процессов:

- точечных мутаций в кодирующих последовательностях онкогена, что изменяет структуру его белкового продукта, соответственно и взаимодействие белка с мишенью;
- перемещения отдельных фрагментов между хромосомами (транслокации);
- амплификации гена (увеличение его копийности);
- усиления работы некоторых онкогенов во многих опухолях, т.е. повышенный синтез белкового продукта.

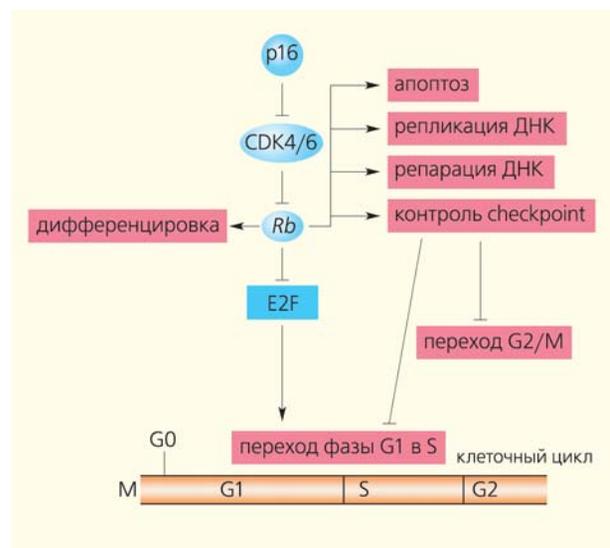
Важным шагом стало также выяснение роли онкобелков при прохождении сигнала к делению (активной пролиферации) от клеточной поверхности в ядро. В результате были выделены четыре группы таких белков. В первую входили внеклеточные ростовые факторы; во вторую — продукты онкогенов, служащие рецепторами для этих факторов (рецепторные тирозинкиназы); в третью — онкобелки (кодируемые онкогенами семейства *RAS* и большая группа серин-треониновых киназ), осуществляющие передачу ростового сигнала в ядро; в четвертую — продукты ядерных онкогенов (*MYC*, *JUN*, *MYP*), способные контролировать синтез ДНК. Особенно интересны киназы, которые фосфорилируют белки-мишени по тирозину, также по двум другим аминокислотам — серину и треонину.

Итак, к концу прошлого века стало ясно, что в геноме нормальных клеток имеется достаточно большое количество генов — потенциальных индукторов опухолевого роста. Они функциониру-

ют на разных этапах передачи сигнала к размножению клеток, а их активация может приводить к неконтрольному клеточному делению, т.е. к образованию опухоли.

Другая группа генов — это супрессоры опухолевого роста [4]. Первый из них — ген ретинобластомы (*Rb*). Его существование постулировал в 1971 г. А.Кнудсон, изучая спорадические и наследственные формы опухолей сетчатки глаза (ретинобластомы) [5]. Цитогенетическими исследованиями на хромосоме 13 была обнаружена небольшая делеция, в которой затем идентифицировали ген *Rb* (он был либо утерян, либо инактивирован в ретинобластомах). Позднее ген *Rb* клонировали. Он обладает супрессорным эффектом на трансформированные клетки и работает во всех нормальных клетках, в которых его продукт (pRb105) обратимо фосфорилирован. В неделящихся клетках он теряет остаток фосфорной кислоты и образует комплексы с белками (гистоновыми деацетилазами — HDAC), вызывающими изменения хроматина, и с транскрипционными факторами семейства E2F.

Эти факторы — основные регуляторы синтеза белков, контролирующих нормальный клеточный цикл. Транскрипция их генов подавлена, когда фактор E2F находится в комплексе с Rb/HDAC. При митогенном сигнале в начальной фазе (G1) клеточного цикла белок Rb фосфорилируется одной из циклин-зависимых киназ (ферментов, регулирующих клеточный цикл), а фактор E2F, кото-



Функции гена-супрессора *Rb* в клетках. CDK4/6 — одна из циклин-зависимых киназ, регулирующих активность этого гена; p16 — ингибитор киназы; E2F — транскрипционный фактор, играющий ключевую роль в транскрипции. Внизу приведены основные фазы клеточного цикла: G0 — клеточного покоя, G1 — подготовки к синтезу ДНК, S — репликации ДНК, G2 — активного роста клеток, M — фаза деления клетки (митоз).

* Лауреаты Нобелевской премии 1989 года. По физиологии или медицине — М.Бишоп и Х.Вармус. Киселев Л.Л. // Природа. 1990. №1. С.96–98.

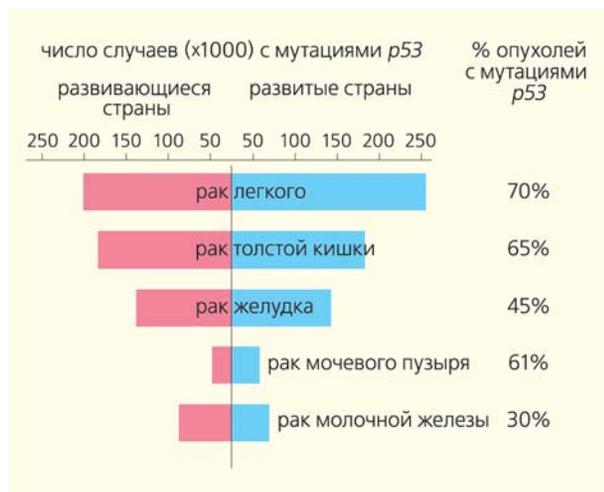
рый активирует многие гены, в том числе и необходимые для синтеза ДНК, освобождается. После перехода клетки в S фазу белок Rb теряет остатки фосфорной кислоты (дефосфорилируется). Кроме клеточного цикла ген *Rb* через свой продукт участвует в дифференцировке клеток, репарации ДНК и ее репликации, а также в регуляции апоптоза. Таким образом, ген *Rb*, модулируя через свой белок активность транскрипционного фактора E2F и регулируемых им генов, играет ключевую роль в контроле последовательных событий, обеспечивающих жизненный цикл клетки. Значительная часть мутаций гена *Rb* (кроме ретинобластомы они обнаружены и в других опухолях) приводит либо к потере его функций, либо к прекращению синтеза РНК, либо к образованию белка с измененной структурой. Транскрипционный фактор E2F при этом находится в перманентно активированном состоянии. В итоге негативная регуляция клеточной пролиферации прекращается.

Еще один широко распространенный ген-супрессор опухолевого роста кодирует белок с молекулярной массой 53 кДа, отсюда и его название — p53 [4]. В опухолях человека этот ген наиболее подвержен мутациям — они обнаруживаются более чем в 50% случаев и распределены по всему геному. В нормальных, неделящихся клетках p53 обладает очень слабой транскрипционной активностью. Модификации, происходящие при стрессах или внутриклеточных повреждениях, которые изменяют структуру белка, существенно увеличивают транскрипционный потенциал p53. Основными мишенями при этом служат белки, контролирующие апоптоз и клеточный цикл. Следовательно, p53 в случае каких-либо серьезных воздействий на ДНК отвечает за «охрану» клеток: либо индуцирует репарацию повреждений, либо ос-

танавливает клеточный цикл, либо стимулирует клетки с измененным геномом к апоптозу.

В настоящее время имеется более 100 генов-мишеней для транскрипционной активности p53. Среди них можно выделить несколько функционально различных групп: контролирующие через свои продукты апоптоз; ангиогенез (формирование новых сосудов в опухоли); регулирующие клеточный цикл (это циклины, циклин-зависимые киназы и их ингибиторы); морфологию и/или миграцию клеток. Одна из важных функций p53 — репрессия гена каталитической субъединицы теломеразы, фермента, важного в репликативном старении клеток. Следовательно, изменение активности гена p53 обеспечивает появление характерных для неопластических клеток свойств, которые за короткий срок меняют их генетическую программу. Это объясняет тот факт, что в опухолях различных типов мутации в p53 встречаются чаще, чем в других генах. Упомянутые гены-супрессоры не единственные, к настоящему времени их обнаружено больше 10 и с каждым годом их количество возрастает, причем их функциональная активность специфична для разных опухолей.

Исследования генов, которые через кодируемые ими белки контролируют пролиферацию клеток и играют главную роль в их бесконтрольном делении, проведенные в основном в конце прошлого столетия, убедительно показали, что рак — заболевание генетического аппарата клеток. Следовательно, точные знания обо всех генетических составляющих канцерогенеза и сравнения нуклеотидных последовательностей ДНК в опухолевых и нормальных клетках совершенно необходимы. Такие работы стали возможными после того, как геном человека был полностью расшифрован.



Мутации в гене p53 — наиболее часто встречаемое изменение в опухолях. Прямоугольники — частота определенного рака на 250 тыс. населения; числа справа — количество (%) опухолей с мутациями p53 в данном типе рака.

Специфические свойства опухолей и молекулярные механизмы рака

Однако прежде чем перейти к рассмотрению этих данных, вернемся к началу статьи — к вопросу о роли вирусов в возникновении опухолей человека.

Если в 1960-х годах был обнаружен только вирус лимфомы Беркитта, принадлежащий к группе герпесов и приводящий к лимфоме у африканских детей, то к концу века стали известны еще несколько вирусов, связанных с опухолями человека. Это ДНК-содержащие вирусы: герпеса тип 8 (или саркомы Капоши), вызывающий один из видов саркомы кожи; гепатита В, с высокой частотой выявляемый в опухолях печени; нескольких типов папиллом человека (этиологический агент при раке шейки матки) и саркомы Меркеля*, при-

* Вирус саркомы Меркеля был выделен позднее, чем остальные, в 2008 г.

надлежащий к вирусам группы Рарова (вирусы полиомы и SV40, которые вызывают опухоли у мышей и обезьян). С опухолями человека ассоциированы также два РНК-содержащих вируса — гепатита С в опухолях печени (механизм проявления его онкогенного потенциала еще точно не установлен) и Т-клеточного лейкоза взрослых, связанный только с одной и редкой формой лейкоза в нескольких эндемичных районах мира. РНК этого вируса сходна по своей структуре с другими лейкозными вирусами млекопитающих и птиц.

К настоящему времени установлены основополагающие принципы, по которым вирусы изменяют генетическую программу клеток, модифицируя ее таким образом, что клетка теряет контроль над собственным делением. ДНК-вирусы содержат гены, белковые продукты которых инактивируют гены-супрессоры опухолевого роста, а в РНК-вирусах имеются гены, опосредованно ускоряющие процессы клеточной пролиферации [6, 7].

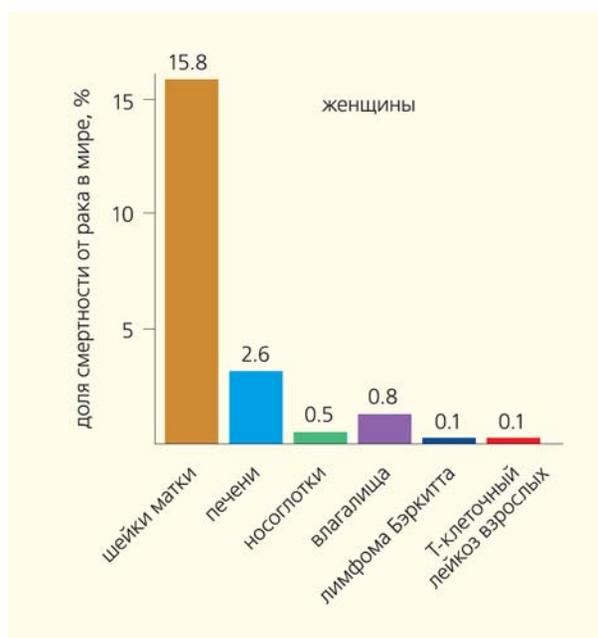
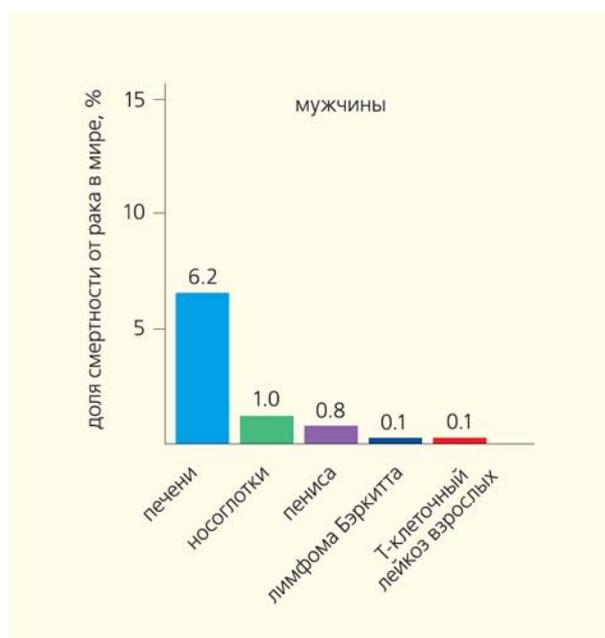
Из всех опухолей человека по частоте встречаемости около 20% ассоциированы с вирусами. Большим достижением в борьбе с раком стало создание поливалентной вакцины против опухолей шейки матки, вызванных вирусами папилломы. Применение вакцины практически полностью исключает появление предопухолевых поражений и опухолей*.

С наступлением XXI в. начался новый этап в понимании молекулярных механизмов опухолевого

роста. Прогресс шел в двух направлениях: изучались биологические свойства опухолевых клеток, отличающие их от нормальных; и велась работа по расшифровке молекулярных механизмов, контролирующих возникновение этих специфических свойств. В 2011 г. появился обзор, в котором были суммированы признаки опухолевых клеток [8]:

- отсутствие необходимости дополнительных сигналов к делению (пролиферации);
- потеря способности реагировать на сигналы, которые сдерживают пролиферацию;
- замедление процессов программируемой клеточной гибели (апоптоза);
- неограниченный репликативный потенциал (преодоление так называемого лимита Хайфлика — не более 30–50 циклов репликации);
- инвазия и метастазирование (распространение опухолевых клеток внутри поражаемого органа и их перенос кровью в другие органы, прежде всего в лимфоузлы) — ключевые стадии злокачественного роста;
- геномная нестабильность (ускоренное накопление мутаций);
- формирование сосудов в опухоли, без которых невозможно накопление опухолевой массы (активация ангиогенеза).
- адаптация окружающих опухолевый очаг стромальных компонентов к потребностям его роста;
- ускользание от иммунного надзора, связанное, возможно, с селекцией определенного клона опухолевых клеток, которые в наименьшей степени изменяют свою антигенную структуру;

* Подробнее см.: Киселев Ф.Л., Боринская С.А. Вакцина против рака // Природа. 2007. №3. С.52–58.



Опухоли человека, возникновение которых связано с вирусами. На оси абсцисс — типы опухолей, возникновение которых связано с вирусами. На оси ординат — показатель (%) летального исхода, вызванного определенным типом рака от общего числа смертности от всех опухолей.

— воспаление, почти всегда предшествующее и/или сопутствующее опухолевому росту и создающее благоприятную среду для увеличения клеточной массы;

— аэробный гликолиз, который, видимо, может поддерживать злокачественный рост, способствуя более эффективному синтезу макромолекул и органелл, необходимых для новых клеток.

Расшифровка в начале XXI в. генома человека стимулировала стремительный прогресс в изучении молекулярных механизмов злокачественного роста. Появилась возможность сравнивать геномы нормальной и опухолевой клеток, т.е. их полную нуклеотидную последовательность ДНК [9]. Такие работы проводились огромными научными интернациональными коллективами, которые включали десятки лабораторий и сотни исследователей. В результате оказалось, что в геноме опухолевых клеток мутации возникают в десятки раз чаще, чем в нормальных клетках. В большинстве своем эти мутации не влияют на онкогенный потенциал клетки, поэтому их называли пассажирами. В запуске злокачественного преобразования клеток участвует лишь небольшая часть соматических мутаций (их называют водителями; по-англ. driver). Именно они особенно интересны как потенциальные мишени для противоопухолевой терапии.

Определен также широкий спектр генетических повреждений в опухолях — от точковых мутаций до микроделений (потери нескольких нуклеотидных пар) или микроинсерций (включения дополнительных пар нуклеотидов). Их последствия, как правило, сводятся к изменению структуры кодируемого мутантным геном белка, в резуль-

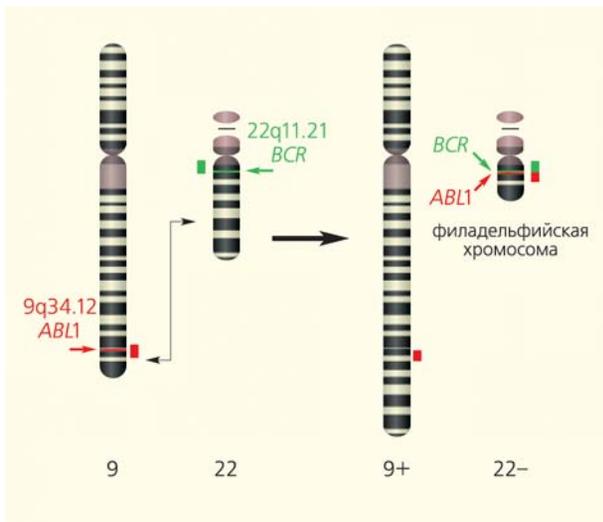
тате чего он теряет способность взаимодействовать с мишенью. В ряде случаев нуклеотидные замены могут приводить к образованию стоп-кодона, т.е. к остановке синтеза полноразмерного белка и, значит, к потере его природных функций. Фенотипические проявления микроделений и микроинсерций напрямую зависят от количества вовлеченных нуклеотидов. Если их числократно трем, то рамка считывания и функции белка сохраняются (три нуклеотида могут кодировать одну аминокислоту). Так активируется рецептор эпидермального фактора роста EGFR (epidermal growth factor receptor) в опухолях легких. Однако в большинстве случаев при утрате или появлении новых нуклеотидов рамки считывания сдвигаются (при этом нарушается последовательность нуклеотидов, кодирующих нормальный белок) и тогда синтезируется неправильный белок, лишенный активности. Для большинства генов-супрессоров характерен именно такой механизм.

Многие опухоли отличаются нестабильностью протяженных участков хромосом, поэтому для них типичны нарушения копийности (амплификации) генетического материала. При ее увеличении количество белковых продуктов онкогенов возрастает. Значительно чаще амплификаций встречаются делеции участков хромосом.

Еще один пример макромутаций в опухолях — транслокации участков хромосом, которые изменяют активность генов или приводят к образованию химерных белков. Такие мутации характерны главным образом для онкогематологических патологий. Примером служит перестройка *BCR/ABL*, лежащая в основе хронического миелоидного лейкоза, или транслокации тирозинкиназных генов *ALT* и *RET*, наблюдаемые в карциномах легких.

В целом, в превращении нормальной клетки в опухолевую участвует ~400 генов, несущих мутации, что составляет около 2% генов, кодирующих белки. Выявлено от 1000 до 10 тыс. возможных мутационных замещений в опухолях молочных желез, яичников, при колоректальном раке, раке поджелудочной железы и глиомах (опухолях мозговой оболочки). Существенно меньше мутаций обнаружено в опухолях мозга, яичка, острых лейкозах, а наиболее агрессивные опухоли легких и меланома содержат более 10 тыс. генетических изменений. Таким образом, множественные мутации представляют непрменный атрибут опухолевой клетки, но их спектр специфичен для каждой конкретной опухоли, т.е. каждая из них имеет собственную генетическую программу.

Полная расшифровка генома человека показала, что в синтезе структурных белков, необходимых для функционирования клетки, участвует менее 10% ее генома. А каковы функции остальных 90% нуклеотидных последовательностей ДНК и как регулируется работа мутантных генов? На эти вопросы предстояло найти ответы.



Транслокация участка хромосомы 9, содержащей онкоген *ABL*, на хромосому 22 в район участка *BCR*, в результате чего образуется химерный ген *BCR/ABL*. Такая химерная хромосома 9, получившая название филадельфийской, служит маркером хронического миелоидного лейкоза.

Эпигенетические нарушения

Дальнейшие исследования убедительно продемонстрировали, что опухолевым клеткам присущи два типа генетических нарушений — мутационные и эпигенетические. Последние возникают при различных патологиях, включая опухоли, не связанные с нарушением первичной структуры гена. К таким эпигенетическим изменениям относят:

- метилирование ДНК (присоединение метильной группы к цитозину);
- посттрансляционные модификации гистонов (основной группы белков, формирующих хроматин);
- расположение нуклеосом на ДНК;
- образование и функционирование некодирующих РНК (микроРНК).

Остановимся на вопросах, связанных с метилированием ДНК, модификацией гистонов и функционированием микроРНК, прежде всего потому, что они могут представлять интерес для клинической практики. Метилирование цитозина в составе ДНК было открыто Б.Ф.Ванюшиным и А.Н.Белозерским еще в середине 70-х годов. Они показали, что в животных клетках происходит метилирование цитозина в паре нуклеотидов гуанин-цитозин (СрG), которые разбросаны по всему геному. Сегодня мы знаем, что в геноме человека существует множество участков, обогащенных этой парой (так называемые СрG-островки), но только их метилирование внутри промоторов (участков ДНК, с которых начинается синтез РНК) и первых экзонов гена подавляет его работу. Процесс этот наследуется клеткой, но он обратим. Такие агенты, как 5-азациитидин, отщепляют метильную группу, что приводит к активации транскрипции. В опухолевых клетках часто метилируются гены, играющие главную роль в канцерогенезе. К ним относятся гены, повреждающие ДНК и репарирующие ее; гены-супрессоры; регуляторы апоптоза, адгезии клеток; гены, участвующие в ангиогенезе, иммунном ответе; гены микроРНК.

Таким образом, метилирование генов, контролируемых основными этапами пролиферации, может оказывать тот же эффект на развитие опухолей, что и структурные мутации. В настоящее время метилирование принято обозначать термином «эпимутация», поскольку оно не изменяет нуклеотидную последовательность гена. Метилированию могут подвергаться и другие СрG-обогащенные участки внутри гена, но, как и в случае мутаций-пассажира, принципиальных изменений в функциональной активности гена не происходит.

Важно дополнить, что метилирование может проявляться на самых ранних стадиях канцерогенеза и во всех типах опухолей, но набор метилированных генов специфичен для каждой [10].

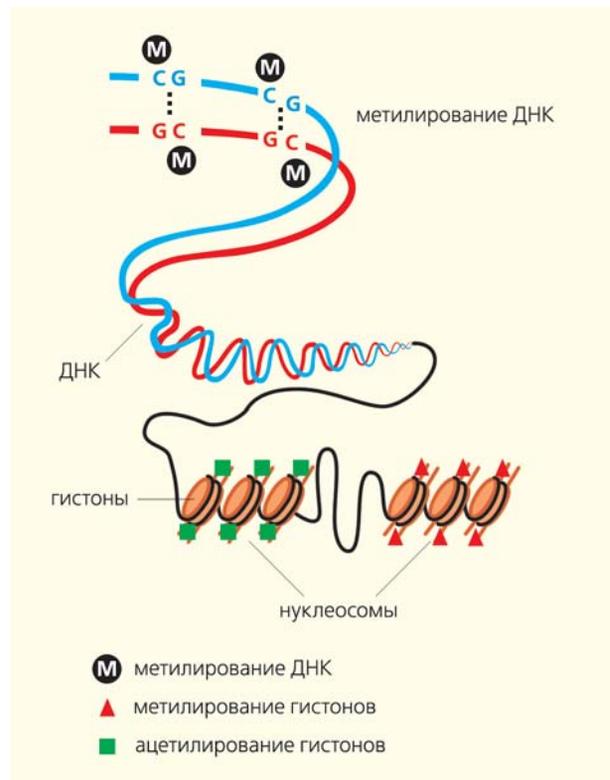


Схема основных эпигенетических изменений в опухолевой клетке — метилирования ДНК и ацетилирования гистонов.

Еще один уровень регуляции транскрипции — это модификация гистонов, ядерных белков, образующих комплекс с ДНК (хроматин). Известны четыре вида гистонов. Две молекулы каждого из них составляют нуклеосому — структуру, обвитую фрагментом ДНК длиной 146 нуклеотидных пар. В настоящее время обнаружено 16 модификаций гистонов, которые могут изменять конформацию нуклеосомы и таким образом влиять на репликацию ДНК и транскрипцию. Из возможных модификаций хорошо изучены метилирование и ацетилирование, катализируемые специфическими гистоновыми ферментами, которые осуществляют и обратный процесс. Сейчас уже получены картины распределения ацетилирования и метилирования гистонов в первичных опухолях и в культивируемых опухолевых клетках. Для последних характерна значительная потеря метилирования гистона H4, который служит одним из маркеров неактивного хроматина [11, 12].

Другая стремительно развивающаяся область эпигеномики опухолей — изучение некодирующих РНК [13]. В ходе исследований по международной программе ENCODE (the ENCYClopedia of DNA Elements) выяснилось, что не менее 75% генома способно транскрибироваться, но более половины этих фрагментов относятся к некодирующим РНК. Они делятся на две большие группы: длинные (от 200 до 10 тыс. рибонуклеотидов)

и малые (менее 200), среди которых лучше всего изучен класс микроРНК (miR). Они выполняют важнейшие регуляторные функции в жизни нормальных клеток, а нарушения в их работе обнаружены при многих заболеваниях человека, в том числе и онкологических. Подтверждено, что микроРНК не участвуют в синтезе белков и кодируются специальными генами.

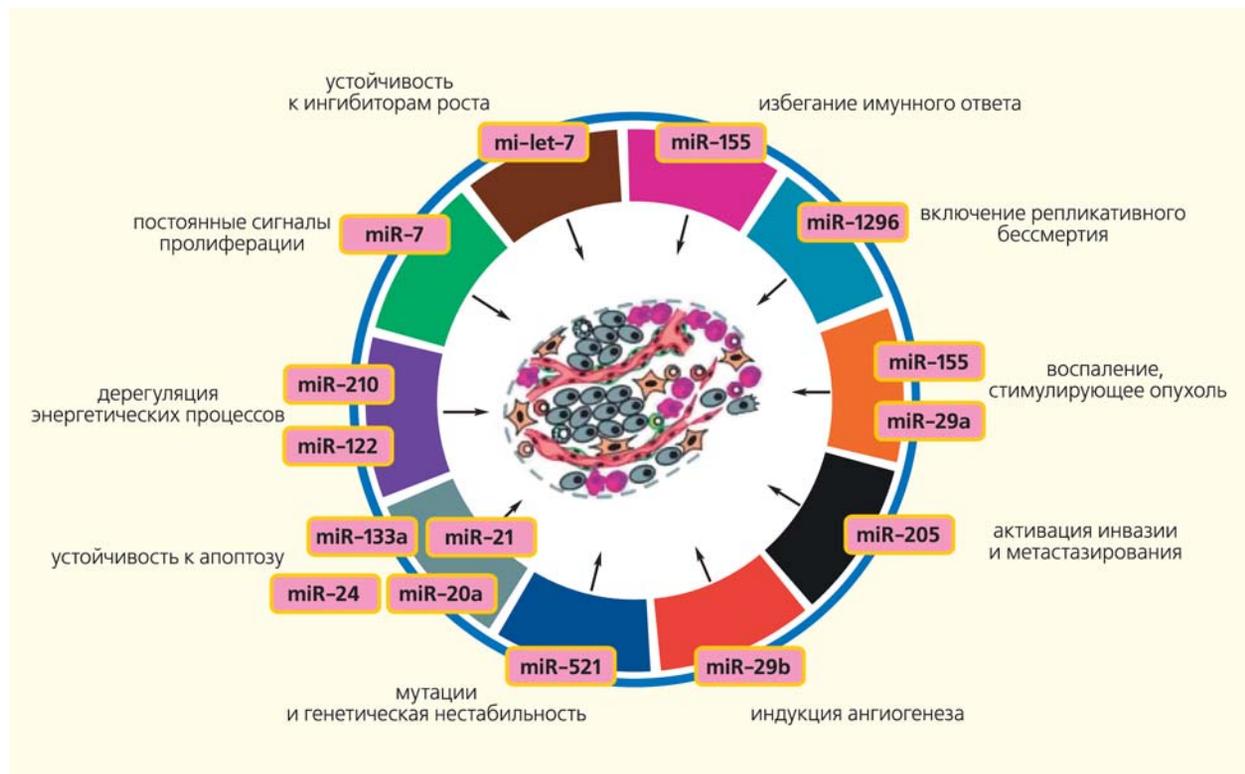
МикроРНК (в настоящее время их известно более 2000) — негативный регулятор экспрессии генов. Некодирующие одонитевые молекулы микроРНК (из 18–25 рибонуклеотидов) взаимодействуют с комплементарными участками информационной РНК (иРНК), что приводит либо к их деградации, либо препятствует трансляции в белки в рибосомах. Гены микроРНК эволюционно консервативны и распределены по всему геному человека (в некоторых участках они образуют специфические кластеры). Кодирующие их участки генома расположены на разных хромосомах. Благодаря небольшому размеру каждая микроРНК, как правило, может взаимодействовать с несколькими иРНК, имеющими комплементарные участки. МикроРНК регулируют более 30% генов человека, участвующих в клеточной дифференцировке, кроветворении, устойчивости к стрессу, метаболизме, клеточной пролиферации и апоптозе. Такой широкий спектр генов, регулируемых микроРНК, свидетельствует о том, что нарушения в их

работе могут существенно влиять на все стадии канцерогенеза — от возникновения опухоли до образования метастазов.

Характерная особенность опухолевых клеток — нарушения в работе микроРНК. Существует несколько механизмов дисрегуляции в опухолях: делеции, точечные мутации, геномные транслокации локуса микроРНК, т.е. изменения, присущие и структурным генам.

Каждая опухоль имеет специфический набор микроРНК. Но среди них можно выделить те, которые наиболее часто встречаются в определенных опухолях. Так, miR-121 экспрессируется в опухолях трех различных локализаций, в опухолях шести типов часто наблюдается повышенная транскрипция miR-21, а в пяти из них — miR-17-5p и miR-191. Следовательно, некоторые микроРНК могут регулировать клеточные процессы, общие для нескольких типов рака.

В зависимости от того, работу какого гена подавляют микроРНК, их функции в канцерогенезе могут быть сходными с действием либо онкогенов, либо генов-супрессоров. Те микроРНК, гены которых амплифицированы или очень активны, работают как онкогены. Как правило, в каждой опухоли наблюдается повышение экспрессии нескольких типов микроРНК и их спектр специфичен для каждой опухоли. Но существуют микроРНК, которые активируются в нескольких ти-



Роль микроРНК в проявлении свойств, характерных для опухолевых клеток. По кругу выделены основные биологические свойства опухолевых клеток и обозначены типы микроРНК (miR), участвующие в данном процессе.

пах опухолей: miR-121 — в опухолях легких, молочных желез, печени и при колоректальном раке, а miR-221 — в опухолях молочных желез и простаты.

Другие микроРНК, в генах которых есть делеции или их экспрессия снижена, уподобляются опухолевым супрессорам. В модельных системах эти микроРНК могут ограничивать рост опухолевых клеток, индуцировать апоптоз в культуре клеток или при их имплантации чувствительным животным. Спектр микроРНК со сниженным уровнем экспрессии также специфичен для каждого типа опухолей, но подавления одними и теми же микроРНК могут быть выявлены в разных опухолях, к примеру miR-143 и miR-145 в опухолях молочных желез, при колоректальном раке и раке простаты.

Интересно, что для одних и тех же микроРНК в одних опухолях экспрессия повышена, а в других — наоборот, снижена. Например, экспрессия кластера mi-let 7 повышается в опухолях молочных желез и, наоборот, снижается в опухолях легких.

От того, какие именно микроРНК экспрессируются в опухолевых клетках, зависят их свойства, необходимые для поддержания трансформирующего потенциала. Например с miR-7 связана устойчивость к ингибиторам ростовых факторов; с miR-155 — уход от иммунного ответа; с miR-1296 — включение бессмертного деления; с miR-155 и miR-29a — воспаление, стимулирующее опухолевый процесс; с miR-205 — активация инвазии и метастазирования; с miR-29b — индукция ангиогенеза; с miR-521 — мутации и генетическая нестабильность; устойчивость к апоптозу зависит от четырех видов — miR-20a, -21, -24, -133a; дисрегуляция энергетических процессов — от miR-122 и -210. Активность перечисленных видов микроРНК специфична для каждой опухоли и проявляется дифференцированно в конкретной опухоли.

Спектр экспрессии микроРНК в первичной опухоли отличен от такового в метастазах: выявлены микроРНК, усиливающие метастатический потенциал клеток, и другие, наоборот, ингибирующие этот процесс. Это известно для всех изученных в настоящее время первичных опухолей и их метастазов. Спектр активирующих и ингибирующих микроРНК специфичен для каждого типа опухоли. Естественно, что мишенями для таких РНК служат разные гены. Экспрессия микроРНК в нормальных клетках специфична для каждой ткани и, видимо, может отражать происхождение опухоли и степень ее дифференцировки. Важное свойство микроРНК — их способность мигрировать в кровь. Они, в отличие от информационных РНК, очень стабильны. Это, вероятно, определяется их способностью формировать частицы, подобные эндосомам, защищающим от нуклеаз. Содержание микроРНК в крови или плазме можно оценить с помощью полимеразной цепной реак-

ции и некоторых других методов. Такие свойства микроРНК пригодны для прогноза рака, его диагностики, а также для четкой классификации опухолей и мониторинга ответа на лечение [14].

Итак, молекулярные механизмы опухолевого роста, исследованные в первое десятилетие XXI в., открыли принципиально новые возможности ранней диагностики и терапии опухолей. Основаны эти новшества на обнаружении генетических и эпигенетических нарушений, контролирующих размножение опухолевых клеток.

Молекулярная диагностика и терапия

Как уже понятно из сказанного, в XXI в. исследования в онкологии, проводимые для целей диагностики и терапии, перешли на молекулярный уровень. Новые диагностические и терапевтические подходы принципиально отличаются тем, что в основе их применения лежит анализ генетического материала клетки. Геномные и эпигеномные нарушения стало возможным идентифицировать в образцах опухолевой ткани; парафиновых блоках срезов опухолей; в ДНК, циркулирующей в крови больных; и микроРНК, которая содержится в эндосомах крови или в самой опухоли.

Первые разработки противоопухолевых препаратов основывались на том, что опухолевая клетка активно делится, поэтому и цитотоксическая терапия была направлена на удаление делящихся клеток. С появлением молекулярной онкологии акценты в лечении сместились — в центре внимания оказались отдельные биологические макромолекулы, выступающие в роли пускового механизма канцерогенеза. Возникла так называемая таргетная (англ. target — цель, мишень) терапия, направленная на определенные клеточные мишени — гены или их белковые продукты. В настоящее время оба вида терапии — цитотоксическая и таргетная — взаимно дополняют друг друга.

Какие же модификации генов и их белковых продуктов могут быть полезны для поиска таргетных препаратов, что может быть мишенью в этом случае?

Открытие онкогенов послужило спусковым механизмом для этих поисков. Изучение белковых продуктом онкогенов показало, что значительное число активированных молекул относится к классу протеинкиназ — ферментов, участвующих в передаче внутриклеточных сигналов посредством фосфорилирования белков-мишеней.

Разработка специфических ингибиторов киназ оказалась чрезвычайно эффективной в поиске средств лечения рака. Сегодня именно антагонисты фосфорилирования представляют собой самый большой класс таргетных препаратов.

Наиболее известная мишень — рецептор эпидермального фактора роста EGFR-2, или HER2.

Его ген кодирует тирозинкиназу, которая способна самостоятельно передавать сигналы от клеточной мембраны к ядру. Этот ген активируется в опухолях молочных желез, и первый таргетный препарат — антитело герцептин, — полученный именно против тирозинкиназы, успешно применяется для лечения содержащих рецептор HER2 опухолей молочных желез.

Кроме HER2 существует несколько десятков киназ, представляющих интерес в качестве специфических таргетных препаратов. Наиболее универсален среди них белок EGFR1, или HER1. Он активен практически во всех опухолях эпителиального происхождения. Сегодня в распоряжении клинических онкологов имеется два антитела и три низкомолекулярных антагониста EGFR. Их уже используют в рутинной практике лечения опухолей легкого, головы и шеи, толстой кишки и поджелудочной железы. Еще один пример — препарат гливек, направленный против тирозинкиназы ABL, активность которой лежит в основе хронического миелолейкоза и других онкологических заболеваний крови. При лечении некоторых разновидностей рака молочных желез используются ингибиторы серин-треониновой киназы mTOR.

Следующая группа мишеней — это тканеспецифические гормоны и их рецепторы. Среди таких препаратов наиболее известен тамоксифен. Его действие основано на связывании с рецептором эстрогенов при опухолях молочных желез. В лечении опухолей простаты широко применяют также ингибиторы ароматазы, осуществляющей конверсию андрогенов в эстрогены. Среди ангиогенных препаратов (напомним, что способность вызывать образование сосудов, т.е. ангиогенез, — характерная особенность опухоли) наибольшую известность получил препарат авастин — моноклональные антитела, способные связывать фактор роста эндотелия (VEGF).

За последние несколько лет найдены новые мишени таргетной терапии. Создание для них новых ингибиторов стремительно развивается, и в ближайшие годы можно ожидать выход в клинику новых эффективных таргетных препаратов.

Еще одно очень важное направление в лечении рака, основанное на знаниях молекулярно-генетических особенностей опухоли, — персонализированный подбор терапии. Иными словами, перед назначением того или иного препарата необходимо тщательное молекулярно-генетическое исследование, доказывающее наличие измененного гена — мишени для данного лекарства. Только в этом случае терапия может быть эффективной. И этот подход уже достаточно широко применяется в большинстве промышленно-развитых стран. Такие довольно трудоемкие работы открыли новые возможности для лечения опухолей молочных желез, легких, толстой кишки, желудка и других новообразований [15].

Анализ микроРНК в крови раковых больных позволяет по-другому проводить диагностику. Во-первых, спектр микроРНК в крови сходен с таковым в опухолях и отличен от нормы; во-вторых, этот метод неинвазивный, и забор материала для анализа не представляет никаких трудностей и может быть использован при самых ранних признаках появления болезни.

Поскольку микроРНК регулируют экспрессию ключевых генов, задействованных в канцерогенезе, эти некодирующие молекулы можно считать не только перспективными маркерами ранней диагностики и прогноза заболевания, но и мишенями терапевтического действия. Такими исследованиями охвачены самые распространенные формы рака — простаты, молочных желез, легкого и кишечника. Например, в опухоли простаты обнаружена одна микроРНК, активность которой более чем в 2000 раз превышает экспрессию в нормальных клетках; одновременный анализ четырех других видов микроРНК позволяет отличать опухоли простаты от доброкачественных образований и выявлять их достаточно высокую специфичность (до 90%).

В опухолях молочных желез и в крови больных имеется другая высокоактивная микроРНК и еще один вид микроРНК — в метастазах. Следует отметить, что эти опухоли бывают зависимыми и независимыми от эстрогенов и притом отличаются видами микроРНК. Следовательно, оценка уровня определенных микроРНК становится новым направлением в диагностике рака молочных желез.

При немелкоклеточном раке легкого в крови больных выявлено несколько видов микроРНК, характерных для самых ранних стадий болезни, а идентификация 11 других видов микроРНК может служить критерием продолжительности жизни больных. В крови больных колоректальным раком выявлено несколько видов микроРНК, позволяющих отличать его от рака желудка и кишечника, т.е. спектр активирующих микроРНК можно использовать как диагностический тест для идентификации опухолей кишечника. В последнее время стремительно растет объем информации о практической важности показателей экспрессии микроРНК в прогнозировании опухолей, в том числе и для больных с нейробластомой.

В ближайшем будущем можно ожидать создания наборов miR-микрочипов для диагностики некоторых видов опухолей.

* * *

Таким образом, молекулярная онкология как наука, возникшая в течение последних 50 лет, позволила не только вплотную подойти к пониманию молекулярных механизмов возникновения опухолей, но и привела к разработке новых и эффективных подходов в диагностике и терапии опухолей. Какие факты свидетельствуют об этом?

Во-первых, получены твердые доказательства того, что опухолевая клетка изменена генетически — это вновь возникшие мутации или мутации, индуцированные вирусным генетическим материалом за счет включения его в клеточный геном. Во-вторых, выяснилось, что активация онкогенов, инактивация генов-супрессоров и других генов, ассоциированных с канцерогенезом, могут возникать как за счет мутаций, так и за счет эпигенетических изменений. В-третьих, эпигенетические изменения, играющие ключевую роль в возникновении прогрессии опухолей, могут быть использованы в качестве биомаркеров для ранней диагностики опухолей, прогноза и мониторинга заболевания, предсказания устойчивости или чувствительности опухоли к химиотерапии, для выявления генов-мишеней лекарственной терапии.

Полностью расшифрован геном опухолей у больных раком различных локализаций, включая рак легких, рак молочной железы, колоректальный рак, а также некоторых неоплазий крови. Установлено, что 3–4% генома обладают кодирующим потенциалом и направляют синтез всех

структурных белков клетки. Остальная часть генома выполняет регуляторные функции — синтез различных типов некодирующих РНК. Ключевая роль в регуляторных функциях принадлежит так называемым микроРНК, которые могут выполнять различные функции в канцерогенезе — активировать гены, или, наоборот, вызывать подавление их функций, они могут быть индикаторами стадийности опухолевого процесса, или фактором прогноза.

Главным достижением молекулярной онкологии последнего десятилетия оказалась разработка принципиально нового направления в терапии опухолей — так называемой таргетной терапии, которая направлена на подавление работы генов, активирующихся в опухолях. Такая терапия должна быть персонализирована — для каждого больного необходима выработка соответствующей схемы лечения. Исследования в этом направлении ведутся широким фронтом и за последние годы созданы десятки новых лекарств, которые существенно увеличивают продолжительность жизни больных раком. ■

Литература

1. *Татосян А.Г.* Онкогены // *Канцерогенез* / Ред. Д.Г.Заридзе, М., 2004. С.103–124.
2. *Зильбер Л.А., Ирлин И.С., Киселев Ф.Л.* Эволюция вирусно-генетической теории возникновения опухолей. М., 1975.
3. *Киселев Ф.Л., Павлиш О.А., Татосян А.Г.* Молекулярные основы канцерогенеза у человека. М., 1990.
4. *Копнин Б.П.* Опухолевые супрессоры и мутаторные гены // *Канцерогенез* / Ред. Д.Г.Заридзе. М., 2004. С.125–166.
5. *Knudson A.G.* Mutation and cancer: statistical study of retinoblastoma // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 1971. V.68. P.820–823.
6. *Альтштейн А.Д.* Вирусный канцерогенез и роль вирусов в возникновении опухолей у человека // *Канцерогенез* / Ред. Д.Г.Заридзе. М., 2004. 251–327.
7. *Zur Hausen H.* Infections causing human cancers. Weinheim; N. Y., 2011.
8. *Hanabán D., Weinberg R.* Hallmarks of cancer: next generation // *Cell.* 2011. V.144. P.646–674.
9. *Garraway J., Linder E.* Lessons from cancer genome // *Cell.* 2013. V.153. P.17–37.
10. *Baylin S., Jones P.* Functions of DNA methylation: islands, start sites, gene bodies and beyond // *Nat. Rev. Genet.* 2012. V.13. P.484–492.
11. *Cedar H., Bergman Y.* Linking DNA methylation and histone modification: patterns and paradigm // *Nat. Rev. Genet.* 2009. V.10. P.95–104.
12. *Kouzarides T.* Chromatin modifications and their functions // *Cell.* 2007. V.128. P.691–705.
13. *Calin G., Croce C.* MicroRNA signatures in human cancer // *Nat. Rev. Cancer.* 2006. V.6. P.857–866.
14. *Киселев Ф.Л., Имянитов Е.Н., Киселева Н.П., Левина Е.С.* Молекулярная онкология: от вирусной теории к лечению рака. М., 2013.
15. *Imjanitov E., Moiseyenko V.* Drug therapy for hereditary cancers // *Hered. Cancer. Clin. Pract.* 2011. V.9. P.5–7.

Момент импульса атмосферы

Н.С.Сидоренков, К.Бизуар, Л.В.Зотов, Д.Салстейн

Атмосфера, удерживаемая силой притяжения Земли, вращается относительно земной поверхности. Физической характеристикой этого движения служит момент импульса атмосферы; его анализ дает возможность составить представление о кинематике циркуляции воздуха и протекающих в нем процессах.

Модель

Воздушные массы движутся вдоль земной поверхности, которая имеет сферическую форму с кривизной, равной радиусу Земли R . На малых масштабах ($l \ll R$) кривизной земной поверхности можно пренебречь, движение масс рассматривать как плоскопараллельное; для его описания достаточно использовать закон сохранения импульса. На масштабах, соизмеримых с радиусом Земли ($l \approx R$), в анализе надо учитывать еще и закон сохранения момента импульса. Если же масштаб увеличивается до полного оборота вокруг земной поверхности ($l \geq 2\pi R$), то движения атмосферы становятся вращательными и тогда содержательным остается только закон сохранения момента импульса. Импульс же всей атмосферы равен нулю, так как ее центр масс совпадает с центром масс Земли и поступательное движение атмосферы отсутствует.

Момент импульса имеет важное свойство аддитивности, которое означает, что величина момента импульса всей системы равна сумме значений для каждой из ее частей в отдельности. Момент импульса замкнутой системы постоянен; он не может возникнуть или уничтожиться, а способен лишь перераспределяться между отдельными частями.

Атмосфера обращается как твердое тело вместе с Землей и, кроме того, самостоятельно вращается вокруг земной поверхности. Поэтому ее абсолютный момент импульса \mathbf{H} оказывается суммой двух слагаемых: $\mathbf{H} = \mathbf{I}\boldsymbol{\Omega} + \mathbf{h}$, где \mathbf{I} — оператор, соответствующий тензору инерции атмосферы, $\boldsymbol{\Omega}$ — вектор угловой скорости вращения Земли. Первое слагае-

мое есть переносной момент импульса атмосферы, возникающий из-за твердотельного вращения атмосферы вместе с Землей со скоростью $\boldsymbol{\Omega}$. Второе слагаемое характеризует движения воздуха относительно неподвижной земной поверхности, т.е. ветер, поэтому \mathbf{h} называют моментом импульса ветров. Изменения абсолютного момента импульса атмосферы возникают, во-первых, из-за вариаций компонентов тензора инерции атмосферы (в результате перераспределения воздушных и водных масс) и, во-вторых, из-за колебаний компонентов момента импульса ветров. В книгах [1, 2] показано, что вклад последнего фактора в изменения момента импульса Земли в несколько раз превышает вклад первого. Соответственно, в дальнейшем мы сосредоточимся на вариациях момента импульса ветров.

Будем пользоваться земной системой координат (TRF) с началом в центре масс Земли и осями, направленными следующим образом: одна — к полюсу мира вдоль оси вращения Земли, две другие, лежащие в плоскости экватора, — к меридианам Гринвича (0°) и 90° в.д. В выбранной системе TRF компоненты момента импульса ветров в явном виде записываются так:

$$h_1 = \int_A R(u_\varphi \sin \lambda - u_\lambda \sin \varphi \cos \lambda) \rho dV,$$

$$h_2 = -\int_A R(u_\varphi \cos \lambda + u_\lambda \sin \varphi \sin \lambda) \rho dV,$$

$$h_3 = -\int_A R u_\lambda \cos \varphi \rho dV.$$

Здесь φ — географическая широта; λ — восточная долгота; R — геоцентрический радиус; u_φ , u_λ — компоненты скорости соответственно южного и западного ветров, ρ — плотность воздуха, dV — элементарный объем; интегрирование ведется по всему объему атмосферы A . Движение атмосферы относительно оси вращения Земли характеризуется компонентом h_3 , а по отношению к двум осям из экваториальной плоскости — компонентами h_1 и h_2 .

В 1999 г. в США завершились грандиозные по объему и стоимости работы по повторному анализу метеорологических наблюдений начиная

с 1948 г. При этом привлекались не только данные, которые ранее использовались в оперативном анализе в реальном времени, но и все наблюдения на поверхности суши, кораблях, самолетах, спутниках, а также результаты радиозондирований и шаропилотных измерений, которые по тем или иным причинам не попали в обработку. В результате за каждый срок наблюдений получены однородные объективные поля ветра на всех стандартных изобарических поверхностях атмосферы (1000, 925, 850 гПа и т.д. вплоть до 10 гПа, т.е. примерно до 31 км). Основываясь на этой информации, Д.Салстейн [3, 4] вычислил временные ряды компонентов момента импульса ветров всей атмосферы с 1948 г. по настоящее время с шагом 6 час*. Они и послужат базисом наших дальнейших выкладок.

Момент импульса зональных ветров

Компонент момента импульса h_3 характеризует интенсивность зональной (усредненной по широте) циркуляции атмосферы. Чем больше величина h_3 , тем сильнее западные или слабее восточные ветры в атмосфере. И наоборот, чем меньше h_3 , тем слабее западные или сильнее восточные ветры. Поскольку момент инерции атмосферы n_{33} относительно оси вращения Земли изменяется во времени мало, величина h_3 в первом приближении определяет угловую скорость вращения атмосферы как твердого тела относительно земной поверхности.

По данным, усредненным за 50 лет наблюдений (1962—2012), сезонный ход момента импульса h_3 всей атмосферы имеет два максимума — 1 мая и 7 декабря ($161 \cdot 10^{24}$ кг·м²·с⁻¹) и два минимума — 4 августа ($105 \cdot 10^{24}$ кг·м²·с⁻¹) и 27 февраля ($152 \cdot 10^{24}$ кг·м²·с⁻¹),

* http://ftp.aer.com/pub/anon_collaborations/sba/



Николай Сергеевич Сидоренков, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией планетарной циркуляции и гелиогеофизических исследований Гидрометцентра России. Основные работы посвящены исследованиям неравномерности вращения Земли, движения полюсов и глобальных геофизических процессов. Неоднократно публиковался в «Природе».



Кристиан Бизуар (Christian Bizouard), доктор астрономии, сотрудник Службы вращения Земли Парижской обсерватории. Занимается изучением вращения Земли, движения полюсов, прецессии, нутации и геофизических возмущений.



Леонид Валентинович Зотов, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Государственного астрономического института имени П.К.Штернберга Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Область научных интересов — вращение Земли, гравитационное поле, климатические изменения, методы обработки данных.



Давид Салстейн (David Salstein), доктор метеорологии, работает в системе «Исследование атмосферы и окружающей среды» (AER) США, директор Специального бюро атмосферного углового момента Международной службы вращения Земли и систем отсчета (IERS). Руководит оперативными вычислениями момента импульса атмосферы. Исследует атмосферную циркуляцию, динамику системы Земля и изменения климата.

рис.1. Июльский минимум значительно глубже февральского; с декабря по май h_3 меняется мало. Разность между максимальной величиной h_3 в декабре (или мае) и минимальной в августе составляет $56 \cdot 10^{24}$ кг·м²·с⁻¹. Эти сезонные изменения h_3 происходят вследствие обмена моментом импульса с твердой Землей [1, 2]. Когда момент импульса атмосферы увеличивается, момент импульса планеты уменьшается, т.е. ее вращение замедляется. Напротив, при уменьшении момента импульса атмосферы вращение Земли ускоряется. Экстремумы кривой h_3 и длительности земных суток lod в феврале, мае и августе полностью совпадают, а в декабре различаются всего на четыре дня.

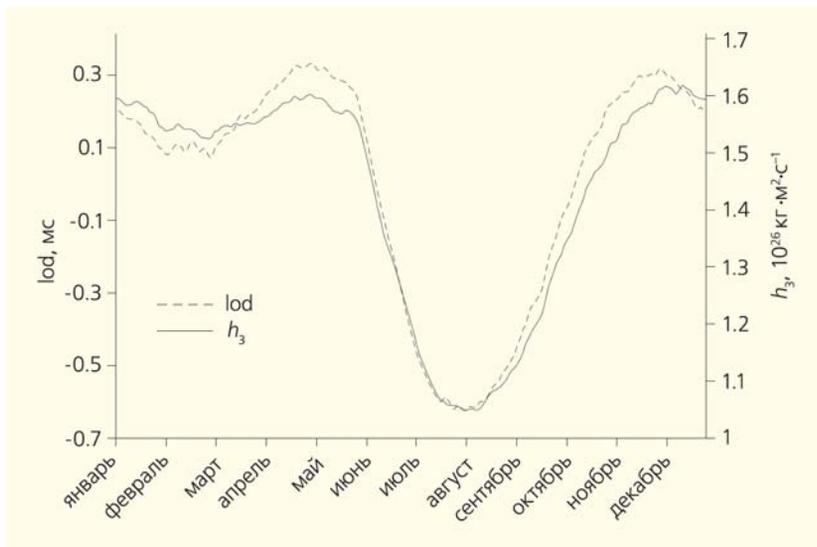


Рис.1. Сезонные изменения момента импульса зональных ветров h_3 и длительности земных суток lod (<http://hpiers.obspm.fr>).

Коэффициент синхронной корреляции между h_3 и lod на рис.1 равен 0.986 ± 0.461 . Все это свидетельствует о том, что Мировой океан роли буфера при обмене моментом импульса между атмосферой и твердой Землей практически не играет. Однако большие аномалии h_3 во время Эль-Ниньо и Ла-Нинья говорят об огромном термическом влиянии Мирового океана на атмосферную циркуляцию [2, 5]. Итак, момент импульса атмосферы изменяется в результате обмена моментом импульса с Землей, а их суммарный момент импульса всегда остается неизменным. Это может служить прекрасной иллюстрацией справедливости закона сохранения данной величины на глобальных масштабах.

Замечательная особенность момента импульса зональных ветров — тот нетривиальный факт, что он в среднем равен не нулю, а $+143.9 \cdot 10^{24} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Значит, атмосфера в целом вращается с запада на восток быстрее, чем Земля. Учитывая, что момент инерции атмосферы относительно оси вращения Земли составляет $1.413 \cdot 10^{32} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, легко вычислить, что атмосфера делает 71 оборот за 70 оборотов Земли вокруг своей оси ($T = 2\pi n_{33}/b_3 = 71$ сут). Данное явление называется суперротацией атмосферы. Оно возникает вследствие особенностей зон стока и притока момента импульса на сферической Земле [1, 2]. Конечно, отдельные части атмосферы вращаются по-разному. В умеренных и субтропических зонах атмосфера движется быстрее Земли, а в экваториальной зоне — медленнее. Период обращения атмосферы Южного полушария относительно земной поверхности — 58 сут, а атмосферы Северного — 92 сут. В зонах струйных течений атмосфера может обращаться вокруг Земли менее чем за 10 сут.

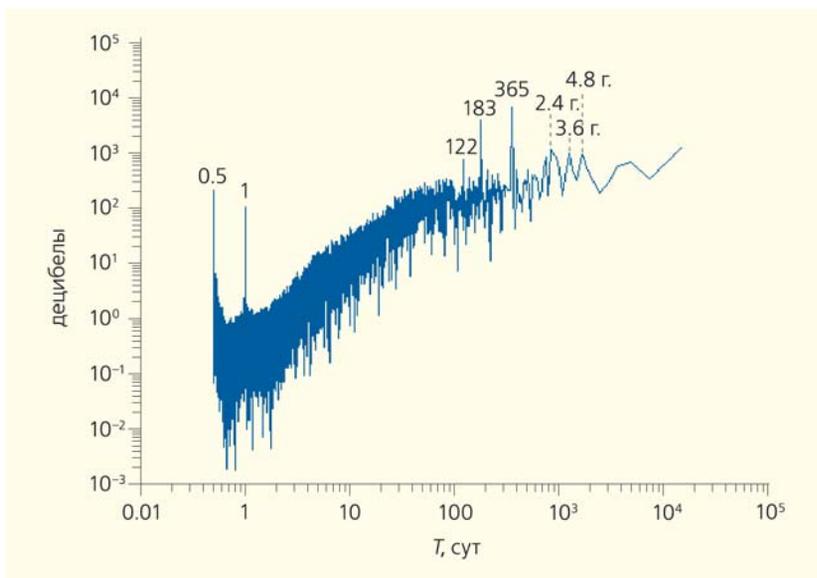


Рис.2. Спектр момента импульса зональных ветров.

Среднегодовое значение момента h_3 Северного полушария составляет $56 \cdot 10^{24}$, а Южного — $88 \cdot 10^{24} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Следовательно, среднегодовая интенсивность зональной циркуляции в Северном полушарии на 36% меньше, чем в Южном. Однако амплитуда годовых колебаний h_3 в первом ($57 \cdot 10^{24} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) на 67% больше, чем во втором ($34 \cdot 10^{24} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$). Это несоответствие обусловлено значительно большей континентальностью Северного полушария по сравнению с Южным.

Спектральный анализ ряда h_3 показал (рис.2), что в колебаниях момента импульса зональных ветров доминируют гармоники и субгармоники годового периода (365, 183 и 122 сут). Выделяются суточные и полусуточные составляющие. Имеются небольшие пики на периодах 2.4, 3.6 и 4.8 года, связанные с квазидвухлетней циклическостью ветров в стратосфере и явлением Эль-Ниньо (Южная осцилляция) [2, 5]. В диапазоне от 2 до 100 сут спектр соответствует закону красного шума, поскольку при вычислении h_3 все возмущения ветра интегрируются по замкнутым широтным кругам и взаимно компенсируют друг друга.

Экваториальный момент импульса ветров

Помимо осевого компонента h_3 вектор момента импульса атмосферы имеет два экваториальных компонента h_1 и h_2 (рис.3), которые характеризуют вращение атмосферы относительно экваториальных осей, направленных из центра Земли на нулевой меридиан и меридиан 90° в.д. соответственно. Компоненты h_1 и h_2 имеют положительные значения при вращении атмосферы против часовой стрелки (прямое вращение) и отрицательные при движении по часовой стрелке (обратное вращение; имеется в виду наблюдатель, смотрящий на атмосферу из космоса с конца соответствующих осей). Абсолютные величины h_1 и h_2 примерно в несколько сот раз меньше величины h_3 .

Ряды экваториальных компонентов h_1 и h_2 с 1948 г. по настоящее время позволяют исследовать временные вариации вектора экваториального момента импульса ветров $\mathbf{h}_e = h_1\mathbf{e}_1 + h_2\mathbf{e}_2$, где \mathbf{e}_1 и \mathbf{e}_2 — единичные орты.

В книгах [1, 2] показано, что в системе TRF вектор \mathbf{h} совершает обратное круговое вращение с близсуточным периодом. Этот вектор отклонен от оси вращения Земли на некоторый угол (в июне около 2°) и вращается с востока на запад, описывая коническую поверхность (рис.3). Вершиной конуса служит центр Земли, а направляющей — кривая, проекция которой на экваториальную плоскость совпадает с траекторией экваториального вектора \mathbf{h}_e . Апертура конуса, описываемого вектором \mathbf{h} , равна модулю вектора \mathbf{h}_e . Радиус суточного вращения вектора \mathbf{h} изменяется внутри года: достигает максимальных значений вблизи солнцестояний в июне и декабре, а минимальных — в начале марта и середине октября, когда фаза вращения меняется на 180° . Из-за этого

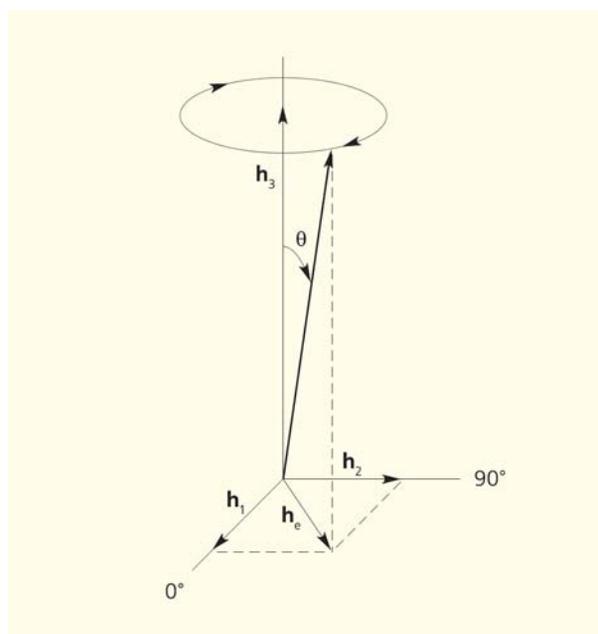


Рис.3. Суточное вращение вектора момента импульса атмосферных ветров $\mathbf{h} = h_1\mathbf{e}_1 + h_2\mathbf{e}_2 + h_3\mathbf{e}_3$ в земной системе координат (TRF).

с марта по сентябрь меридиан вектора \mathbf{h} постоянно отклонен примерно на 100° к западу, а с ноября по февраль — на 80° к востоку от солнечного меридиана.

Мы вычислили амплитудный спектр S шестидесятипятителетного комплексного ряда $h_1 + ih_2$ с помощью программы К.Бизуара для расчета комплексного быстрого преобразования Фурье. Полученный спектр приведен на рис.4, где видны мощная полоса на частоте -1 сут $^{-1}$; одиночная линия спра-

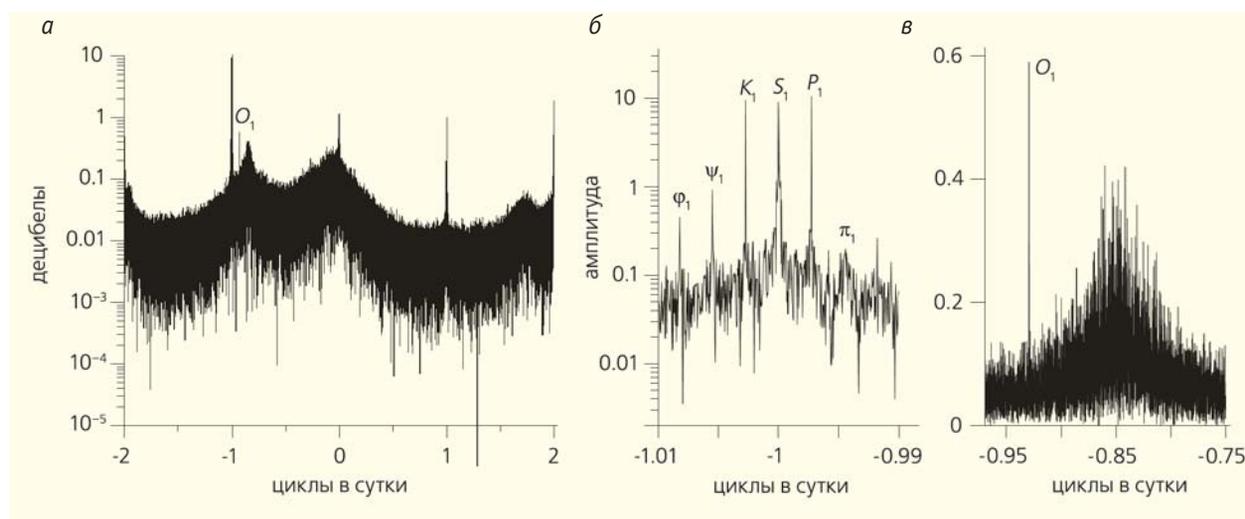


Рис.4. Амплитудный спектр комплексного ряда экваториальных компонентов $h_1 + ih_2$ момента импульса ветров в системе TRF (а), его обратная суточная полоса (б) и область суточных лунных волн (в). Частота по оси абсцисс отложена в циклах за среднесолнечные сутки.

ва от нее на частоте -0.9295 сут^{-1} , соответствующая в разложении приливного потенциала главной лунной суточной волне O_1 ; заметные полосы в области самых низких ($\approx 0^\circ \text{сут}^{-1}$) и высоких ($\pm 2^\circ \text{сут}^{-1}$) частот. Пик со стороны положительных суточных частот (при $+1^\circ \text{сут}^{-1}$) во много раз меньше, чем соответствующий со стороны отрицательных. Замечательная особенность спектра — мощный широкий максимум около частоты $-0.85^\circ \text{сут}^{-1}$. Минимумы спектральной плотности отмечаются соответственно около частот ± 0.5 и $\pm 1.5^\circ \text{сут}^{-1}$. Интересно, что вблизи положительной частоты $+1.7 \text{ сут}^{-1}$ тоже заметен слабый максимум, напоминающий по форме максимум при -0.85 сут^{-1} .

Любопытные детали

Проанализируем тонкую структуру наиболее интересных областей спектра S , увеличивая его разрешение. Сначала посмотрим близсуточную область в диапазоне частот от -0.98 до $-1.02^\circ \text{сут}^{-1}$, изображенную на рис.4,б. Центральная линия здесь — хорошо известная суточная волна термического прилива S_1 . Эту несущую волну S_1 окружают симметрично расположенные на равном удалении от нее три пары боковых линий, отражающие ее амплитудную модуляцию. Линии P_1 и K_1 указывают на модуляцию (медленное изменение) амплитуды S_1 с годовым периодом; линии π_1 и ψ_1 — с полугодовым периодом, а третья пара линий — с треть-годовым периодом.

В области низких частот ($\approx 0^\circ \text{сут}^{-1}$) выделяются пик на годовой частоте и едва заметный пик на полугодовой. Пиков на частотах долгопериодных приливов нет.

В области полусуточных колебаний заметен пик на частоте 1.9973 сут^{-1} , соответствующий боль-

шой солнечной эллиптической волне T_2 . Имеется второй небольшой пик на частоте 1.9945 сут^{-1} , не отождествляемой с известными приливными волнами.

Самая интригующая деталь комплексного спектра $b_1 + ib_2$ — размытый максимум спектральной плотности около частоты -0.85 сут^{-1} (рис.4,в). Его высота свидетельствует о большой мощности этих колебаний, а ширина указывает на значительные флуктуации их периода. Чем объясняется отмеченный феномен и почему атмосферная циркуляция столь сильно шумит в этой частотной области?

В работах по атмосферным приливам есть указание на существование волн Янаи с периодом 1.2 сут, движущихся с востока на запад. Однако синоптики, занимающиеся повседневно атмосферными возмущениями и волнами, видят только так называемые крупномасштабные волны Россби—Блиновой и синоптические вихри, которые имеют квазинеделельные и полумесячные периоды и смещаются не с востока на запад, а с запада на восток. В большей части атмосферы господствует западно-восточный перенос и почти все возмущения движутся с запада на восток. Во внетропических широтах мощные возмущения, перемещающиеся в противоположном направлении, встречаются очень редко.

В работах [2, 6] показано: противоречие возникает из-за того, что, хотя используемые оси координат TRF *вращаются* с угловой скоростью Ω , но скорость ветра измеряется относительно *неподвижной* земной поверхности. Там же для устранения осложнений, вносимых *вращением* Земли в спектры геофизических характеристик, предложено исключить обратную суточную частоту $-\Omega$, т.е. демодулировать колебания $b_1 + ib_2$, для чего использовались наблюдения строго через сутки. Однако при этом 75% наблюдений выбрасываются из

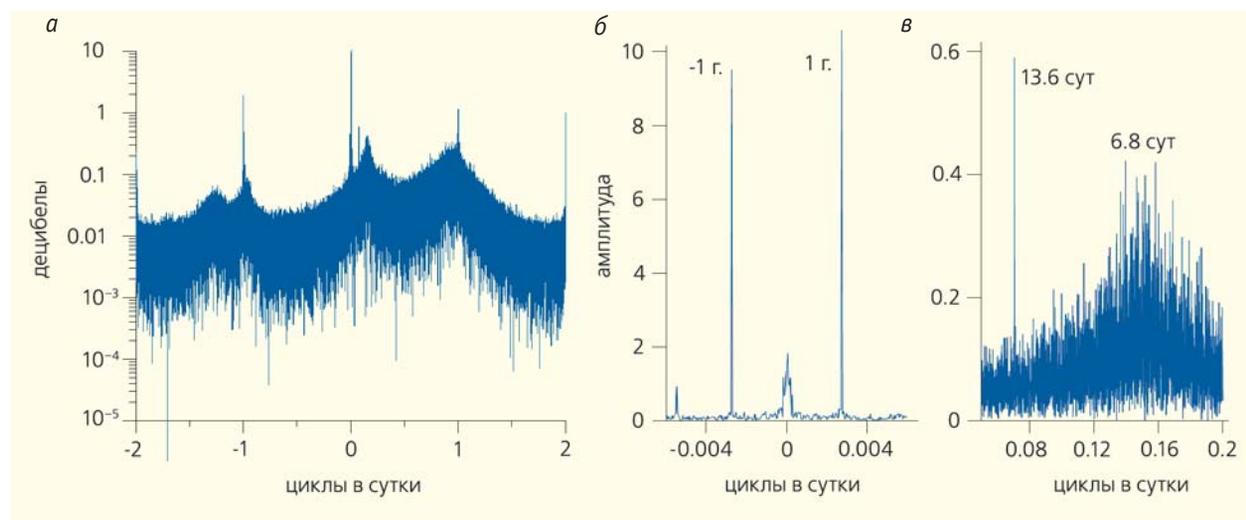


Рис.5. Амплитудный спектр экваториального момента импульса (CEAM) ветров в системе CRF (а), его близгодовая (б) и внутримесячная (в) области.

расчетов, и, чтобы устранить потерю, требуются дополнительные вычисления. Умножим исходную комплексную величину $b_c = b_1 + ib_2$ на комплексный вектор единичной амплитуды прямого суточного вращения $e^{i\Omega t}$:

$$b'_c = b_c(t)e^{i\Omega t}.$$

В результате такого умножения частота обратного вращения $-\Omega$, имеющаяся в исходном ряде, будет уничтожена частотой прямого вращения Ω , так как $e^{-i\Omega t} \cdot e^{i\Omega t} = e^{i(\Omega - \Omega)t} = 1$. В астрономии подобная операция называется преобразованием от *вращающейся* земной (TRF) к *неподвижной* небесной системе координат (CRF). Мы вычислили таким образом ряд $b'_c = b'_1 + ib'_2$, который в дальнейшем будем называть небесным экваториальным моментом импульса (СЕАМ) ветров.

Амплитудный спектр ряда СЕАМ b'_c представлен на рис.5. Он радикально отличается от спектра прежнего ряда b_c в системе TRF. Если на рис.4 почти вся энергия сосредоточена в области отрицательных частот (т.е. движений с востока на запад), то на рис.5 доминирует энергия атмосферных возмущений, движущихся с запада на восток. Приведенные спектры свидетельствуют о переходе энергии из области суточных и полусуточных волн на рис.4 в область квазинедельных волн на рис.5. Со стороны отрицательных частот волны 0₁ и -0.85 цикл/сут исчезли, трансформировавшись соответственно в прямые полумесячную (13.7 сут) и группу квазинедельных (6.8 сут) лунных волн. Последние есть не волны Янаи, а волны Россби—Блиновой, смещающиеся с синоптическими образованиями с запада на восток (они хорошо видны на синоптических картах и долготно-временных разрезах в атмосфере и океане [2, 6]).

Расщепление низкочастотной полосы на положительную и отрицательную годовые линии на рис.5 говорит о колебательном движении вектора \mathbf{h}'_c в плоскости почти одного меридиана с годовым периодом.

Полумесячные колебания дают о себе знать линией на рис.5,б и слабой узкой полосой в области периода 13.7 сут на рис.6. Узость полос отражает стабильность периодов колебаний.

Ширина спектрального максимума около недельной частоты на рис.5,в свидетельствует о неустойчивости периода и большой мощности квазинедельных волн. Квазинедельные колебания хорошо видны на рис.6, где представлена спектрально-временная диаграмма небесного экваториального момента импульса ветров. Период их флуктуирует от 5 до 10 сут.

Квазинедельные возмущения проявляются даже в колебаниях погоды*.

Впервые их описал Б.П.Мульгановский в 1915 г., назвав естественными синоптическими периода-

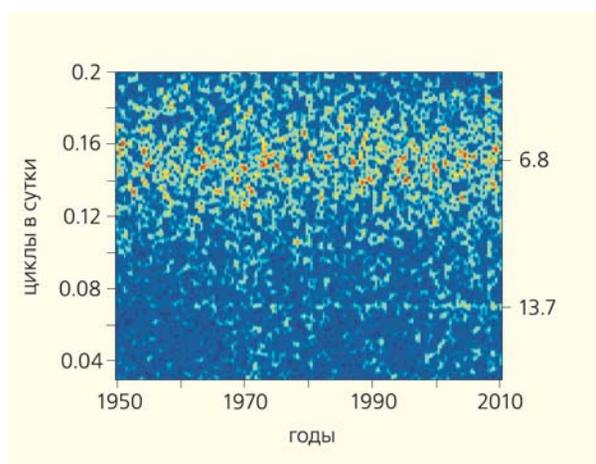


Рис.6. Спектрально-временной анализ небесного экваториального момента импульса ветров с 2005 по 2010 г. в лунной приливной полосе периодов от 2 до 20 сут.

ми (ЕСП) [7]. Продолжительность ЕСП варьирует от 4 до 8 дней. В конце XX в. была обнаружена связь квазинедельных колебаний погоды с экстремумами приливных колебаний скорости вращения Земли [1, 2, 8]. Интервал времени между последовательными экстремумами приливных колебаний скорости вращения Земли лежит в пределах от 4 до 9 сут. Эти вариации возникают вследствие изменения склонения и параллакса Луны. Совпадение длительностей ЕСП с интервалами времени между экстремумами скорости вращения Земли свидетельствует об их синхронизации с особенностями движения Луны. Ее можно заметить по изменениям хода метеорологических характеристик (давления, температуры, влажности и ветра) вблизи дат экстремумов v на недельных графиках метеостанций мира, которые теперь размещаются на сайте <http://hmn.ru>. В качестве примера на сайте <http://geoastro.ru> мы выложили презентацию с графиками изменения температуры и давления в Москве и Владивостоке вблизи дат экстремумов v за 2013—2012 годы. Здесь же мы приведем график приливных колебаний v на 2014 г., по которому читатель может самостоятельно вести подобные сравнения (рис.7).

Как видно из рисунка, на протяжении лунного месяца сменяют друг друга четыре режима вращения: Земля дважды ускоряет и дважды замедляет свое вращение. Длительность этих режимов варьирует (как и продолжительность ЕСП) от 4 до 9 дней, но в сумме она всегда равна лунному тропическому месяцу (27.32 сут). Средняя длительность одного режима вращения составляет 6.8 сут [1, 2, 8]. Вариации длительности режимов вращения от года к году обусловлены медленным движением перигея лунной орбиты с периодом 8.85 г.

Каждому квазинедельному режиму вращения Земли соответствует некоторый естественный синоптический период состояния погоды. Погода из-

* <http://geoastro.ru>

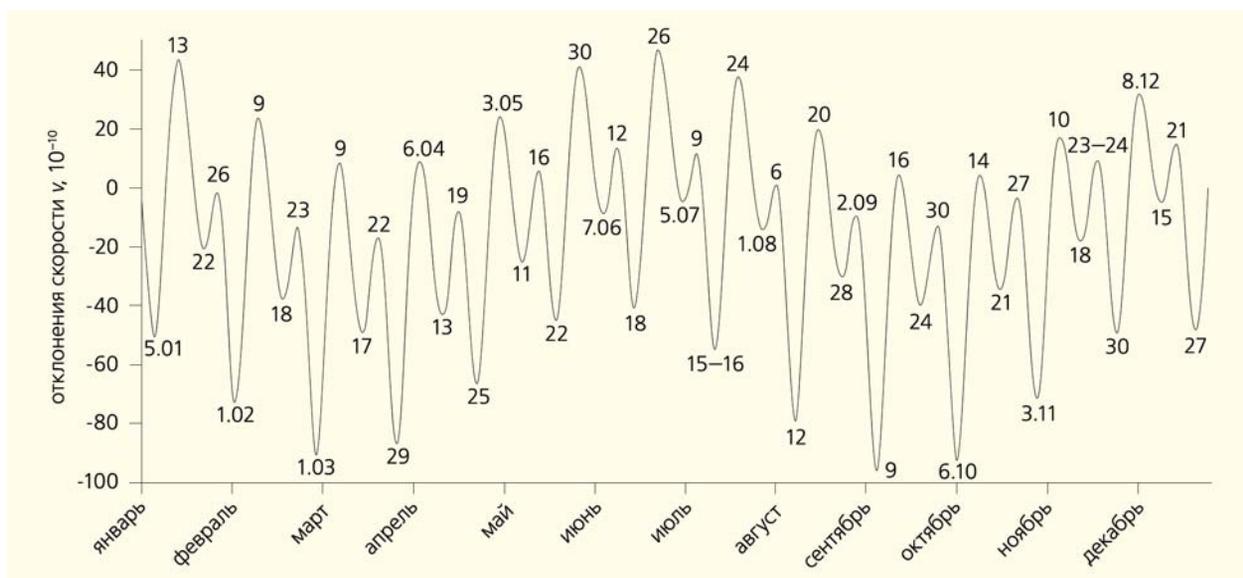


Рис. 7. Приливные колебания скорости вращения Земли в 2014 г. Цифрами отмечены даты наступления экстремумов v . По оси ординат отложены относительные отклонения угловой скорости v в 10^{-10} .

меняется вблизи экстремумов v . В процессе сравнительного мониторинга v и событий в окружающем мире выявилось, что с экстремумами v синхронизируются не только изменения погоды, но и аномальные явления и процессы (землетрясения, извержение вулканов, цунами, наводнения, взрывы метана в шахтах или снарядов на оружейных полигонах, техногенные катастрофы, колебания медицинских и ветеринарных показателей и др.) [9].

* * *

Итак, вектор момента импульса атмосферных ветров \mathbf{h} отклонен от оси вращения Земли на небольшой угол (в июне около 2°) и движется относительно земной поверхности вслед за Солнцем

с востока на запад, описывая конус (рис.3). Осевой компонент h_3 вектора \mathbf{h} в несколько сот раз превышает экваториальные компоненты h_1 и h_2 . Он характеризует момент импульса зональных ветров атмосферы. Изменения h_3 вызывают вариации скорости суточного вращения Земли; происходит обмен моментом импульса между атмосферой и Землей, а их суммарный момент импульса всегда остается постоянным. Среднегодовая величина h_3 положительна, наблюдается суперротация атмосферы. Исследование экваториальных компонентов момента импульса атмосферы позволило выявить сильное влияние лунно-солнечных приливов на колебания меридиональной циркуляции атмосферы. ■

Литература

1. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. М., 2002.
2. Sidorenkov N.S. The interaction between Earth's rotation and geophysical processes. Weinheim, 2009.
3. Salstein D.A., Kann D.M., Miller A.J., Rosen R.D. The sub-bureau for atmospheric angular momentum of the International Earth Rotation Service, A Meteorological data center with geodetic applications // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1993. V.74. P.67–80.
4. Zhou Y.H., Salstein D.A., Chen J.L. Revised atmospheric excitation function series related to Earth variable rotation under consideration of surface topography // J. Geophys. Res. 2006. V.111. P.D12108 (doi:10.1029/2005JD006608).
5. Zotov L.V., Sidorenkov N.S., Shum C.K. Multichannel singular spectrum analysis of the axial atmospheric angular momentum // Journal of Geodynamics. 2014, in press.
6. Сидоренков Н.С. О неправильной оценке роли приливных явлений в геофизике // Геофизические исследования. 2010. Т.11. Спецвыпуск. С.119–128.
7. Мультиановский Б.П. Основные положения синоптического метода долгосрочных прогнозов погоды. М., 1933.
8. Сидоренков Н.С. Лунно-солнечные приливы и атмосферные процессы // Природа. 2008. №2. С.23–31.
9. Шатовалова Н.С. Связь глобальной геодинамики планеты с локальными природными, техногенными и социальными катастрофами // Современная геодинамика недр и эколого-промышленная безопасность объектов нефтегазового комплекса. М., 2013. С. 149–150.

Древние волокни — уникальные памятники освоения Севера

Е.М.Коростелев, Л.О.Зелюткина, Д.В.Севастьянов

В современном мире важным направлением жизнедеятельности человека становится туризм, а в последние годы растет популярность его природно-ориентированных видов. Все больше людей желают хотя бы на время отпуска изменить привычную среду обитания, выбраться из «каменных джунглей» и отдохнуть в лесу, на берегу моря, озера или реки.

В 1980-х годах мексиканский эколог-экономист Г.Цебаллос-Ласкурейн предложил термин «экологический туризм», а в 1994 г. Всемирная туристская организация (UNWTO) признала его официальным для обозначения путешествий, связанных с «погружением в природу». Теперь, по данным UNWTO, количество экологических туров возрастает на 5–6% ежегодно.

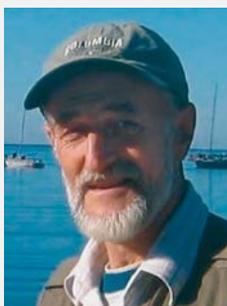
Одно из интереснейших направлений экотуризма — путешествия маршрутами наших предков. С 1990 г. при поддержке ЮНЕСКО изучаются и активно популяризируются как объекты туризма Великий шелковый путь, путь Колумба, путь из варяг в греки и др. Например, по данным Министерства культуры Киргизии, количество туристов, желающих посетить Великий шелковый путь, возрастает с каждым годом. Только за 2012 г. по следам древних караванов из Китая прошло около миллиарда человек [1].



Евгений Михайлович Коростелев, кандидат географических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета. Область научных интересов — экологическая безопасность, историческая география, рекреационное природопользование.



Людмила Олеговна Зелюткина, кандидат географических наук, доцент Российского государственного педагогического университета им.А.И.Герцена. Область научных интересов — историческая география и ландшафтное планирование.



Дмитрий Викторович Севастьянов, доктор географических наук, заведующий кафедрой страноведения и международного туризма Санкт-Петербургского государственного университета. Специалист в области рекреационной географии, географии горных регионов, лимнологии.

В нашей стране имеются колоссальные площади, мало затронутые деятельностью человека. При этом Россия обладает огромным количеством природно-культурных памятников, связанных с историческими этапами освоения территории. Они представляют исключительный интерес для экологического туризма как результат длительного и порой драматичного сотворчества человека и природы.



Водно-волоковые пути Русского Севера.

В России есть уникальные маршруты, имеющие огромное историческое значение. Это заброшенная система древних водно-волоковых путей на Русском Севере, включающая в себя реки, озера и сухопутные участки между ними — от Балтийского моря до Уральских гор.

Реки и озера на Северной Руси исторически использовались как транспортные пути (причем не только летом, но и зимой). По водным магистралям русские люди осваивали северные регионы своей страны. Начиная с IX—X вв. условно выделяют несколько этапов освоения Севера: промысловый, военно-дружинный, монастырский и торгово-промышленный.

Новгородские ушкуйники* и купцы водными путями стремились проникнуть на северо-восток, в бассейны Онеги, Северной Двины, Печоры и далее за Урал, а также в акватории арктических морей — в изобилующие пушниной и прочими богатствами края. На их пути вставали водоразделы — сухопутные участки между речными бассейнами. Необходимо было пересечь их, чтобы снова оказаться на воде. Суда перетаскивали разными способами: волочили по мелководью, несли на руках, катили на бревнах. В качестве тягловой силы использовались лошади и олени, колесами служили крупные торцевые части бревен.

* Ушкуйники — новгородские вооруженные дружины числом до нескольких тысяч человек, снаряжавшиеся купцами и боярами для захвата земель на Севере и торгово-разбойничьих экспедиций на Волге и Каме. По рекам и морям эти отряды двигались на судах — ушкуях, за что и получили свое прозвище. — *Прим. ред.*

Самыми древними судами, на которых наши предки осваивали водно-волоковые пути, были лодья и ушки. Лодья — северная версия слова «ладья» — использовалась с VI по XIII в. Это было славянское, а затем поморское парусно-весельное морское и речное судно. Его название происходит от слова «ладить» («строить»). Именно от слова «лодья» произошло современное слово «лодка» («маленькая лодья»). Ушки появились позднее — в конце XII в. Это тоже были суда для речных и морских плаваний, название которых, по одной из версий, происходит от поморского «ошкуй» (белый медведь). Ушкуй был компактнее, чем лодья. Он строился из одного ствола сосны, имел малую (не более полуметра) осадку и мог плавать как носом, так и кормой вперед. Это было вместительное и грузоподъемное (до 4 т) судно, удобное для преодоления мелководий и волоков. На высоком носу ушка часто красовалась резная голова медведя.

Сегодня часть древних водно-волоковых путей расположена на территориях национальных парков — Кенозерского, Водлозерского, «Русский север» и «Югд Ва», а также Пинежского заповедника. В этих краях множество уникальных природных объектов (озер, скал, родников, порогов на реках), красивейших памятников деревянного зодчества, по богатству типов и форм которых наша страна не имеет равных. Но в каком же состоянии находятся сами волоки? Сохранились ли до наших дней древние дороги, по которым наши предки тащили свои суда на пути к богатым северным землям? А смогли бы сегодня туристы пройти этими дорогами и пронести свои — современные — лодки? Мы поставили себе цель узнать это.

Исследования исторических ландшафтов водно-волоковых путей северо-запада России проводились сотрудниками факультета географии и геоэкологии Санкт-Петербургского государственного университета, членами Комиссии географии горных стран Русского географического общества и специалистами Института озероведения РАН в 1999—2012 гг. Пройдены и детально обследованы Кенский, Кумбасозерский, Емецкий, Словенский, Пинежский и Черезкаменный волоки. Они использовались с IX по XVIII в. и были частью обширной транспортной системы, просуществовавшей в общей сложности почти тысячу лет.

В истории развития человеческого общества всегда находит отражение смена природных условий. На ландшафты изученных нами водораздельных участков, на чередование периодов их заселения и запустения, на характер использования их человеком влияли (и продолжают влиять) изменения климата.

Согласно теории А.В.Шнитникова (1898—1983), в развитии природных климатических процессов проявляются циклы увлажненности (многовековые, вековые и внутривековые), на смену которых чутко реагируют водоемы, растительность и животный мир [2, 3]. Поколения людей, использовав-

шие природные ресурсы для жизнеобеспечения, были вынуждены приспособляться к изменениям природной среды — и кратковременным, и длительным. Так, в многовековом масштабе мы сегодня находимся в теплой и сухой климатической фазе, которая будет длиться еще около 700 лет [2, 3]. На ее фоне происходили и происходят более мелкие колебания. Например, в X—XIV вв. климат был теплее и влажнее нынешнего. Этот период назван средневековым климатическим оптимумом. Температуры воздуха на севере Европы превышали современные на 1.5—2°C, реки были полноводнее, озера — крупнее и глубже, а Белое и Баренцево моря — доступны для мореплавания. Именно тогда началась эпоха Великих географических открытий. Известно, что в X—XII вв. викинги (норманны) совершали плавания к берегам Гренландии и Северной Америки, а поморы вели промысел морского зверя и зимовали на Груманте (Шпицбергене). Как раз в это время, в период максимальной водности рек и оптимальной проходимости волоков, древние новгородцы и суздальцы разведывали водные пути на север и активно осваивали водно-волоковые системы. Это позволило им проникнуть от Балтики и Волги в северо-восточные лесные районы — до Урала и далее в Сибирь, и попасть к Студеному морю (Белому и Баренцеву). Уже тогда появилось понятие «Заволочье», т.е. территория за волоками, к которой относили бассейны Северной Двины и Онеги. Позднее эта территория стала именоваться Русским Севером.

Период максимального расцвета и наиболее активного использования водно-волоковых систем относится к XVI—XVIII вв. Но он пришелся на эпоху временного похолодания климата. В этот отрезок времени (его называют малым ледниковым периодом) увеличилась продолжительность зим и возросла ледовитость северных морей [3]. Тем не менее славянское население Севера быстро росло, расширялась добыча природных богатств и торговля. Из-за отсутствия в этих лесных краях дорог грузы перемещались исключительно водными путями (зимой — по льду), имевшими важнейшее стратегическое значение для продвижения за Урал и для развития северных территорий России.

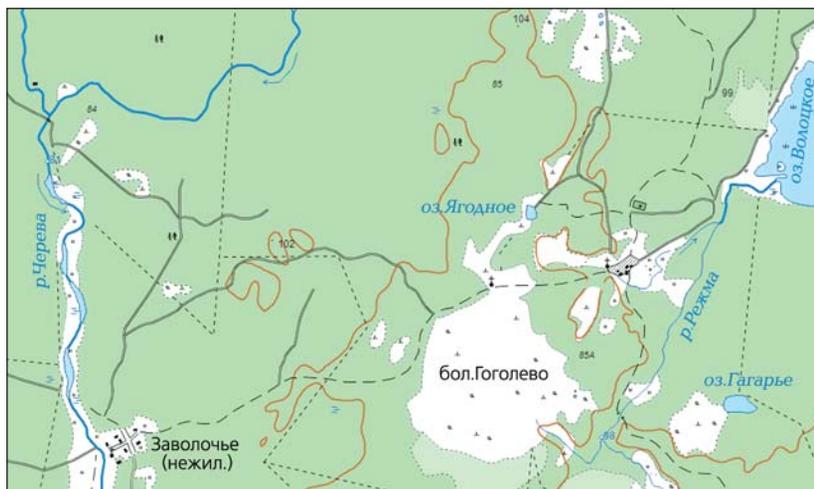
Упадок экономического значения водно-волоковых путей на Русском Севере пришелся на XIX — начало XX в., и связан он был не только с экономическими причинами, но и с общим трендом на обмеление рек. Ему отчасти способствовали вырубка лесов, молевой сплав древесины по рекам и строительство каналов на междуречьях.

Кенский волок

Важную роль в экономике Русского Севера сыграл Кенский волок, расположенный на водоразделе Белого и Балтийского морей, на границе нынешних Архангельской области и Республики Карелия. Волок был частью древнего торгового пути из Великого Новгорода к Белому морю. Первая часть пути проходила по маршруту оз.Ильмень — р.Волхов — Ладожское озеро — р.Свирь — Онежское озеро — р.Водла — р.Черева (р.Мышьи Черева). Далее следовал сам волок — шестикилометровый участок через болотистый перевал до р.Режма и места ее впадения в Волоцкое озеро. Миновав его, суда шли маршрутом р.Волошова — оз.Почозеро — р.Поча — оз.Кенозеро — р.Кена — р.Онега — Онежская губа Белого моря. Эта озерно-речная сеть с разделяющим ее сухопутным участком в прошлые века была оживленной транспортной магистралью.

В эпоху Средневековья значительно более полноводные, чем сегодня, северные реки и озера позволяли новгородским судам проникать непосредственно к водоразделам. Так, обширные торфяные болота, через которые протекает р.Волошова, сформированы на озерных отложениях. Возможно, именно в период расцвета торгового пути эти болота еще были озерами. В частности, на это указывает небольшая (30—40 см) мощность обсохшего в настоящее время торфяного слоя на берегах р.Черева. Учитывая, что принятая скорость торфонакопления в водоемах таежной зоны составляет 0.5—1 мм/год, можно предполагать, что торфяная толща начала формироваться в зарастающем озере примерно 600—800 лет назад, т.е. в XII—XIV вв.

Но некоторые мелководные участки (например, в верховьях р.Черева) были труднопроходимы для судов. Требовалось углубление русла. Расчистка фарватеров от камней (создание антропо-



Кенский волок на современной крупномасштабной карте.



Антропогенное русло р.Черева.

генных русел) приводила к понижению местных базисов эрозии. Так по вине человека происходило обмеление рек и заболачивание озер. Со временем многие участки становились непригодными для проводки судов (особенно в межень). Сегодня даже современные легкие лодки нам пришлось нести на руках там, где раньше суда шли по воде.

В начале XIX в. Кенский волок был заброшен. Но после потери «государственного» транспортного значения он продолжал использоваться местными жителями, которые поддерживали его

Фото Д.В.Севастьянова

деревянные памятники — три часовни, некогда поставленные вдоль всего волока. Первая стоит в Заволочье и обозначает начало пути, вторая — на самом трудном участке на Гоголевом болоте, а третья — в конце, в районе дер.Яблонь-Горка [5].

Нужно сказать, что пока достоверно не известно, в какую сторону в основном использовался волок. На путь по нему в бассейн Белого моря указывает название волока Кенский — ведущий на р.Кена. Но волок мог использоваться и в обратном направлении — в сторону Балтийского моря. Так, деревня на Кенозере неподалеку от р.Волошова называется Поча (т.е. начало), а название дер.Заволочье (т.е. расположенная за волоком) говорит о том, что как раз здесь волок заканчивался.

Сейчас территория Кенского волока находится между двумя крупными национальными парками — Водлозерским и Кенозерским. Поэтому предложение о создании здесь познавательного туристического маршрута представляется вполне обоснованным.

Интересно отметить, что в туристических справочниках 1980-х годов уже был упомянут маршрут, включающий проход Кенского волока. Но сам волок в той литературе рассматривался не как привлекательная и познавательная самоцель, а просто как труднопреодолимый участок пути.



Часовня в дер.Заволочье.

Фото Д.В.Севастьянова



Часовня на Гоголевом болоте (Кенский волок).

Фото Е.М.Коростелева

Кумбасозерский волок

Кумбасозерский волок, как и Кенский, располагался на пути от оз.Ильмень к Онеге, но проходил южнее (часто его называют Нижним Кенским волоком). Суда поднимались по р.Водла, а затем вместо р.Черева уходили в р.Кумбаса, по которой шли до Кумбасозера. Далее по р.Святручей они достигали оз.Святозеро, где и начинался волок — трехкилометровый участок до оз.Большое Педозеро. Оттуда по р.Педручей и р.Шуйка можно было до-

браться до оз.Кенозеро, а далее по р.Кена до Онеги. Обратный же путь из Кенозера в р.Водла и далее в Онежское озеро, вероятно, было удобнее и безопаснее проходить через Кенский волок.

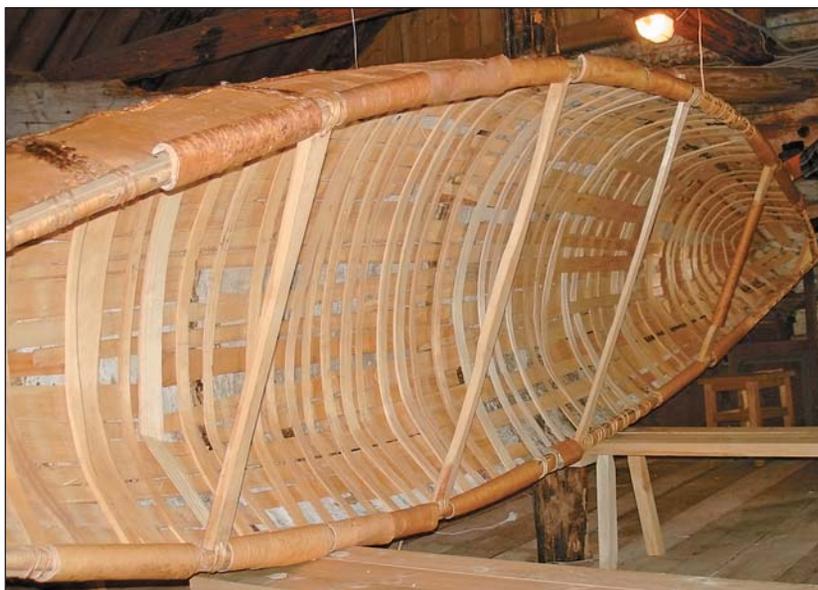
К началу использования Кумбасозерского волока привели, скорее всего, не удобство и легкость пути, а исключительно экономические причины. После подчинения Великого Новгорода Москве во второй половине XV в. южные волоки (Словенский, Ухтомский) были обложены высокими пошлинами. Купцы стали активно возить свои товары Кенским волоком. Вскоре поток грузов через него вырос, и в 1497 г. пошлины были подняты и здесь. Торговцам пришлось искать другие пути. Об этом свидетельствует запись в Писцовой книге Обонежской пятины 1563 г. (пока единственный известный историкам древний документ о деятельности на Кенском волоке): «На Настасьинской земле на Мышьих Черевах Волочек Кемский, а через тот Волочек торговые люди из Ноугородские земли ходят с товаром в Заволоцкую землю, а из Заволоцкие земли в Ноугородские земли водяным путем в судех, а великого князя крестьяне Настасьинские волости на Мышьих Черевах через тот Волочек товар волочат, а найму емлют з беремьяни по денги. И на тот Волочек писец Юрьи Костянтинович положил оброк 4 гривны, и тот Волочек ныне пуст, а гости тою дорогою ныне не ездят, — ездят новою дорогою». Логично предположить, что под «новой дорогою» подразумевался Кумбасозерский волок.

Сегодня часть волокового пути расположена на территории Кенозерского национального парка, знаменитого своими уникальными природными



Разрушенная церковь в с.Кумбасозеро.

Фото Е.М.Коростелева



Берестяная лодка А.В.Шутихина.

Фото Л.О.Зелюткиной

комплексами, сохранившимся исконно русским жизненным укладом населения и многочисленными памятниками многовековой истории и культуры Русского Севера. Среди них — красивейшие деревянные храмы, возрожденные во многом благодаря самоотверженной деятельности директора парка Елены Флегонтовны Шатковской.

Здесь стоит сказать, что одним из средств передвижения по мелководным северным рекам кроме лодий и ушкуев могли быть берестяные челны (каюки) — крепкие плоскодонные каркасные лодки. Об этом говорят археологические данные, а также записи в таможенных книгах Московского государства. В 2010 г. мастер по бересте А.В.Шутихин реализовал проект Кенозерского национального парка

(поддержанный Российским гуманитарным научным фондом) «Реконструкция средневекового пути «Кенский волок» и водноволокового судна «берестяной каюк»». Используя старинные технологии, Шутихин построил такое судно и совершил с ним путешествие-реконструкцию через Кумбасозерский волок. Получившаяся лодка имела длину 4,5 м, весила 35 кг и вмещала четверых человек. Успех проекта подтвердил возможность использования нашими предками берестяных каюков для передвижения по северным водно-волоковым путям.

Емецкий волок

Если путешественники, достигнув Онеги, хотели выйти сразу к Северной Двине, на их пути вставал Емецкий волок — «продолжение» Кенского. Двухкилометровый сухопутный участок



Село Пустынька на Онеге. Здесь начинался Емецкий волок.

Здесь и далее фото Д.В.Севастьянова

был проложен от с.Пустынька на правом берегу Онеги к верховьям р.Емца, впадающей в Северную Двину. Эти места были заселены с незапамятных времен. В 1-м тысячелетии н.э. здесь проживало угро-финское племя емь (ямь). Именно ему обязана своим названием р.Емца, а ей, в свою очередь, и волок, и долгое время существовавшая здесь Емецкая пустынь (монастырь).

В настоящее время от с.Пустынька к р.Емца ведет еле заметная тропа. Дорожная гать почти целиком заросла, и мы с трудом обнаружили ее остатки. В верховьях р.Емца расположено обширное верховое болото. Видимо, оно образовалось на месте озера, с которого и начинался водный путь к Северной Двине.

Емца протекает по территории, относящейся к космодрому Плесецк, поэтому организация водного маршрута по ней до Северной Двины невозможна. Намного информативнее и интереснее для туристов станет посещение волока, а затем сплав по Онеге. В ее нижнем течении расположены уникальные храмовые комплексы. Это одно из

немногих мест, где деревянное зодчество достигло необычайного размаха. К сожалению, не все архитектурные ансамбли дожили до наших дней, но сохранившиеся памятники — в селах Турчасово (одно из первых поселений новгородцев на Севере), Пияла, Подпорожье и др. — широко известны и невероятно красивы.



Преображенская церковь в с.Турчасово на Онеге (1786).



Вознесенская церковь в с.Пияла (1651).

Словенский волок

Словенский волок находился на пути от Волги к Северной Двине. Наши предки на судах двигались по рекам Шексна и Славянка до Никольского озера, далее преодолевали сухопутный участок до р.Порозовица, затем пересекали Кубенское озеро и спускались по р.Сухона до Северной Двины.

Как показывают археологические раскопки, путь через водораздел Волги и Северной Двины был известен со времен неолита [4]. Первое упоминание о Словенском волоке встречается в Духовной грамоте Дмитрия Донского и относится к 1389 г.

На северной оконечности волока располагалось с.Волокославинское, которое, согласно современным археологическим данным, было центром существовавшей здесь крупной волости Волочек Словенский.

Сегодня Словенский волок находится на территории национального парка «Русский Север», но, несмотря на это, волоковый участок практически не сохранился. Эта территория во все времена была плотно населена, и к настоящему времени существенно преобразилась. На Шексне созданы крупные водохранилища — Рыбинское и Шекснинское, Порозовица стала частью Северо-Двинской шлюзованной системы (современного судоходного пути между Волгой и Северной Двиной), а в непосредственной близости от волокового участка теперь проходит федеральная автомобильная трасса.



Заброшенный шлюз на Пинежско-Кулойском канале.

Недалеко от Кубенского озера мы обнаружили характерный камень, который, возможно, обозначал начало волока. Традиция маркировать волоки существовала всегда и проявлялась в самых разных формах. В качестве крупных знаков часто выступали часовни, более мелкими служили кресты, камни и т.п.

Пинежский волок

Пинежский волок располагался между р.Пинега бассейна Северной Двины и р.Кулой (в верховьях носящей название Сотка), впадающей в Мезенский залив Белого моря. Волок упоминается в летописях с 1329 г. Это один из древнейших волоков Русского Севера, существование которых подтверждено документально.

В середине XIX в. местные жители рассказали одному из исследователей Пинежского волока А.И.Шренку [6], что во время весенних половодий ручей, питающий р.Кулой, непосредственно общается с р.Пинега, вода из которой течет в Кулой. Эта информация объясняет, почему на некоторых старых картах территория волока изображена как пролив. В конце XIX в. между Пинегой и Кулом был прорыт канал и построен шлюз. Он регулировал сток рек, и по нему до 1970 г. осуществлялся сплав леса и шли оживленные судовые грузоперевозки.

Теперь канал со шлюзом заброшены, а редкие туристы, приезжающие в Пинежский р-н Архангельской обл., ничего не знают о старом волоке и посещают в основном многочисленные пещеры района.

Черезкаменный волок

Самый северный путь через Уральские горы — Черезкаменный волок — проходил по водоразделу рек Елец (бассейн Печоры) и Сось (бассейн Оби). Примечательно, что всего водно-волоковых путей через Уральские горы насчитывалось восемь, и чем путь севернее, тем он древнее.

Широко известно, что освоение русскими Сибири началось в XVI в. и связано с именем казачьего атамана Ермака. Но намного раньше, в 1363 г., ушкуйники во главе с воеводами Александром Абакумовичем и Степаном Лепой пересекли Уральские горы (вероятнее всего, Черезкаменным путем) и вышли к Оби. Здесь рать разделилась: одна часть пошла к низовьям Оби до океана, другая двинулась вверх по течению до границ Золотой Орды. По длине пройденного пути это был грандиозный для своего времени поход.

Еще более раннее упоминание о путешествии в Югорские земли (территории между Печорой и Уральскими горами) и за Урал присутствует в «Повести временных лет».

Долина рек Елец и Сось была столь удобна и пологая, что именно по ней в конце 40-х годов XX в. была проложена железная дорога к берегам Оби (достроенная часть печально известного неосуществленного проекта Великого северного железнодорожного пути).

В настоящий момент р.Сось — излюбленное место сплава туристов и рыбаков. А непосредственно на водоразделе стоит памятный знак, отмечающий границу Европы и Азии. Сюда удобно добираться: железная дорога проходит буквально в сотне метров от русла реки. А сплав по Соби гарантирует сильные впечатления, если перемежать его с рыбалкой, экскурсиями в горы, посещением снежников, водопадов и каровых озер.

Интересно отметить, что в XVII—XIX вв. были разработаны проекты создания судоходных каналов на месте некоторых волоковых участков. Но ни на одном из них (кроме Пинежского) эти проекты так и не были реализованы. Появление железных дорог свело на нет необходимость развития водных путей. Впрочем, небольшие искусственные каналы все же были. Воплощенные в жизнь старые инженерные проекты привели к появлению географических парадоксов. Так, в районе Словенского волока два водотока — ручей Фёдоровец и р.Студеная — текут через водораздел бассейнов Северной Двины и Волги. А местное население даже не задумывается о том, что это искусственные каналы!

Таким образом, сформировавшиеся на месте волоковых путей современные культурные ландшафты представляют высокую ценность как исторические памятники и объекты экотуризма, а некоторым из них, по мнению директора Института природного и культурного наследия Министерства культуры России Ю.А.Веденина, следует придать охранный статус.

Проведенные нами исследования позволили предложить несколько проектов эколого-туристических маршрутов внутри национальных парков и между ними. Эти маршруты руководство Вологодского и Кенозерского парков сочло перспективными, и, возможно, вскоре древними волоками снова пройдут люди — туристы, интересующиеся природой и историей освоения Севера.

В заключение хотелось бы отметить, что экологический туризм в России активно набирает



Черезкаменный волок. Граница Европы и Азии.

Фото Л.О.Зелюткиной

обороты. В 2004 г. по данным Министерства природных ресурсов, национальные парки страны посетили 885 тыс., а в 2011 г. — уже 7 042 млн человек. Рост популярности этого вида туризма и увеличение числа желающих насладиться первозданной красотой природы нашей страны и прикоснуться к ее истории ставит перед географами важную задачу: обеспечить научное сопровождение экотуристических проектов, в частности оценку и выработку норм экологической емкости ландшафтов.

Только в этом случае можно рассчитывать, что туризм будет подлинно экологическим, а посещаемые человеком объекты останутся привлекательными не только для нас, но и для наших потомков. ■

Литература

1. <http://www.kginform.com/ru/news/20130726/17689.html>
2. Шнитников А.В. Внутриволоковая изменчивость компонентов общей увлажненности Л., 1968.
3. Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария // Записки Географического общества СССР. Новая серия. Т.16. М.; Л., 1957.
4. Макаров Н.А. Колонизация северных окраин Древней Руси в XI—XIII вв.: по материалам археологических памятников на волоках Белозерья и Поонежья. М., 1997.
5. Зелюткина Л.О., Коростелев Е.М., Севастьянов Д.В. Водно-волоковые системы Севера России. География. История. Природопользование. СПб., 2013.
6. Шренк А.И. Путешествие к северо-востоку Европейской России. СПб., 1855.

Рай для ботаника

С.М.Бебия

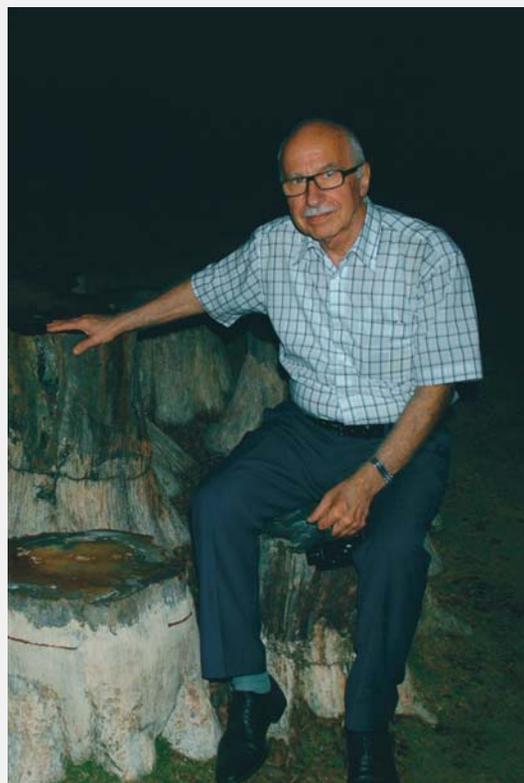


Китай — не только одна из крупнейших стран, но и одна из немногих флористических областей мира, где еще сохранились уникальные остатки разнообразия древнейшей растительности нашей планеты. Разумеется, любой ботаник мечтает побывать в Поднебесной и увидеть все своими глазами. Выдающийся британский и американский ученый начала прошлого столетия Эрнест Генри Вильсон (1876—1930) посвятил большую часть своих исследований изучению растительности Китая. Ни до, ни после него никто из иностранных ботаников не проводил здесь столь долгое время. Вильсон четырежды побывал в этой стране, оставаясь здесь по два-три года, и первым ввел в научный оборот много новых видов растений. Более 1000 видов (преимущественно декоративных) он вывез из Китая и интродуцировал в Новый Свет [1].

Но если ботанику захочется побывать здесь сегодня для того, чтобы воочию наблюдать и изучать интереснейшие растительные комплексы, а то и попробовать открыть новые виды, ему необходимо поспешить. В противном случае эти уникалы он сможет увидеть лишь в коллекциях ботанических садов и дендрариев, которые, впрочем, в Китае в изобилии — более 230. Однако распределены они по территории страны неравномерно и не охватывают всего разнообразия природных комплексов и флористических областей, ведь Китай — единственная страна в Северном полушарии, где представлена растительность тропических, субтропических, умеренных, бореальных, субальпийских и альпийских поясов.

Китай по праву именуется одним из центров происхождения голосеменных и многих родов покрытосеменных растений. Сейчас там произрастает более 33 тыс. видов высших растений (это более 10% от мировой флоры), в том числе — 250 видов голосеменных (26% мирового разнообразия). Около 20 тыс. видов местной природной флоры сохраняют *ex vitro* (вне естественного ареала) в ботанических садах Китая [2]. Поэтому неслучайно, в одном из них — Южно-Китайском ботаническом саду Китайской академии наук (ЮКБС КАН, Гуанчжоу) — расположена штаб-квартира Международной ассоциации ботанических садов, МАБС (International Association of Botanical Gardens, IABG).

Автору этих строк удалось осуществить свою давнюю мечту — побывать в Китае и воочию увидеть разнообразие флоры и растительности этого уникального уголка Земли. Мне, как участнику 13-й Международной научной конференции МАБС, представилась возможность ознакомиться с коллекциями растений двух ботанических садов, с крупнейшим питомником по выращиванию крупномерных декоративных растений, а также



Сергей Михайлович Бебия, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент Академии наук Абхазии (АНА), академик-секретарь Отделения медико-биологических, сельскохозяйственных наук и наук о земле АНА, заведующий отделом интродукции растений Института ботаники АНА, заведующий кафедрой «Лесное хозяйство и ботаника» биолого-географического факультета Абхазского государственного университета. Заслуженный деятель науки Республики Абхазия, Лауреат Государственной премии по науке им.Г.А.Дзидзария. Область научных интересов — история и география горных лесов Евразии, динамика растительных сообществ, лесоводство, дендрология, систематика, интродукция растений, экология, охрана природы.

с естественной растительностью двух заповедных территорий в южной части Поднебесной. К сожалению, наша поездка была не столь длительной, как у знаменитого Вильсона: за отпущенные нам две недели мы не смогли охватить еще и другие природные комплексы Китая. Однако полученные впечатления от увиденного стоят того, чтобы ими поделиться.

Конференция МАБС

На конференциях МАБС, которые собираются раз в шесть лет, обсуждаются важнейшие проблемы ботанической науки и сохранения разнообразия растений. От решения этих проблем зачастую зависят не только развитие и стабильность экономики всех регионов мира, но и (как бы громко это ни звучало) выживание человека в эпоху глобального изменения климата. Очевидно, что растения — не только, выражаясь казенным языком, «пищевые и лекарственные ресурсы» или «источник древесины и биоэнергетического сырья». Растительный покров Земли, как известно, поставляет в атмосферу кислород и связывает углекислый газ, играет важнейшую роль в регуляции климата, защите водоемов и почвы, но об этом, к сожалению, не все помнят. Каждый вид растений несет определенную структурную функцию, и выпадение его из экосистемы приводит к непредсказуемым последствиям, ведь это все равно что вытащить кирпич из стены собственного дома.

Сегодня из-за вырубki лесов, катастрофических лесных пожаров на огромных пространствах, загрязнения окружающей среды и нарастающего темпа глобального изменения климата заметно ухудшаются естественные условия для растительного покрова Земли, в первую очередь — для леса.

Это приводит к катастрофическому уменьшению запасов пресной воды: сегодня сильный ее дефицит наблюдается в странах Юго-Восточной Азии, на Африканском континенте и в арабских странах. Очевидно, что охрана природы и сохранение биоразнообразия представляют собой важнейшую общечеловеческую задачу.

Мировое ботаническое сообщество, осознающее свою ответственность, разрабатывает документы, определяющие деятельность ботанических садов. В частности, в 1992 г. на конференции ООН в Рио-де-Жанейро была принята Конвенция о биоразнообразии, которую подписало большинство стран мира (в том числе и Россия), за исключением США. В соответствии с Конвенцией в 2000 г. на Первом всемирном конгрессе ботанических садов (Эшвилль, США) была официально оглашена программа [3], подготовленная Международным советом ботанических садов по охране растений (Botanic Gardens Conservation International, BGCI). Она вносит существенный вклад в дело достижения целей Глобальной стратегии сохранения растений (Global Strategy for Plant Conservation, GSPC), которая была принята в 2002 г. в рамках Конвенции о биологическом разнообразии [4]. Как правило, итоги деятельности в этом направлении подводятся на всемирных форумах ботанических садов.



Возле центрального входа в Южно-Китайский ботанический сад Китайской академии наук: С.М.Бебия (слева) и А.И.Широков, директор Ботанического сада Нижегородского университета им.Н.И.Лобачевского.

Здесь и далее фото автора

В Китае проходило уже несколько конференций МАБС, очередная, 13-я, была организована на базе ЮКБС КАН в ноябре 2012 г. Правительством провинции Гуандун и города Гуанчжоу и при содействии МАБС, КАН, ЮКБС [5]. Тема конференции — «Ботанические сады для науки и практики растениеводства и экологии». Ее работа была сгруппирована по нескольким программным направлениям:

- сохранение и устойчивое использование;
- общественное образование;
- садоводство;
- восстановление и экология;
- ботанический сад как база исследований.

На конференции собрались более 300 ученых из 31 страны мира, в том числе из России, Казахстана и Абхазии. Среди участников было много видных ботаников из Великобритании, США, Испании, Австрии, Японии, Китая и других стран.

Открыл конференцию президент МАБС, профессор Шан-Ан Хе (Shan-An He). Генеральный секретарь МАБС Эстебан Эрнандес-Бермехо (Esterban Hernandez-Bermejo, Испания) был председателем пленарной сессии, на которой прозвучало три доклада по ключевым проблемам современного развития ботанической науки и ботанических садов мира. Первым выступил Стефан Блекмор, известный ботаник из Королевского ботанического сада Эдинбурга (Великобритания) с докладом «Ботанические сады в современном мире». Директор ЮКБС Хонгвен Хуанг (Hongwen Huang) рассказал о проблеме флоры, культивируемой *ex situ* (вне места обитания). Доклад Куню Ивацуки (Kunio Iwatsuki), директора Музея природы и человеческой деятельности (Museum of Nature and Human Activity, Хёго, Япония) был посвящен теме «Ботанические сады и наше современное общество».

Следующие два дня параллельно работали симпозиумы и круглые столы. Сложно даже перечислить все интереснейшие доклады, выступления и дискуссии. Наиболее острая из них разгорелась на последнем симпозиуме, посвященном реставрации деградированных лесных экосистем и сохранению природных растительных ресурсов. Сейчас эта проблема актуальна и в Китае (где в результате хозяйственной деятельности человека площадь лесов катастрофически сократилась до 7% от общей территории), и в России, и в Абхазии, где также деградируют лесные экосистемы. На конференции предложены новые подходы к стратегии их восстановления и рациональному использованию природных растительных ресурсов.

В заключении форума был сформирован новый состав Совета МАБС, куда вошел председатель Совета ботанических садов России, Беларуси и Казахстана, директор Главного ботанического сада РАН Александр Сергеевич Демидов. Генеральным секретарем МАБС избран Хонгвен Хуанг из Китая, президентом — известный ботаник Вернон



Открытие конференции МАБС. Слева направо: Эстебан Эрнандес-Бермехо (генеральный секретарь МАБС), Шан-Ан Хе (президент МАБС), Хонгвен Хуанг (директор ЮКБС КАН).

Хейвуд из Великобритании, а его предшественник, Шанан Хе, стал почетным президентом.

Очень важно, что программа конференции предусматривала не только доклады и симпозиумы, но и экскурсии по Южно-Китайскому ботаническому саду, а также по горным тропам провинции Гуандун (горы Бай-Юнь-Шань, Дин-Гу-Шань). Участники конференции обратили внимание на то, что китайское правительство уделяет серьезное внимание развитию ботанической науки как одной из важнейших научно-практических основ устойчивого развития страны. Сад неоднократно посещали первые лица государства. Это завидный пример демонстрации внимания государства к национальной науке и ее развитию. И безусловно, я ждал знакомства с уникальной флорой Китая не меньше, чем самого форума.

По ботаническим садам Южного Китая

На четвертый день конференции нам вместе с Александром Игоревичем Широковым, директором Ботанического сада Нижегородского университета им.Н.И.Лобачевского, посчастливилось ознакомиться с богатейшей коллекцией живых растений Южно-Китайского ботанического сада. Это — одно из крупнейших ботанических учреждений Китая и всей Юго-Восточной Азии. Сад был основан в 1929 г. известным ботаником, академиком КАН Чень Хуанйонгом (Chen Huanrong). В разное время это научное учреждение носило разные названия: сначала — Институт сельского и лесного хозяйства Университета им.Сун Ятсена, с 1954 г. — Южно-Китайский институт ботаники КАН, а последние 10 лет — ЮКБС КАН. Это — государственная научная организация с годовым бюджетом порядка 80 млн

юаней (примерно 400 млн руб.). Как и все ботанические сады, ЮКБС совмещает научную деятельность с демонстрацией растительного разнообразия — и делает это весьма успешно. Сад посещают более миллиона человек в год.

В ЮКБС работает примерно 410 сотрудников, в том числе более 280 профессиональных исследователей, среди которых 54 профессора и 72 сотрудника со званиями и степенями меньшего ранга. Область их научных интересов — систематика видов и эволюционная биология; глобальные изменения, деградация окружающей среды и экологическая реставрация; сохранение биоразнообразия, качество введенных в культуру растений, исследование их генетических характеристик и безопасности [2].

Сад состоит из трех основных подразделений. Питомник и демонстрационная зона с дендрарием, занимающие 282 га, были организованы в основном для сохранения растений более чем 13 тыс. таксонов *ex situ*. Вся эта коллекция живых растений собрана на 30 специализированных ботанических участках (которые тоже называются садами) — таких, как магнолиевый, саговниковый, бамбуковый, пальмовый, сады орхидей, лекарственных растений и т.д.

Зона исследовательских и служебных помещений занимает свыше 37 га. К услугам приезжающих сюда ученых — гербарий примерно миллио-

на образцов растений, расположенных по системе Хатчинсона и сохраняющихся в прекрасном состоянии, а также служебные офисы и современные лабораторные комплексы. В Дингушаньском заповеднике площадью 1155 га находятся под защитой *in situ* более 2400 видов растений. Это — единственный академический (в системе КАН) и первый национальный природный заповедник в Китае.

Кроме того, в состав ЮКБС входят несколько опытных станций, в том числе Дингушаньская и Хешаньская национальные полевые научно-исследовательские станции лесных экосистем, и Сяоянская научно-исследовательская станция КАН по восстановлению тропических деградированных прибрежных экосистем [2].

Дендрарий

Меня поразили размеры коллекций древесных растений, особенно некоторых таксонов (родов и семейств). В экспозиции, к примеру, представлен камелиевый сад, занимающий около 4 га, где произрастает более 150 видов из семейства чайных (Theaceae). Практически все эти виды используются как пищевые, лекарственные, декоративные растения. Большинство из них введены в культуру во многих странах мира. Более 40 культива-



Пальмовый сад в Южно-Китайском ботаническом саду.

ров камелии японской (*Camellia japonica*), масличной (*C.oleifera*), сасанква (*C.sasanqua.*) и китайской (*Thea sinensis*) успешно растут на Черноморском побережье Кавказа. В 1848 г. камелия китайская (или чай китайский) была интродуцирована в Абхазию и с 30-х годов прошлого столетия продукция этой культуры становится одной из основных статей дохода экономики страны.

Целый гектар занимает магнолиевый сад, в котором можно увидеть крупнейшую (более сотни видов) коллекцию магнолий. Среди них множество редких, реликтовых и исчезающих видов, которые принадлежат родам: *Magnolia* (*M.benry*), *Michelia* (*M.skinneriana*, *M.bedyosperma*, *M.rufipes*), *Manglietia* (*M.pachyphylla*, *M.lucida*) и др. [6]. В центре магнолиевого сада установлен памятник китайскому ботанику, основателю экспозиции и автору капитального труда по магнолиевым.

В саговниковом саду площадью 0,8 га демонстрируется более 1000 экземпляров 18 видов этого семейства, в том числе весьма редких — *Cycas elonga*, *C.delaoensi*, *C.szechuanensis*, *Zamia furfuraceae*, *Macrozamia lucida*, *Encephalartos manikensis*. В Абхазии широко используется в качестве декоративного растения в открытом и закрытом грунте *C.revoluta*, родом из Японии и Китая.

Восхитительна и коллекция пальмового сада (он занимает 3 га) из растений более 300 видов. Среди них много уникальных, перечислим лишь некоторые: *Borssaria flabelifer*, *Medemia nobilis*, *Archontophoenix alexandrae*, *Bismarckia nobilis*, *Jobbannesteijsmannia altifrons*, *Arenga westerhoutii*. Не забудем упомянуть также карликовую жгучую (*Caruyota urens*) — редкий, исчезающий эндемичный вид Китая, орнаментальный, с неправдоподобными листьями. *S.urens* еще называют винной или саговой пальмой. В сердцевине ее ствола содержится крахмал, который используется в пищу или для изготовления пальмового вина. Пальмовые (или арековые) представляют большую ценность — не меньшую, чем злаки и бобовые. Многие виды этих растений используются как источники масла, кокосовых орехов, сырья для биоэнергетики.

Безусловно, впечатляют и длинные аллеи из высокой кубинской королевской пальмы (*Roystonea regia*), фикуса мелкоплодного (*Ficus microcarpa*), эвкалипта лимонного (*Eucalyptus citriodora*). Особенно торжественно и красочно выглядит аллея из цветущих штамбовых кустов одного из видов бугенвиллеи (*Bougainvillea*).



Один из редких видов пальм — *Bismarckia nobilis* родом из Мадагаскара.



Фикус мелкоплодный, привезенный из Юго-Восточной Азии.

Консерватория без музыки

Особого внимания заслуживает экспозиция живых растений мировой флоры в закрытом грунте общей площадью 75 тыс. м². Состоит она из четырех специализированных оранжерейных сооружений. В них насчитывается 3500 видов причудливых растений, представителей тропических дождевых и субтропических вечнозеленых лавровых лесов, пустынных, субарктических и других флористических экосистем мира. В наиболее крупном отделении можно увидеть калebasовое, или горлянковое, дерево (*Crescentia cujete*) семейства бигнониевых (Bignoniaceae). Родом оно из Южной Америки, где его зрелые с плотной оболочкой плоды используют для изготовления посуды (калебасов). Или, например, лиана *Cissus sicyoides* f. *ovata* из семейства виноградовых (Vitaceae). На родине, в Парагвае, это растение называют принцессой Вин, вероятно, из-за тонких розоватых воздушных корней, свисающих двухметровыми нитями, которые при хорошем воображении могут напоминать распущенные волосы девушки. Можно здесь увидеть и фикус мелкоплодный с коротким толстым (более 2 м в диаметре) стволом причудливой формы и со свисающими воздушными корнями. В специальном бассейне красочно цветут гигантские тропические лилии: виктория амазонская, или королевская (*Victoria amazonica*), виктория Кроуса (*V. cruziana*) и виктория гибридная (*V. x hybrida*). В этой оранжерее создана искусственная скала с гротом в виде тоннеля с мощным водопадом высотой более 10 м и с лифтом для подъема посетителей на смотровую площадку, откуда перед ними открывается удивительное, потрясающее зрелище.

Любопытно, что в Китае оранжерея, исходя из функционального назначения, называется консерваторией. Ее сотрудники занимаются сохранением редких и исчезающих видов мировой флоры *ex situ*, которые используют в качестве маточных растений, для размножения.



Виктория амазонская в консерватории ЮКБС.



Калebasовое, или горлянковое дерево.



Принцесса Вин родом из Парагвая.

Конечно, ботанический сад — это не только оранжереи и дендрарии. Внимание посетителей привлекает огромный водоем в центре сада с общей зеркальной поверхностью около 10 га, а также несколько отдельных небольших прудов, в которых растут и цветут живописные тропические водные растения разнообразных видов и сортов.

Чтобы просто упомянуть все виды растений в ЮКБС, который совершенно справедливо называют одним из лучших в мире, явно недостаточно выделенных журналом страниц. Столь же мало для специалиста трех дней, отведенных для посещения этого ботанического рая.

Сад у Озера феи

Автору этих строк удалось посетить и другой весьма крупный (546 га) академический ботанический сад, расположенный вокруг озера со сказочным названием — Озеро феи (Сяньху). В сопровождении директора сада Дженлин Жиао нам удалось ознакомиться с его богатейшей коллекцией.

Расположен этот сад в 200 км южнее Гуанчжоу, в г.Шэньчжень, в окружении амфитеатра склонов горы Вутонг высотой до 900 м. Климат здесь тропический, но пересеченный рельеф территории и сравнительно высокие окружающие его склоны гор способствуют формированию разнообразных экотопов. Это позволило привлечь в коллекцию разнообразные виды растений с различной биоэкологией.

Шэньчженьский ботанический сад сравнительно молод (основан в 1982 г.), но уже по праву считается одним из красивейших в Азии. Коллекция живых растений составляет более 8000 таксонов. Здесь коллекции также представлены родовыми комплексами. Сад саговников, например, содержит 240 видов, т.е. 80% от всех видов семейства. В литературных



Центральный вход в Шэньчженьский ботанический сад.



Озеро феи.

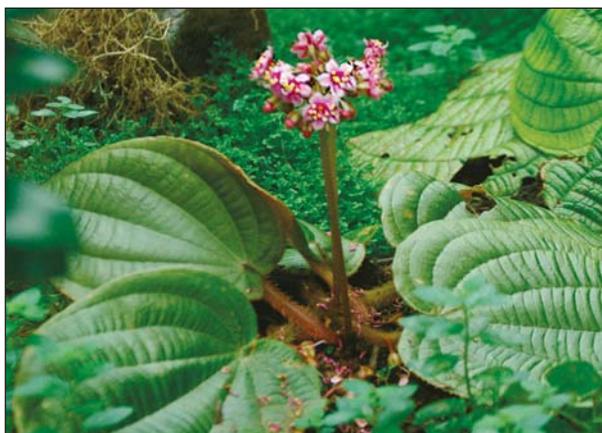


Экспозиция окаменелых ископаемых деревьев.

источниках я не встречал указания на такую богатую коллекцию саговниковых в других ботанических садах мира.

Пальмовый сад занимает 3 га. Здесь выращивают 180 видов из 60 родов со всех континентов. Расположен он в центральной части парка на берегу озера. Богато представлено и семейство магнолиевых — более 180 видов. Гордость сада — экспозиция орхидных, в центре которой находится закрытое помещение, где можно наблюдать за полным циклом развития тропических бабочек.

Сад действительно оправдывает свое название: посетителей впечатляют огромное озеро в центре парка, чудесные пейзажи на фоне синего неба и гор, богатство коллекции живых растений, а также структура, композиции. Необычайную ценность представляют собранные здесь экспонаты палеонтологического музея, расположенные в виде огромного грота с водопадом. Перед музеем на площади 2 га в открытом грунте демонстрируются многочисленные экспонаты — более 200 окаменелых древесных растений, найденных по



Tigridiopalma magnifica — редкий эндемичный вид семейства меластомовых. Коллекция Шеньчженьского ботсада.



Ветвь личи китайской — вечнозеленого дерева семейства сапидовых, родом из Южного Китая.

всему Китаю. Дженлин Жиао и его супруга Ксиао Пинг Ф любезно отвечали на вопросы, спокойно воспринимая мое восторженное любопытство. Отдельные окаменелости достигают более 1 м в диаметре и до 10 м высоты. Удивительное зрелище — причудливые окаменелые древесные стволы в окружении очень красивых живых топиарных (геометрически подстриженных) древесных растений и искусственных ручейков и фонтанов. Это одна из богатейших коллекций ископаемых древесных растений в мире.

По горным тропам

Бай-Юнь-Шань — «гора белых облаков» — расположена на северо-восточной окраине г. Гуанчжоу. Покрыта она лесами в основном вторичного происхождения. В составе много интродуцированных видов. Это *Bauchinia* × *blakeana* (естественный гибрид между *B. purpurea* и *B. variegata*) — листопадное дерево (родом из Гонконга) с довольно крупными стерильными цветами сиреневой окраски, размножается вегетативно; *Ficus altissima* с длинными свисающими воздушными корнями; *Caryota mitis* с оригинальными крупными (до 1.5 м) изящно согнутыми листьями и удивительными разрезными листочками; *Mangifera silvatica* и др. Все эти виды, а также *Cassia suratensis*, *Melaleuca leucodendron* и многие другие широко используются в озеленении Гуанчжоу и юга Китая. Последний вид я сначала принял за эвкалипт прутовидный (*Eucalyptus viminalis*), который применяют для озеленения на Черноморском побережье Абхазии. Оба вида происходят из Австралии и относятся к одному семейству — миртовых (Myrtaceae). Они очень схожи по форме листьев, кроны, особенно по характеру отслоения коры и светлой окраске стволов. В озеленении и коллекциях ботанических садов чаще фигурирует другой вид, эвкалипт лимонный (*E. citriodora*) родом из Тасмании, который,

как и мелалеука белоствольная, более теплолюбив, чем эвкалипт иволлистный. В Абхазии эвкалипт лимонный был интродуцирован в начале прошлого столетия, но оказался малоустойчив для разведения в практических целях.

Особый интерес представляла поездка в горные леса Дингушаньского национального природного заповедника. Здесь преобладают субтропические вечнозеленые лавровые леса и сохранились фрагменты тропических дождевых лесов. В густых непроходимых лесах, по деревьям взбираются мощные лианы. В нижнем приземном ярусе сплошные заросли пальм, фикусов, крупного папоротника *Gymnosphaera podophylla*, крупнотравянистые *Anotum austrosinense* с полуметровыми овально-ланцетными листьями и многие другие экзотические виды. Во втором ярусе растут *Ficus henryi*, *F. birta*, виды рода *Camellia*. В верхнем ярусе преобладают такие деревья, как *Nauclea officinalis* из семейства Rubiaceae, *Castanea henryi* и др. Гребни верхних склонов гор местами заняты сосной Массона (*Pinus massoniana*). Любопытно, что сосны в тропических районах, в частности на юге Китая, очень редки. Даже в коллекциях ЮКБС они представлены немногими экземплярами (в плохом состоянии) отдельных видов.

Вообще древесные растения умеренного климата (и тем более бореального) в Южном Китае с его влажным тропическим климатом в интродукционных посадках, даже в коллекциях ботанических садов, практически отсутствуют. В коллекции ЮКБС растут четыре дерева плоскочеточника восточного (*Platyclusus orientalis*) родом из засушливых районов Северного Китая. Все они выглядят очень ослабленными. В коллекции растут также две сосны Массона, которые, как отмечалось, в ослабленном жизненном состоянии, хотя на склонах горы Дин-Гу-Шань, в естественных условиях с более прохладным климатом, на отметках 400—500 м этот вид образует чистые насаждения. Это общая проблема ботанических садов:



Ветвь баугинии с довольно крупными стерильными цветами. Это листопадное дерево родом из Гонконга.



Цветок каллиандры красноголовой (*Calliandra haematocephala*) семейства бобовых. Она родом из Америки.



В Дингушанском национальном природном заповеднике, в покрове на переднем плане папоротник *Gymnosphaera rodophylla*, на заднем (справа) — крупнотравянистое *Atotum austrosinense* с огромными (до 50 см в длину) овально-ланцетными листьями

в Сухумский ботанический сад с субтропическим климатом привезли из субальпийского пояса Абхазии два клена Траутфеттера (*Acer trautvetteri*). В возрасте 20 лет они достигли всего лишь 1.2 м высоты и были в ослабленном состоянии. Эти примеры еще раз наглядно подчеркивают достоверность эволюционной теории Дарвина о восходящей линии эволюции, о первоначальном происхождении видов растений в тропическом поясе и затем их поступательном перемещении в более прохладные субтропические, умеренные и boreальные регионы. По этой причине пихту кавказскую (*Abies nordmanniana*), представителя умеренно-холодного климата, можно интродуцировать в Москву, но не в Гуанчжоу с тропическим климатом, обратной линии эволюции не существует. С этой закономерностью необходимо считаться интродуктору при решении проблем сохранения биоразнообразия растений и их разведения в практических целях.

Многие полезные древесные растения из Дингушанского заповедника, к примеру виды родов *Camellia*, *Castanea*, *Magnolia*, *Mangletia*, *Castanopsis*, *Quercus*, *Cyclobalanopsis*, *Ficus* и др. представляют интерес для интродукции в субтропические регионы юга России и в Абхазию. В зеленом убранстве Черноморского побережья Кавказа среди интродуцированных древесных растений преобладают ви-

ды из Юго-Восточной Азии, Китая, и возможности привлечения новых полезных видов из этих регионов далеко не исчерпаны.

К сожалению, в период нашего пребывания здесь плодоносило мало растений. Однако автору этих строк удалось собрать семена нескольких растений, в том числе очень редкого эндемичного и ценного вида камелии гигантоплодной *Camellia gigantocarpa*. Мы высеяли эти семена в Институте ботаники Абхазской национальной академии.

В царстве рукотворных растений

На окраине г. Гуанчжоу расположен один из старейших питомников декоративных древесных растений. Здесь на площади более 100 га с типичным китайским размахом выращиваются крупномерные топиарные саженцы разнообразнейших форм и размеров (высотой до 15—20 м, с диаметрами стволов более 1 м) до полувекового возраста. Это действительно уникальное зрелище: попавший сюда специалист по озеленению должен выбирать из огромного ассортимента тропических, субтропических древесных растений хвойных, вечнозеленых лиственных, листопадных видов, пальм, саговников и цветочных растений. Любой

озеленительный объект — парк, сквер, уличные посадки — можно создать в любом архитектурно-композиционном решении за считанные дни в окончательном виде. Китайцы — пионеры в садово-парковом строительстве, его история насчитывает тысячелетия. Безусловно, такой опыт заслуживает самого серьезного внимания и изучения.

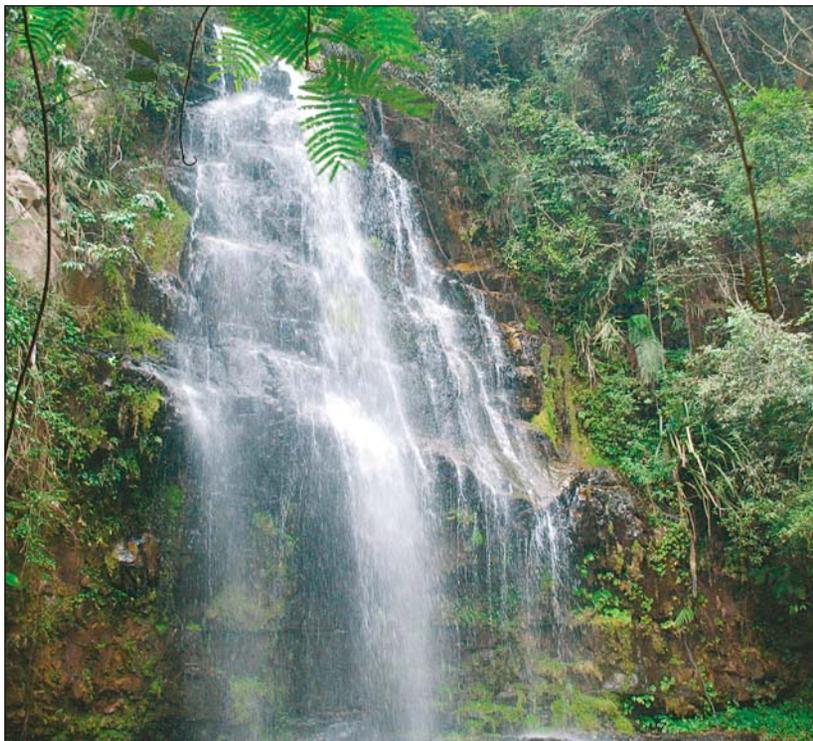
Немного о Гуанчжоу

Гуанчжоу (раньше — Кантон) — старейший город, один из крупнейших, экономически развитых, индустриальных, финансовых, технологических, культурных, исторических и научных центров Южного Китая, столица провинции Гуандун. В Гуанчжоу живет около 13 млн человек. В этом городе расположен Мемориальный музейный комплекс основателя КНР Сун Ят Сена, имя которого носит и Гуанчжоуский университет.

Центр города представляет собой типичный современный мегаполис с небоскребами, торговыми центрами, многоярусно пересекающимися эстакадами автомобильных дорог, но без привычных московских пробок. Иностранец может легко ориентироваться и передвигаться по городу в метро, на автобусах, такси. К услугам гостей две высотные смотровые башни в разных частях столицы и берега большой реки Чжуцзян (р.Жемчужной, третьей по величине в Китае). С высоты башен открывается вся панорама города, склоны прилегающих холмов, территория ботанического сада и т.д. Отсюда хорошо видно, насколько красив Гуанчжоу, особенно в темное время суток, когда красочно освещенные силуэты башен таинственно отражаются в воде. Особенно приятной была и вечерняя прогулка на катере, после которой начисто исчезла усталость от многокилометровых походов на «охоту» за растениями.

Литература

1. Howard R. E.H. Wilson as a Botanist. Part 1 // *Arnoldia*. 1980. V.40. №3. P.102—138.
2. South China Botanical Garden Chinese Academy of Sciences. Annual Report. China. Guangzhou, 2011. P.64.
3. Международная программа ботанических садов по охране растений. Отделение Международного совета ботанических садов по охране растений. ГБС РАН. М., 2000.
4. Global Strategy for Plant Conservation. Published by the Secretariat of the Convention on Biological Diversity. CBD. UNEP. 2002. P.13.
5. The 13th Conference of International Association of Botanical Garden. Final Program. Guangzhou, 2012. P.122.
6. Zou Shon-ging. The Vulnerable and Endangered Plants of Xishuang-banna Prefecture, Yunnan Province, China // *Arnoldia*. 1988. V.48. №2. P.3—8.



Водопад в Дингушаньском национальном природном заповеднике.

В Гуанчжоу много достопримечательностей, в том числе интересных и для биолога. Старинный народный рынок, удаленный от центра города, привлек наше внимание своей экзотичностью. Десять гектаров рынка с улицами и кварталами, здесь можно купить практически все. Кажется, продается любой вид животного и растительного мира Китая. Мне удалось купить несколько видов редких растений для коллекции Института ботаники.

В предпоследний день перед возвращением домой я еще раз побывал в Южно-Китайском ботаническом саду и в более спокойной обстановке продолжил съемки и изучение растений. Поездка получилась сравнительно короткой, но собранного материала — семян и образцов растений, фотографий и видеозаписей — для камеральной обработки и систематизации хватит надолго. ■

Верный. История катастроф

А.П.Горбунов,

доктор географических наук

Институт мерзлотоведения имени академика П.И.Мельникова СО РАН

Якутск

И.А.Горбунова,

кандидат географических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

До 1921 г. Верным назывался крупнейший город Казахстана, его современная «южная столица» Алма-Ата. Город расположен у подножия Заилийского Алатау на крайнем юго-востоке республики. Эти места неоднократно подвергались разрушительным землетрясениям. Одно из них, известное как Верненское, случилось в 1887 г. и практически до основания разрушило город. Оно считается одной из крупнейших природных катастроф конца XIX в. в Центральной Азии. Об этом и других землетрясениях, а также о людях, посвятивших годы изучению причин и последствий этих печальных событий, будет рассказано в этой статье.

Баллы и магнитуды

Перед описанием Верненской катастрофы следует сказать несколько слов о методах оценки интенсивности и энергии землетрясений. Заметим, что сообщения о них в источниках массовой информации в последнее время, как правило, содержат разные нелепости, которые сбивают с толку неискушенного читателя.

Существует несколько шкал измерения силы земных сотрясений [1]. Первой стала десятибалльная шкала М.Росси и Ф.Фореля (1883—1884). Позднее в Европе получила распространение двенадцатибалльная шкала Меркалли (1917), а ее модернизированный вариант с 1931 г. стал применяться в США. В Японии с 1900 г. действует семибалльная шкала, которая неоднократно перерабатывалась (в 1920, 1932 и 1950 гг.).

В 1964 г. С.В.Медведев, В.Шпонхойер и В.Карник предложили еще одну двенадцатибалльную шкалу, которая сегодня используется в странах СНГ. В ее название (MSK-64) вошли первые буквы фамилий авторов и год введения в обращение. Так, землетрясение силой 6 баллов по японской шкале соответствует 9—10-балльному по MSK-64.

Теперь о популярной в последнее время шкале Рихтера. Ее предложили в 1930-х годах американские геофизики Ч.Ф.Рихтер и Б.Гутенберг. От всех

перечисленных она отличается тем, что единицей измерения в ней служит не балл, а магнитуда. Поэтому фраза «землетрясение силой столько-то баллов по шкале Рихтера» у знающего человека вызывает недоумение. Какова же все-таки интенсивность землетрясения?

Магнитуды в шкале Рихтера определяют энергию и интенсивность в очаге (гипоцентре) землетрясения, т.е. в глубине, а не на поверхности. Очаги располагаются, как правило, на глубинах до 60 км (бывают и глубже, но не более 720 км). Величину, скажем, в 6 магнитуд принято записывать в виде $M = 6$ или иногда просто M_6 .

Часто в качестве характеристики силы землетрясения указывается только магнитуда. Но это крайне малозначимая информация, она очень слабо характеризует то, как толчки ощущались людьми. Магнитуда может быть использована для определения величины сотрясения на поверхности Земли, только если известно, на какой глубине находился гипоцентр. Например, при магнитуде 5.0 и глубине очага 5 км сотрясение на поверхности составит 8 баллов по шкале MSK-64, а та же магнитуда, но при глубине очага 10 км снизит балльность до 7.

Простому человеку не нужны эти расчеты, ему легче понять, если интенсивность землетрясения приводится в баллах. Они дают реальное представление о сотрясении земной поверхности, что и определяет тревогу населения и масштабы возможных разрушений. Шкалу Рихтера оставим для профессионалов, а оценивать колебания на земной поверхности будем по шкале MSK-64. По ней удобно определять примерную балльность, используя некоторые «домашние» признаки. Так, один балл не ощущается людьми, только приборами. Два и три балла люди уже замечают, но такое сотрясение, как правило, не вызывает тревоги. Беспокойство нарастает по мере увеличения балльности. Дребезжание посуды и сильное раскачивание люстры свидетельствует о землетрясении в 4—5 баллов. При семи появляются трещины в некоторых домах, нарастает всеобщий испуг. Восемь и девять баллов приводят к разрушению кирпичных и некоторых других зданий и сооружений. Происходят оползни и обвалы, возникают трещины на почве.

Землетрясения в окрестностях Верного

Первые дошедшие до нас сведения о землетрясениях в Алма-Ате и ее окрестностях относятся к XVIII в. Письменные источники, к сожалению, отсутствуют, но есть некоторая устная информация.

По информации российского палеосейсмолога А.А.Никонова [1], старинные киргизские предания сообщают нам о катастрофическом землетрясении в предгорьях Северного Тянь-Шаня примерно между 1730-ми и 1760-ми годами. В 1971 г. А.П.Горбунов говорил со школьным учителем Жигатаем Сопоквым, проживавшим в пос. Жандосово (примерно в 30 км западнее Алматы). Сам он чуть не погиб в селевом потоке 1921 г. в долине одного из притоков р.Каскелен. Сопокв поведал, что в 1902 г. его дед рассказывал об известном ему от предков массовом сходе селей по долинам северного макросклона Заилийского Алатау. По косвенным данным нам удалось установить, что эти события происходили в середине XVIII в. — как и говорится в киргизских преданиях. Это подтверждают и определения возраста селевых отложений, выполненные дендрохронологическим методом [2]. Можно предположить, что эти грязекаменные потоки имели сейсмогенное происхождение. Именно такие позднее отмечались во времена Верненского землетрясения.

С XIX в. также сохранились письменные и некоторые устные сообщения о подземных толчках [3]. Местные жители рассказывают о землетрясении 1807 г., которое ныне именуют Алматинским. Сила его составила 8 баллов, а эпицентр находился в районе курорта Алма-Арасан (43°06'с.ш., 76°54'в.д.), примерно в 10 км южнее места, где позднее возник город Верный. С той поры здесь сохранились следы оползня и нескольких обвалов.

Интересные опросные материалы опубликованы Западно-Сибирским отделением Русского географического общества. По сообщению А.Вершинина [4], в период с 1868 по 1887 г. отмечены 28 ощутимых землетрясений, самые сильные из которых (судя по косвенным признакам, 6—7-балльные) случились в 1868, 1874, 1880, 1883 и 1884 гг.

Одним из наиболее примечательных было землетрясение 1868 г. Его эпицентр находился в месте впадения р.Чон-Кемин в р.Чу, в 92 км юго-западнее Верного (41°41'с.ш., 75°54'в.д.), а сила составляла 7—8 баллов.

22 июля 1885 г. в 2 ч ночи в 240 км западнее Верного и

в 40 км от Бишкека произошло Беловодское землетрясение интенсивностью примерно 9—10 баллов. Сильнее всего были разрушены поселки Беловодское, Сукулук и Карабалты, где погибло около 50 местных жителей.

В конце июля 1885 г. наступило сейсмическое затишье, во время которого не происходило даже привычных для региона слабых толчков. Затишье продолжалось почти два года — до конца мая 1887 г. Природа готовилась к очередному удару.

И вот 28 мая (9 июня по новому стилю) 1887 г. в 4 ч 20 мин по местному времени жители Верного были разбужены подземным гулом и несильными сотрясениями (около 5 баллов), которым поначалу не придали большого значения — вышедшие на улицу вскоре вернулись домой. Но спустя 5 минут «раздался второй гул с такими сильными подземными толчками, что моментально начала сыпаться штукатурка, рушиться печи, стены и попадали потолки. Шум и грохот от разрушившегося города был слышен за сотню верст, а поднявшаяся пыль наполнила улицы города как бы туманом. В 50 минут пятого утра 28 мая города уже не существовало»*.

Эпицентр землетрясения** находился в 20 км к юго-западу от Верного, в бассейне р.Аксай. Сотрясения были зафиксированы в радиусе примерно 500—600 км в воображаемом четырехугольнике, образованном городами Аягоз, Урумчи, Кашгар и Ташкент. Сила землетрясения достигла 9—10 баллов по шкале MSK-64, гипоцентр располагался на глубине около 20 км, магнитуда составила 7.3. По-

* Газета «Туркестанские ведомости», №26 от 30 июня 1887 г.

** Координаты эпицентра Верненского землетрясения — 43°06'с.ш., 76°48'в.д. Сотрясения ощущались на площади примерно 40—47°с.ш. и 69—87°в.д.



Дом военного губернатора Семиреченской области после землетрясения 28 мая 1887 г. [5].



Здание в Верном, разрушенное землетрясением (1887). Уцелели только деревянные фрагменты дома [5].

сле основного толчка еще в течение двух лет ощущались более слабые — в сумме их было около 600.

По официальному сообщению от 6 августа 1887 г., в Верном и его окрестностях погибли 332 жителя, большая часть из которых — дети. Все каменные здания в городе (их насчитывалось 1938) были разрушены или непоправимо повреждены, а 839 деревянных домов остались пригодными для жилья.

Из недавно опубликованных архивных материалов нам известно, что в адрес пострадавших от землетрясения поступала финансовая помощь из разных ведомств и от частных лиц [5]. От семьи

императора 30 мая поступило 25000 руб., свое пожертвование из Смоленской губернии прислал и Н.М.Пржевальский. Всего было получено 421165 руб. — огромная сумма по тем временам. Неравнодушными друг к другу остались и сами пострадавшие от стихии — с риском для жизни они спасали из завалов своих сограждан. Множество таких случаев проявления героизма описаны в официальных источниках.

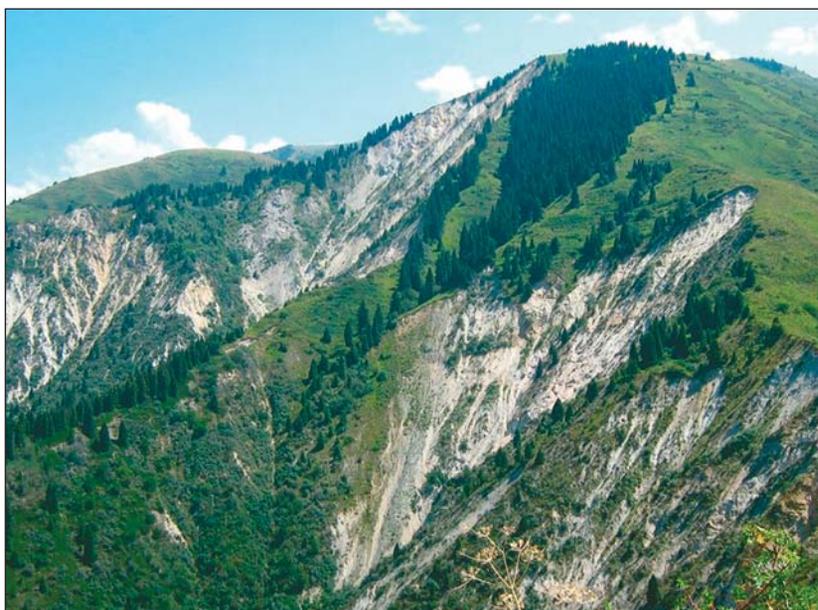
До нас дошли и рассказы очевидцев о различных природных явлениях, наблюдаемых во время землетрясения. Так, в районе почтовой станции Чолпон-Аты на северном берегу Иссык-Куля участок берега озера шириной 20—25 м осел на метр, при этом образовались трещины, их кото-

рых фонтаном била вода с песком. Из трещины исходил «тяжелый запах горючей серы» [5].

В эпицентре Верненского землетрясения произошел крупный обвал, названный Акжарским. Он образовал две обвальные сейсмогенные чаши: восточную (размером 650×650 м, на абсолютной высоте 1700—2100 м) и западную (размером 700×700 м, на абсолютной высоте 1850—1600 м). Линия срыва прошла по тектоническому разлому, вдоль которого простиралась зона дробления светло-серого гранитного массива. Именно эта раздробленная масса и была вовлечена в обвал. Она же определила и беловатую окраску получившихся обрывов. Поэтому урочище в горах теперь называется Акжар (от казахского «белый обрыв»).

Сорвавшаяся со склонов масса горных пород трансформировалась в сейсмогенный селевой поток, который устремился в долину Аксяя. Он врезался в речное русло почти под прямым углом. Влекомые потоком гранитные глыбы были выброшены на противоположный борт долины на высоту до 80 м. Сейсмогенные сели прошли и по многим другим ущельям Заилийского Алатау. Их следы были особенно хорошо выражены в долинах рек Бельбулак и Каскелен.

Объем Акжарского обвала составил 40 млн м³, общий объем всех обвалов и оползней на северном склоне Заилийского Алатау оценивается в 440 млн м³,



Акжарский обвал (<http://www.panoramio.com>).

при этом вес вовлеченного в них материала — около 1 млрд т [6].

После Верненского в Семиречье (юго-восток Казахстана и большая часть Киргизии) случились еще два крупных землетрясения. Десятибалльное Чиликское произошло 30 июня 1889 г. около 3 ч утра, его эпицентр находился в 190 км восточнее Верного (43°12'с.ш., 78°42'в.д.), в горах Торайгыр. Погибло несколько десятков человек. Кеминское случилось 22 декабря 1910 г. (1911 г. по новому стилю) в 4 ч 30 мин в 40 км южнее Верного (42°56'с.ш., 76°56'в.д.) в верховьях р.Чон-Кемин. Его интенсивность составила 10—11 баллов. В Верном погибло около 50 человек.

И.В.Мушкетов

Выяснением геологических причин Верненского землетрясения, его масштабов и последствий занимался выдающийся русский ученый, геолог и географ И.В.Мушкетов (1850—1902). На биографии этого человека стоит остановиться подробнее. Его научная деятельность была невероятно многогранной. Он положил начало в России таким новым для своего времени наукам, как геоморфология, гляциология, гидрогеология и в некоторой степени мерзлотоведение. Мушкетова, вместе с князем Б.Б.Голицыным (1862—1916), считают основателями отечественной сейсмологии.

Иван Васильевич Мушкетов родился 21 января 1850 г. в станции Алексеевской Области войска Донского в небогатой казачьей семье. Уже в детстве у мальчика возник интерес к геологии: он собирал коллекцию минералов и горных пород, за что среди сверстников получил прозвище «каменщик». В 14 лет он стал зарабатывать на жизнь, давая частные уроки [7].

Мушкетов окончил Новочеркасскую классическую гимназию. Через некоторое время он направился на учебу в Горный институт Санкт-Петербурга, где обучался на средства специального фонда войска Донского. Среди учителей Мушкетова были известные геологи А.П.Карпинский и Н.П.Барбот де Марни. Зоологию преподавал И.И.Мечников. Свою первую научную статью о горной породе вольтините* Мушкетов опубликовал в 22 года, еще будучи студентом.

В 1872 г. Мушкетов закончил учебу в институте, получил диплом горного инженера и сразу же отправился на Южный Урал. Здесь он исследовал месторождения золота и обнаружил ряд минералов, ранее не встречавшихся. Весной и в начале лета 1873 г. он продолжил начатые работы. Но этот год стал переломным в судьбе Мушкетова. Молодой ученый был откомандирован в Ташкент для проведения геологических изысканий в Тур-

кестане**. Этот отдаленный регион планировалось связать с центром России железной дорогой. Нужно было найти источник топлива для паровозов, поэтому одной из целей Мушкетова стала разведка каменноугольных месторождений.

Одновременно с прикладными работами Мушкетов начал фундаментальное изучение геологии Туркестана. Совместно с Г.Д.Романовским в 1885 г. он составил первую геологическую карту этого региона в масштабе 1:1 260 000 (30 верст в дюйме), которая вышла тиражом 510 экземпляров.

В 1886 г. Мушкетов опубликовал капитальную монографию «Туркестан» [8]. Первый том этой книги целиком посвящен детальному рассмотрению истории познания природы Центральной Азии с древнейших времен до конца XIX в. Упомянуты более 600 авторов различных публикаций по географии края. Столь обстоятельного разбора здесь не проводилось ни до Мушкетова, ни после него. Во втором томе содержатся материалы, собранные автором во время экспедиций 1874—1880 гг.

Мушкетов отправился в Верный сразу же после землетрясения, в начале лета 1887 г. Он возглавил экспедицию, целью которой стало изучение последствий катастрофы и ее воздействие на рельеф. На северном макросклоне Заилийского Алатау экспедиция выполнила обширные и всесторонние геологические и геоморфологические исследования между бассейнами рек Иссык (Есик) и Узынагаш. Значительную помощь ученым оказал местный проводник Атабан (у которого во время землетрясения под оползнями погибли 150 лошадей). Мушкетов с благодарностью вспоминает его как великолепного знатока гор в окрестностях Верного [6].

Итоги работы экспедиции стали первым в мире опытом высокопрофессионального изучения следов катастрофического землетрясения. Все материалы Мушкетов обобщил в монографии «Верненское землетрясение 28 мая (9 июня) 1887 г.» [6].

Здесь следует отметить, что в своей книге исследователь высказал ряд соображений, которые существенно повлияли на развитие геоморфологии и сейсмологии. Упомянем одно из них, которое актуально и в наше время. Мушкетов заметил, что обвальные или оползневые массы по прошествии некоторого времени ошибочно могут быть приняты за конечные морены ледников. Это обстоятельство может отразиться на выводах о развитии оледенения горного региона. И в наши дни известно много примеров таких ошибочных суждений об эволюции оледенения. Добавим, что часто древние неактивные каменные глетчеры тоже принимаются за ледниковые отложения (во времена Мушкетова исследования каменных глетчеров не проводились, да и сам термин еще не был

* Мушкетов И.В. Вольтинит // Записки Российского минералогического общества. 1872. Ч.7. Вып.1. С.320—329.

** К Туркестану в то время относили Среднюю Азию и почти весь Казахстан.



Участники экспедиции под руководством И.В.Мушкетова в долине р.Иссык [5].

известен). Это значит, что все образования, морфологически сходные с моренами (обвальные массы, крупные селевые выносы, каменные глетчеры) должны тщательно изучаться на предмет их генезиса.

Интересно также, что расположенные в Заилийском Алатау озера Иссыкское (Есик, Жасылколь) и Больше-Алматинское (Большое Алматинское, Жосалыколь) Мушкетов ошибочно назвал моренными. Эта неточность, возможно, связана с тем, что сам он не побывал на их естественных плотинах. Первое ученый осмотрел с перевала, а во время посещения второго неожиданно заболел и поручил исследование коллеге, горному инженеру И.В.Игнатьеву. Можно предположить, что личное изучение строения озерных плотин уже тогда привело бы Мушкетова к мысли об их обвальном и тектоническом происхождении, которое было установлено значительно позднее [3].

Сегодня книга Мушкетова о Верненском землетрясении — библиографическая редкость. Ее, несомненно, следует переиздать; она станет полез-

ной не только для специалистов, но и для всех интересующихся сейсмической историей Алма-Аты и ее окрестностей.

После землетрясения по предложению Мушкетова было проведено первое нивелирование местности через хребты Северного Тянь-Шаня от Верного до оз.Иссык-Куль. Вместе с топографом П.А.Рафаиловым он сам прошел по этой линии. Материалы нивелирования бесценны, они стали отправными для всех последующих геодезических работ. Используя эти данные, мы имеем возможность определять скорости тектонических перемещений земной поверхности на отдельных участках за последние 126 лет.

В соавторстве с А.П.Орловым в 1893 г. Мушкетов создал первый в России каталог землетрясений. Сейсмологические исследования Мушкетова на Северном Тянь-Шане продолжил известный геолог К.И.Богданович (1864—1947). Вместе с ним работал Д.И.Мушкетов* и ряд других ученых. Они обстоятельно изучали последствия Кеминского землетрясения (1910). Оно оказалось ощутимо мощнее Верненского, но при этом жертв и разрушений было значительно меньше: благодаря научным выводам И.В.Мушкетова в 1888 г. были приняты «Правила о возведении зданий, наиболее устойчивых от разрушительных действий землетрясения на основании науки и опыта», по которым с тех пор велось новое городское антисейсмическое строительство. ■

* Сын Мушкетова Дмитрий Иванович (1882—1938) стал крупным специалистом в области региональной геологии. Он был ректором Горного института, директором Института прикладной геофизики, председателем Геологического комитета в Санкт-Петербурге. Расстрелян как «враг народа» в годы сталинских репрессий.

Литература

1. Никонов А.А. Землетрясения. Прошлое, современность, прогноз. М., 2006.
2. Горбунов А.П., Северский Э.В. Сели окрестностей Алматы. Взгляд в прошлое. Алма-Ата, 2001.
3. Курские А.К., Белослюдов О.М., Жданович А.Р. и др. Сейсмическая опасность орогенов Казахстана. Алма-Ата, 2006.
4. Вершинин А. Землетрясения в г.Верном Семиреченской области // Записки Западно-Сибирского отдела РГО. 1889. Кн.10. С.1—23.
5. И вздрогнула земля... Из истории землетрясений в Семиречье 1885—1912 гг. Алма-Ата, 2011.
6. Мушкетов И.В. Верненское землетрясение 28 мая (9 июня) 1887 г. // Труды Геологического комитета. 1890. Т.10. №1.
7. Андреев Д.Л., Матвеев С.Н. Замечательные исследователи горной Средней Азии. М., 1946.
8. Мушкетов И.В. Туркестан: Геологическое и орографическое описание по данным, собранным во время путешествий с 1874 по 1880 г. Т.1. СПб., 1886; Т.2. СПб., 1906.

Как возникла наука о сне

И.М.Завалко

Институт медико-биологических проблем РАН

В.М.Ковальзон,

доктор биологических наук

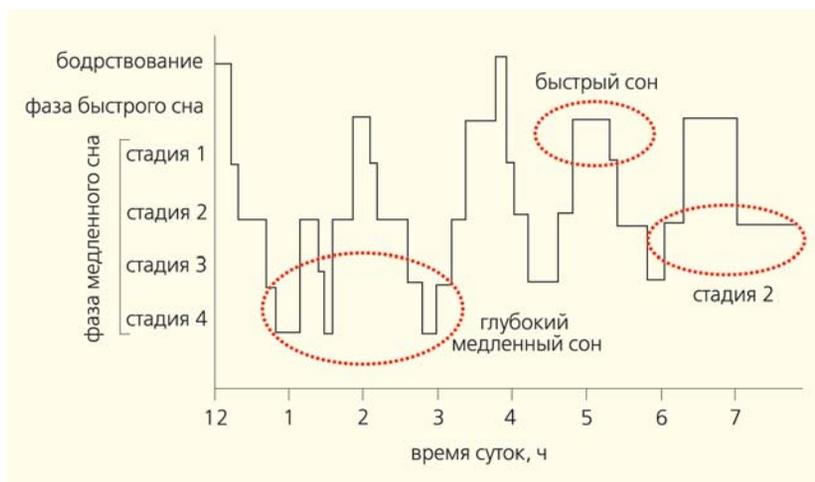
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН

Москва

Напомним: в 1939 г. А.Л.Лумис, Э.Н.Харви и Г.А.Хобарт предложили первую классификацию стадий сна, основанную лишь на одном показателе — электрической активности головного мозга (электроэнцефалограмме)*.

В последующем в каждой лаборатории сформировались свои (в большей или меньшей степени отличавшиеся друг от друга) представления о классификации стадий сна, что не позволяло сравнивать результаты разных научных групп. Необходимы были единые стандарты для классификации сна, его регистрации (полисомнографии) и расшифровки. В 1968 г. группа ведущих сомнологов мира работала «Руководство по стандартизированной терминологии и методам оценки для определения стадий сна у людей», включающее перечень необходимых для регистрации параметров и новую классификацию сна. Он был поделен на две фазы: быстрый (с быстрыми движениями глаз) и медленный (без них), в последнем выделили еще четыре стадии — от поверхностного до глубокого (дельта-сна). Сформулированные тогда принципы просуществовали до 2007 г., когда комиссия Американской академии медицины сна внесла несколько изменений. Они касались объединения третьей и четвертой стадий медленного сна, а также допол-

* Регистрация движений глаз и тонуса мышц, как и открытие парадоксального сна, возникли значительно позже. В электроэнцефалограмме рассматривались только стадии медленного сна: поверхностный сон, возникающий после расслабленного бодрствования, проявляющегося альфа-ритмом; появление так называемых «сонных веретен»; а также стадии, в которых преобладают медленные (дельта-) волны [1, 2].



Гипнограмма ночного сна здорового человека. В начале ночи больше длится глубокий сон (стадии 3 и 4), а ближе к пробуждению удлиняется фаза быстрого сна.

нения регистрируемых параметров, необходимых для диагностики различных нарушений сна: записей дыхания (дыхательного потока, дыхательного усилия), насыщения крови кислородом и движения ног [1, 2].

Появление единых стандартов значительно облегчило работу сомнологов, а изобретение электроэнцефалографии и создание полисомнографии как метода объективного изучения сна открыло путь для его диагностики и лечения нарушений.

Но в середине прошлого века врачи считали этот метод слишком трудным и дорогостоящим для широкого использования. Инсомнию (бессонницу) и гиперсомнию (избыточную дневную сонливость) неврологи и психиатры лечили, не прибегая к объективному исследованию сна. Хотя в 1970 г. В.Демент открыл в Стэнфордском университете (Калифорния, США) первый в мире Центр медицины сна, клиническая сомнология не приобрела тогда необходимого распространения** [1].

** В России до сих пор в официальных документах не прописаны ни врачи специалисты по сну, ни полисомнография как метод диагностики.

Лечение нарушений дыхания во сне

Толчком к внедрению полисомнографии и к появлению специальности «медицинская сомнология» на Западе стал частый у людей синдром остановок дыхания во сне (обструктивное апноэ), а также появление эффективного лечения этого заболевания.

Описания страдавших от этого недуга можно найти в трудах европейских врачей XIX в. Еще в 1816 г. В.Вадд упомянул избыточную дневную сонливость у тучных пациентов. Однако первое подробное клиническое наблюдение и описание остановок дыхания во сне принадлежит доктору В.Бродбенту. В 1877 г. он отметил, что ограниченное дыхательное потоком и остановки дыхания, сопровождающиеся храпом, наиболее выражены в положении на спине. Несколько ранее это состояние описал в своих произведениях Чарльз Диккенс*. Так, в «Посмертных записках Пиквикского клуба» (1837) толстый краснолицый слуга Джо засыпал в любых положениях и храпел. Впоследствии это патологическое состояние окрестили термином «пиквикский синдром». В 1898 г. В.Веллс первым связал развитие дневной сонливости с нарушением дыхания через нос, приводящем к беспокойному сну. Но сам термин «апноэ во сне» был введен лишь в 1975 г. командой К.Гийе-

* Диккенс весьма интересовался различными неврологическими нарушениями и оставил несколько блестящих по точности и меткости их описаний.



Слуга Джо, страдающий «пиквикским синдромом». Иллюстрация к «Посмертным запискам Пиквикского клуба» Чарльза Диккенса.

мино, французского ученого и врача, переехавшего работать в Калифорнию [1, 2].

В современной литературе впервые остановку дыхания при пиквикском синдроме описали в 1965 г. независимо друг от друга врачи из Франции (А.Гасто, К.Тассинари и Б.Дюрон) и Германии (Р.Юнг и В.Кюхло). Во время сна расслабление мускулатуры глотки и мягкого нёба и отсутствие произвольного контроля головного мозга за дыханием делают человека более уязвимым. Наличие предрасположенности (т.е. узость глотки как особенность строения челюстно-лицевого аппарата или отложения в ее стенках жира) приводит к сужению дыхательных путей и повышенной податливости мягких тканей глотки. В результате ее стенки спадают, просвет верхних дыхательных путей перекрывается, и легочная вентиляция прекращается более чем на 10 с.

Серия работ К.Тассинари с итальянскими медиками Э.Лугарези и Дж.Коканья, выполненная в начале 1970-х годов, дала представление о нарушениях дыхания и работы сердца при апноэ во сне, а также подтвердила диагностическую значимость храпа и повышенной дневной сонливости в выявлении этого синдрома. Эти физиологи организовали в 1972 г. первый симпозиум по проблемам дневной сонливости и нарушения дыхания. Крупнейший в Европе специалист по медицине сна Лугарези одним из первых предложил включить регистрацию дыхания и движений ног в клиническую полисомнографию. В 1974 г. американский врач-сомнолог М.Кригер описал изменения проходимости верхних дыхательных путей в зависимости от положения тела, а также выраженные сердечные аритмии у больных с апноэ: замедление ритма сердечных сокращений (до полной остановки) и их полное исчезновение на фоне лечения (трахеостомии) [1, 2].

Оказалось, что за неприятным храпом (его ошибочно называли богатырским и в народе издавна считали признаком доброго здоровья) может крыться более опасная ситуация. Храп служит грозным предупреждением о неизбежных в недалеком будущем для данного человека (еще молодого и полного сил) катастрофических последствиях апноэ во сне, приводящих к целому ряду патологических изменений. Вначале — «тяжелая голова» и дурное самочувствие по утрам, повышение артериального давления, дневная сонливость, нарушения памяти и сообразительности в течение рабочего дня, ожирение, диабет, ослабление потенции у мужчин и т.д., а в завершение — инфаркты и инсульты [3].

Заподозрить этого «медленного» убийцу можно по прерывистому интенсивному храпу: человек громко храпит, потом замолкает на десятки секунд — минуту, а потом снова резко всхрапывает. Другой частый (но встречающийся не у всех людей с апноэ во сне) симптом — выраженная дневная сонливость вплоть до засыпания в совершенно не-

подходящей ситуации — за рулем автомобиля, во время разговора и т.д. [4]. Возможно и сочетание храпа с частым ночным мочеиспусканием или сильной ночной потливостью. Выглядят пациенты так, как их описал Диккенс, т.е. это полные люди (чаще мужчины), с короткой толстой шеей; но иногда и худые с особым строением челюсти (чаще всего маленькой нижней).

Если у человека есть подобные симптомы, ему важно вовремя обратиться к специалисту для диагностики и лечения этого недуга, а не ждать, когда последствия в виде целого букета сердечно-сосудистых заболеваний и снижения качества жизни появятся или усугубятся. Для постановки диагноза необходима полисомнография с регистрацией параметров дыхания, но в некоторых случаях может быть достаточно ночной регистрации дыхательного потока, дыхательного усилия и насыщения крови кислородом [3].

Человеку, страдающему пиквикским синдромом, категорически противопоказаны алкоголь (особенно вечером), а также любые успокоительные и снотворные лекарства, а симптоматические средства для снижения артериального давления и нормализации обмена обычно малоэффективны. Не помогают также и различного рода спреи, таблетки и пластыри, якобы лечащие храп, и даже выжигание лазером избыточных мягких тканей в глотке (увулопалатопластика). Первым эффективным подходом к лечению таких больных оказалась трахеостомия — плохо переносимый, неудобный и грозящий осложнениями хирургический метод [1, 2].

Революцией в лечении пиквикского синдрома стало создание К.Салливаном в 1981 г. метода назальной СИПАП-терапии (от англ. CPAP — Continuous Positive Airway Pressure) — вентиляции легких постоянным положительным давлением воздуха. Этот высокоэффективный инструментальный метод лечения апноэ во сне в дальнейшем усовершенствовали Д.Раппорт и М.Сандерс. Современный СИПАП-прибор представляет собой небольшой дыхательный аппарат, нагнетающий под постоянным давлением комнатный воздух через нос в дыха-

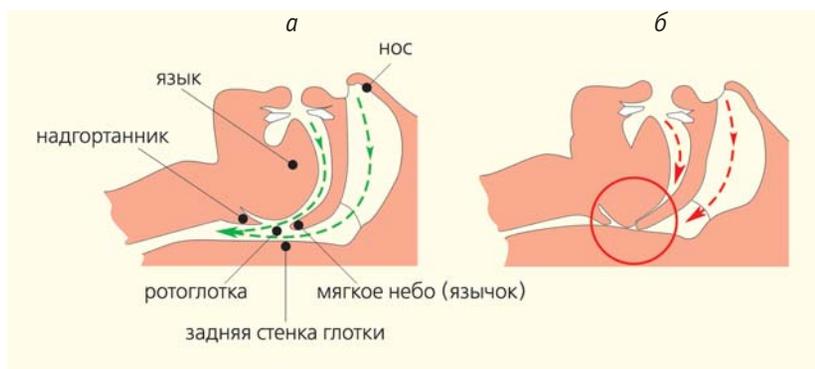


Схема возникновения храпа (а) и апноэ (б). При здоровом дыхании воздух свободно проходит через все пути. Чем они уже, тем сильнее вибрируют язычок и стенки глотки — возникает храп. Если стенки глотки и нёба «схлопываются», воздух не проходит, дыхание прерывается — возникает апноэ.

тельные пути, что препятствует их спадению. Режим работы прибора врач-специалист подбирает индивидуально для каждого больного. Самые простые модификации прибора создают постоянный уровень давления всю ночь, более сложные увеличивают давление на вдохе и снижают на выдохе. При правильном подборе аппарата и маски СИПАП-терапия — безвредный и потрясающе эффективный метод, полностью устраняющий остановки дыхания во сне и значительно улучшающий самочувствие пациента уже при первом применении! Больной должен каждую ночь спать с этим прибором дома в течение длительного времени (чаще всего всю жизнь). Однако при снижении избыточного веса (основы развития апноэ) степень нарушения дыхания во сне может уменьшиться или даже исчезнуть. Тогда можно снизить



Лечение апноэ во сне с использованием СИПАП-прибора — дыхательного аппарата, нагнетающего под постоянным давлением комнатный воздух в дыхательные пути через нос, что препятствует их «схлопыванию».

лечебное давление или даже полностью отказаться от СИПАП-терапии.

В целом ряде последующих работ применение этой терапии среди больных апноэ показало резкое снижение риска развития сердечно-сосудистых осложнений и смертности. Это вызвало признание клинической сомнологии и усилившийся приток финансирования от страховых фирм, позволивший изучать другие нарушения сна, создавать новые методы их диагностики и лечения. В 1990 г. была принята первая Международная классификация нарушений сна: все их поделили на диссомнии, парасомнии и вторичные нарушения. Однако уже в 2005 г. эту классификацию доработали и расширили, и в ней выделили инсомнии; расстройства сна, связанные с нарушением дыхания; гиперсомнии, не связанные с ним; нарушения циркадианных ритмов; двигательные нарушения во сне и др. [1, 2].

СИПАП-терапия — крупнейшее достижение клинической медицины сна за все время ее существования, несомненно, заслуживающее Нобелевской премии. Широкая диагностика апноэ с помощью этой терапии дает большие надежды на значительное снижение частоты сердечно-сосудистых заболеваний и смертности от них.

Хронобиология и двухкомпонентная модель регуляции сна

Говоря о сомнологии, нельзя не упомянуть об истории другой близкой области знаний — хронобиологии, изучающей суточные, или циркадианные, ритмы. Впервые их описал у растений в 1729 г. французский натурфилософ д'Орту де Мейран: он наблюдал, как мимоза поднимает листья утром и опускает к вечеру, даже если к ней не поступает солнечный свет.

Спустя два века К.Рихтер, изучая на крысах ритмы «покой—активность», показал, что они остаются стабильными при изменении температуры окружающего воздуха, воздействии голода, жажды и различных видов стресса, при удалении эндокринных желез и т.д. Нарушить ритмы «покой—активность» ему удалось только при удалении обширной области промежуточного мозга [5].

Исследовать циркадианные ритмы на людях начали Н.Клейтман со своим учеником Б.Ричардсоном в 1938 г. В Мамонтовой пещере в Скалистых горах (в изоляции от внешних стимулов) они пытались продлить свои сутки до 28 ч: Ричардсону удалось достигнуть этого, а Клейтману — нет.

Проведение первых экспериментов по изучению стабильности циркадианных ритмов в условиях изоляции было связано с развитием космонавтики. При разработке концепции полета человека на Луну и к другим планетам встал вопрос: что станет с ритмом сна—бодрствования вне земных суток? Известный хронобиолог из ФРГ Ю.Ашофф

изолировал молодых здоровых испытуемых—добровольцев от воздействий, способных подсказать время суток, и регистрировал двигательную активность, температуру тела, содержание гормонов в крови и моче. В этих экспериментах внутренние «часы» испытуемых продолжали отсчитывать ритм, близкий к 24 ч, даже в отсутствие так называемых цайтгеберов (от нем. *Zeitgeber* — устройство, задающее ритм, т.е. ритмоводитель).

В 1950-х годах английский физиолог М.Лоббан впервые описала десинхроноз в экспериментах по «продлению» и «укорочению» суток в условиях полярного дня. У участников эксперимента ритм сон—бодрствование поменялся с 24-часового на 27- и 21-часовой соответственно, но другие биологические ритмы (концентрация калия в крови и температура тела) продолжали колебаться с периодичностью, близкой к 24-часовой.

В 1972 г., через полвека после работ Рихтера, Р.Мур, а также Ф.Стефан и Ф.Цукер экспериментально подтвердили его гипотезу, показав участие небольшой области промежуточного мозга (супрахиазмальных ядер, СХЯ) в регуляции циркадианных ритмов. Мур обнаружил, что при разрушении этих ядер меняется суточный ритм выделения кортизола, а Стефан и Цукер выявили хаотичность ритмов покой—активность и потребления воды. В дальнейшем у крыс с разрушенными СХЯ выявили полное исчезновение и всех прочих суточных ритмов, но никакие другие нарушения в головном мозге экспериментальных животных не изменяли циркадианные ритмы, что подтверждало опыты Рихтера.

Затем было установлено, что нейроны супрахиазмальных ядер сами ритмически разряжаются. В последующем японские исследователи Шиничи Иноэ и Хироши Кавамура обнаружили, что циркадианный ритм в нейронах супрахиазмальных ядер сохраняется *in vitro* (в чашке Петри, куда помещена эта ткань, извлеченная из мозга) и *in vivo* — при изоляции ядер на гипоталамическом островке [3, 5].

Наличие супрахиазмальных ядер — необходимое и достаточное условие для управления циркадианной ритмикой. Доказательство было получено путем пересадки этих клеток от крыс-доноров, живущих в режиме «12 часов свет/12 часов темнота», в третий желудочек головного мозга крыс-реципиентов (с предварительно разрушенными собственными СХЯ), живущих в противофазном режиме («12 часов темнота/12 часов свет»). Крысы-реципиенты переходили на суточный режим доноров! Такие опыты с небольшими модификациями, неоднократно проводившиеся на разных видах грызунов, дали те же результаты [7—9].

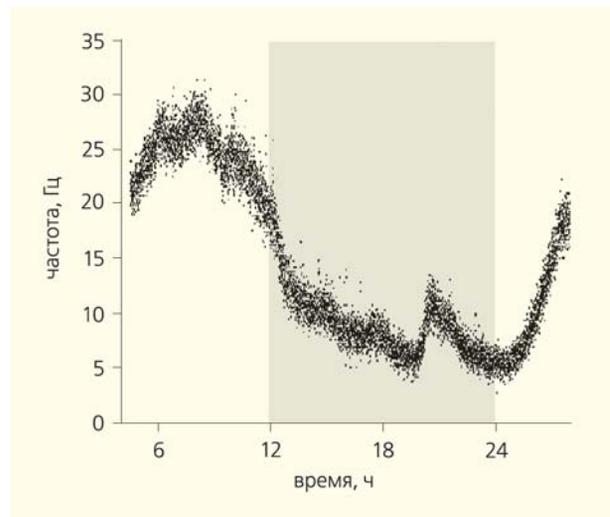
В 1971 г. Р.Конопка и С.Бензер в опытах на дрозофиле открыли ген *per* (period), отвечающий за продолжительность субъективных «суток» насекомого. В середине 1980-х годов соответствующий ген, гомолог *per*, обнаружили у мы-

ши. В 1997 г. крупнейший американский нейробиолог и генетик Дж.Такахаша с сотрудниками выявили в геноме млекопитающих еще один важнейший ген — *clock*. В последующие несколько лет у млекопитающих нашли еще несколько генов (*tim*, *bmal* и др.), участвующих в регуляции циркадианных ритмов, и описали вероятный механизм их работы. Эти гены присутствуют, естественно, в ядрах всех клеток организма, но активны они только в нейронах супрахиазмальных ядер [7, 10].

В течение нескольких лет большие группы лабораторий США и Европы полностью раскрыли внутриклеточную петлю обратной связи, лежащую в основе механизма «молекулярных часов». Оказалось, что для ритмической активности супрахиазмальных ядер не нужна нейронная сеть: каждый нейрон служит самостоятельным генетически запрограммированным осциллятором, периодичность «хода» которого определяется скоростью определенных биохимических реакций в клетке. Сущность этой молекулярной машины заключается в синтезе белков, которые с определенной периодичностью подавляют собственный синтез, распадаются и вновь синтезируются.

В 1991 г. британский нейробиолог Р.Фостер с сотрудниками выделили особую группу клеток сетчатки — светочувствительных (ганглиозных, возбуждаемых светом), но не имеющих отношения к палочкам и колбочкам, обеспечивающим зрение. Ганглиозные клетки содержат специальный фотопигмент меланопсин и посылают свои длинные отростки от сетчатки до зрительного перекреста (хиазмы) в составе зрительного нерва. Затем эти отростки отделяются от него, проецируются на нейроны супрахиазмальных ядер и возбуждают в них каскады биохимических процессов. СХЯ посылают свои отростки к близлежащему скоплению гипоталамических нервных клеток, которое, в свою очередь, проецируется на нейроны шейного отдела спинного мозга. Их волокна направляются обратно и через отверстия в черепе достигают шишковидной железы — эпифиза, расположенного в геометрическом центре головного мозга человека. Ночью, в темноте, когда большинство нейронов СХЯ «молчит», нервные окончания этих волокон выделяют норадреналин, побуждающий к синтезу в эпифизе мелатонина, тормозящего нейроны супрахиазмальных ядер [11].

Обычно цикл биохимических реакций в нейронах супрахиазмальных ядер не укладывается точно в 24 ч и у большинства людей составляет примерно 25 ч. Молекулярные часы организма «подгоняются» к местному световому циклу. Активация определенных часовых генов (*per* и др.), вызванная светом, и последующий синтез *de novo* соответствующих белков надолго подавляет активность других часовых генов (*clock* и др.) белковыми комплексами [7, 10]. В конце 1990-х годов обнаружили, что множество других посттрансля-



Частота суммарных разрядов нейронов супрахиазмальных ядер (СХЯ) *in vitro*: заметен четкий циркадианный ритм с пиком во время биологического дня и минимумом — ночью. Этот ритм был выработан в ходе чередования светлого и темного времени суток в камере у крыс в период, предшествующий извлечению ткани СХЯ из мозга [6].

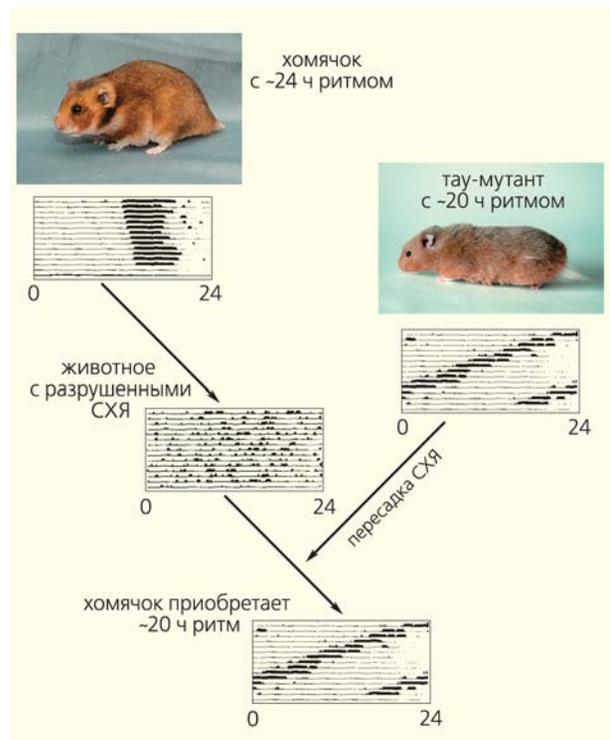
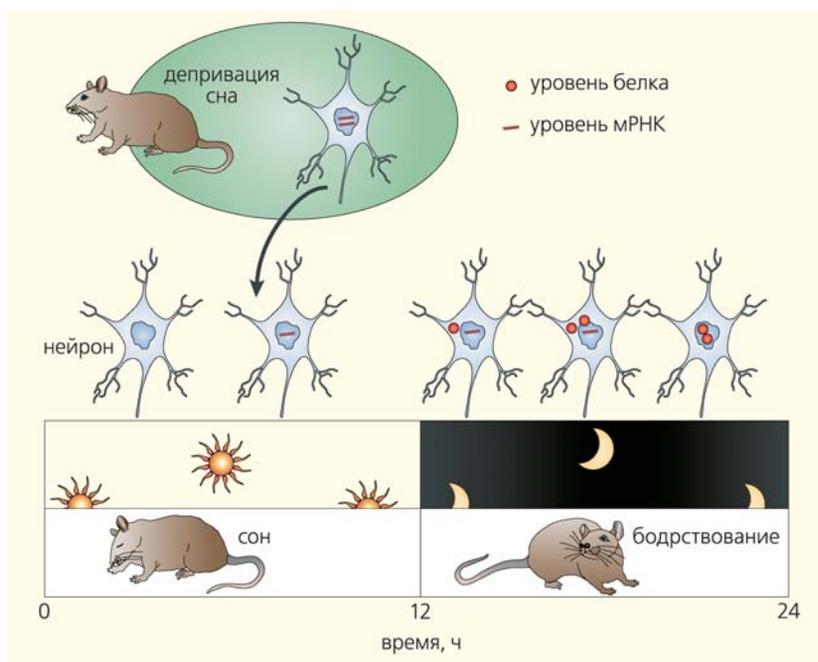


Схема эксперимента, в результате которого было доказано, что для управления циркадианным ритмом необходимы супрахиазмальные ядра (СХЯ). Разрушение у золотистых хомячков с 24-часовым ритмом двигательной активности собственных СХЯ приводит к исчезновению суточного ритма. Перенос в их мозг ткани, содержащей СХЯ тау-мутанта с примерно 20-часовым ритмом, приводит к тому, что реципиент приобретает ритм донора.



Экспрессия мРНК гена *per* и синтез соответствующего белка в суточном цикле «активность-покой» и в ответ на депривацию сна. Уровень мРНК гена *per* нарастает в ходе светлого периода суток, в то время как уровень соответствующего белка достигает пика ночью, когда белок *Per* поступает в ядро и блокирует свою собственную экспрессию. Эти циркадианные изменения одинаковы как у дневных (как, например, плодовые мушки-дрозофилы, спящие ночью), так и ночных (как крысы, спящие главным образом днем) животных. Если крыс заставлять бодрствовать в течение дня, то уровень мРНК *per* в коре мозга у них возрастает. Однако ни у мух, ни у млекопитающих лишение сна не влияет на работу циркадианных биологических часов, то есть депривация не приводит к фазовому сдвигу циркадных ритмов [12].

ционных событий (связанных с часовыми белками, но не с их синтезом) в супрахиазмальных ядрах важны для генерации суточных колебаний в работе часовых генов. Как уже отмечалось, циркадианный ритмоводитель может отмерять время только приблизительно, ему необходима ежедневная фазовая подгонка для синхронизации с геофизическим (астрономическим) временем. Многие проблемы со сном обусловлены невозможностью правильно «выставить» циркадианные часы в соответствии с суточным чередованием дня и ночи. Более того, нарушения сна (например, синдром смены часового пояса, называемый *jet lag*), вызванные трансмеридиональными перелетами или сменной работой, также связаны с синхронизацией циркадианных часов организма [8].

Существуют и индивидуальные особенности циркадианных ритмов: некоторые люди — «жаворонки» — лучше работают утром, предпочитают рано ложиться и рано вставать, а «совы», напротив, наиболее активны вечером, подолгу засиживаются за работой, книгой или компьютером и с трудом встают по утрам. Однако в ряде случаев внутрен-

ние часы настолько расходятся с астрономическим временем, что это становится болезнью, в основе которой могут лежать генетические причины; в качестве примера можно привести синдром FASPS (familial advanced sleep phase syndrome — семейный синдром преждевременной фазы сна). Таких людей называют «очень ранними жаворонками»: продолжительность их сна нормальна, но они ложатся спать уже в полвосьмого вечера, а просыпаются в полпятого утра! Синдром FASPS связан с определенной «точечной» мутацией в геноме человека. В начале 2000-х годов выяснилось, что некоторые «совы» тоже мутанты; была найдена положительная связь между так называемым синдромом фазовой задержки сна (или отставленной фазы сна — *delayed sleep phase syndrome*, *DSPS*) и определенными генами [13]. При нарушении работы биологических часов разобщаются связи либо между местными осцилляторами в разных тканях, либо между центральным осциллятором (СХЯ гипоталамуса) и остальным организмом. Эти нарушения лежат в основе дальнейшего сбоя нейроэндокринных ритмов и поведения,

что проявляется и у здоровых людей, но особенно характерно для психиатрических и неврологических больных [14].

Таким образом, развиваясь в значительной степени независимо от сомнологии, в последние 30 лет хронобиология грандиозно прогрессировала, полностью изменив все представления человека о характере и организации его внутренней ритмики. Эти достижения хронобиологии не менее (а может быть, и более) значительны, чем достижения самой сомнологии за тот же период. Приятно отметить, что весомый вклад в этот прогресс внесли наши сибирские хронобиологи — М.Ф.Борисенков, К.В.Даниленко, А.А.Путилов, В.И.Хаснулин и др. [8].

Исследования, выполненные уже в наше время в лаборатории К.Сейпера (США), а также в ряде других лабораторий, показали, что СХЯ — важная составляющая высшего гипоталамического регуляторного центра [15]. Он преобразует циркадианные сигналы в биологические ритмы: активности—покоя, сна—бодрствования, еды и питья, секреции мелатонина и кортикостероидов, температуры тела и др. При этом гипоталамус получает три им-

пульса от разных отделов головного мозга, влияющих на формирование циркадианной ритмики и сходящихся на его дорзомедиальном ядре:

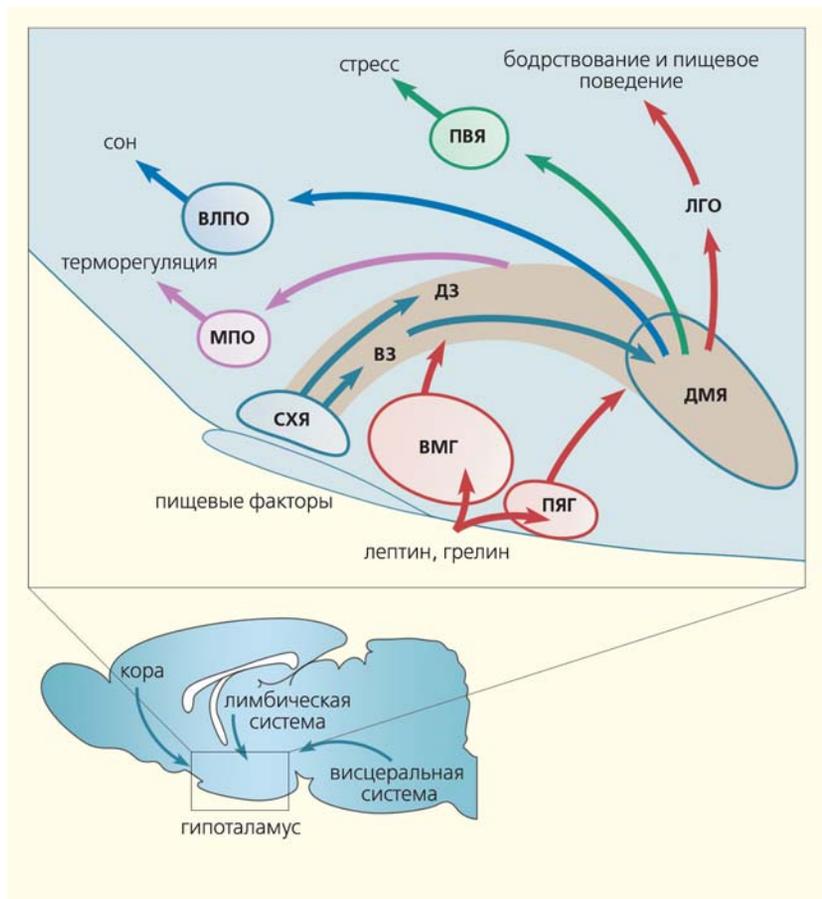
— когнитивный приток от коры больших полушарий, связанный с общей регуляцией поведения;

— эмоциональный импульс от лимбических структур головного мозга;

— висцеральный, исходящий от внутренних органов и передающийся через посредство особых мозговых структур.

Усиленные циркадиантные сигналы передаются от СХЯ к главному элементу регуляторного центра — крошечному дорзомедиальному ядру гипоталамуса. Оно также получает информацию и о содержании в крови гормонов — лептина («фактора насыщения», выделяемого жировой тканью) и грелина («фактора голода», выделяемого слизистой желудка). В нейронах этого ядра, видимо, суммируются все импульсы и вырабатываются управляющие (активирующие и тормозные) сигналы, которые направляются по трем главным адресам. Тормозные следуют в гипоталамический «центр сна» (так осуществляется приурочивание сна к определенному времени суток); одни активирующие воздействия идут к нейронам, которые управляют выбросом гормонов стресса, а другие — к орексиновой системе мозга и регулируют ритмы бодрствования, быстрого сна и, возможно, потребления пищи [16].

В 1979 г. в исследованиях по депривации сна группа Т.Окерштедта выяснила, что утром даже при трехсуточной изоляции от всех указателей времени (солнечного света, часов и т.д.) сохраняется период, в котором субъективное утомление минимально. А масштабные эксперименты известного израильского сомнолога П.Лави выявили, что в течение суток и в обычных условиях, и при лишения сна существуют периоды, когда человеку легче заснуть и труднее поддерживать бодрствование, и наоборот — когда заснуть практически невозможно. В те же годы группа знаменитого швейцарского сомнолога А.Борбели изучала связи циркадиантных ритмов с регуляцией медленного и быстрого сна. В 1983 г. они сообщили, что у «аритмичных» (с разрушенными СХЯ) крыс, как



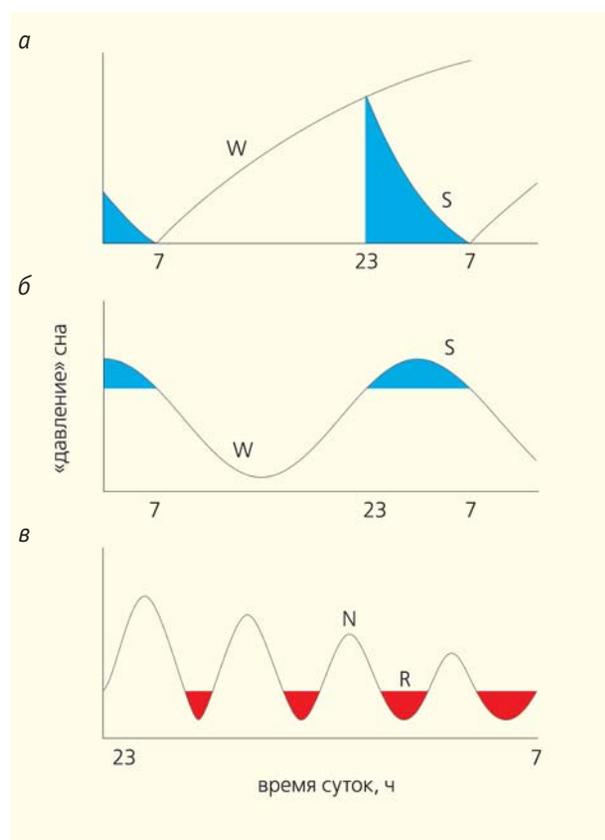
Высший командный центр в гипоталамусе мозга. Группа ядер — полукружное (ПЯГ), супрахиазмальное (СХЯ), паравентрикулярное (ПВЯ), а также латеральная гипоталамическая (ЛГО), медиальная (МПО) и вентролатеральная (ВЛПО) преоптические области, субпаравентрикулярные дорзальная (ДЗ) и вентральная (ВЗ) зоны — все они тесно взаимодействуют между собой. Однако вся информация интегрируется в дорзомедиальном ядре гипоталамуса (ДМЯ). Из него посылаются сигналы, реализующие поведение. Пищевые факторы стимулируют выделение гормонов лептина и грелина, которые опосредовано также влияют на дорзомедиальное ядро [15].

и у обычных животных, в ответ на депривацию сна дельта-сон и быстрый сон увеличивается. Так был сделан вывод, что циркадиантные ритмы и сон управляются различными механизмами [3, 5].

Чуть ранее, в 1982 г., на основе этих данных Борбели сформулировал свою теорию двухкомпонентной регуляции сна, на которую опирается большинство современных работ. Согласно этой модели, в регуляции сна сочетается воздействие длительности предшествующего бодрствования (экспоненциально нарастающий фактор S) и циркадиантных ритмов (синусоидальный фактор C). Первый (S) — гомеостатический, монотонный процесс, связанный с постепенным плавным нарастанием сонливости в ходе бодрствования. Его можно измерить по так называемому дельта-индексу электроэнцефалограммы: он минимален в момент пробуждения, экспоненциально увели-

чивается во время бодрствования и приближается к максимуму непосредственно перед засыпанием, во время которого дельта-индекс постепенно снижается. Фактор S можно сравнить с песочными часами, которые переворачиваются два раза в сутки. Наличие этого фактора не вызывает сомнений, поскольку подтверждено многими экспериментами на животных и исследованиями на людях. Однако что лежит в его основе, пока неясно [3, 5, 8, 10].

В 2007 г. швейцарские и американские исследователи в молекулярно-генетических опытах на мышах показали, что генерация процесса S , возможно, связана с активностью нескольких генов мозга: они кодируют белки, защищающие нейроны от повреждающего действия глутамата, который накапливается в ходе продолжительного бодрствования.



Гомеостаз сна (модель Борбели). Три основных процесса, вовлеченных в регуляцию сна. Длительность и интенсивность сна поддерживается гомеостатической (а) составляющей (W — бодрствование, S — сон; периоды сна отмечены синим), циркадианный (б) ритм определяет периоды нарастания «давления» сна, а ультрадианные (в) механизмы лежат в основе циклического чередования медленной (N) и быстрой (R , отмечено красным) фаз в ходе ночного сна. При этом от цикла к циклу продолжительность и интенсивность медленной фазы постепенно снижается, а быстрой — возрастает [17].

Фактор S (циркадианный) — немонотонный, ритмический (его можно сравнить с часами, стрелки которых совершают полный оборот за 24 ч), и измерить его легче всего по уровню двигательной активности подопытных животных. В основе этого процесса лежит работа биологических часов организма (СХЯ и мелатонина эпифиза). Согласно модели, состояние организма в каждый момент времени суток определяется алгебраической суммой циркадианного и гомеостатического компонентов. Сон начинается, когда эта сумма (или разность) достигает некоего порога, и прекращается, когда она уменьшается до нуля [3, 5, 8, 10].

Модель Борбели неоднократно усовершенствовали различные авторы; в частности, для описания кратковременного дневного сна человека был добавлен третий фактор, инерция сна. Эта модель, основные положения которой со временем полностью подтвердились, позволяет правильно рассчитать «давление» сна не только качественно, но и количественно в условиях депривации, при ряде заболеваний и т.д. Так, у здоровых людей в ходе депривации сна непереносимая сонливость должна чередоваться с периодами относительной ремиссии (когда «давление» сна почти не чувствуется), которые могут быть предсказаны по синусоиде процесса S , что и подтверждено исследованиями. Значит, модель Борбели можно признать одним из крупнейших достижений мировой сомнологии в XX в.

Успехи российской сомнологии

В первой части статьи уже говорилось о блестящем начале российской и советской сомнологии в конце XIX и первой половине XX в. Хотя «Павловская сессия» в 1950 г. нанесла сильный удар по науке о сне, ее воссоздание началось уже в середине 1960-х — начале 1970-х годов [18]. Центрами изучения сна стали Москва, Ленинград, Ростов-на-Дону и Тбилиси. В Москве крупный невролог и организатор медицины Н.И.Гращенко создал в составе «большой» Академии наук лабораторию по изучению нервных и гуморальных регуляций (позже ей присвоили его имя). Ведущую роль в возрождении сомнологии сыграли его ученики и сотрудники — А.М.Вейн и Л.П.Латаш. Именно в этой лаборатории в 1968 г. молодые медики Н.Н.Яхно, В.С.Ротенберг и Л.И.Сумской впервые в СССР провели непрерывную ночную полисомнографию здоровых людей и неврологических больных. Затем сотрудники Вейна и Латаша стали изучать нарушения сна при различных видах неврологической патологии — нарколепсии (как тогда называли все заболевания, сопровождающиеся избыточной дневной сонливостью), инсомнии (бессоннице), периодической спячке, сосудистых поражениях и опухолях мозга, диэнцефальном синдроме и пр.

Так в нашей стране возникла медицина сна — клиническая сомнология. Ее центр после закрытия лаборатории им. Гращенкова в 1973 г. переместился в лабораторию Вейна в Первый московский медицинский институт им. И.М.Сеченова, а центр экспериментальной сомнологии сформировался в Тбилиси, в Институте физиологии АН Грузинской ССР, в лаборатории Т.Н.Ониани. Крупнейшей научной заслугой послевоенной отечественной сомнологии стало открытие в начале 1970-х годов группой ученых из Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А.Н.Северцова АН СССР (ныне Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН) под руководством Л.М.Мухаметова однополушарного сна у дельфинов [19]. В настоящее время в нашей стране фундаментальной сомнологией занимаются несколько лабораторий в Москве, Санкт-Петербурге и Ростове-на-Дону. Существуют уже несколько десятков центров по нарушениям сна в различных городах, созданы несколько профессиональных обществ по сомнологии и клинической медицине сна. Несмотря

на все трудности фундаментальная и клиническая сомнология в нашей стране продолжают развиваться.

Таким образом, сформированные в середине XX в. стандартизованные методы объективного изучения сна позволили сомнологии стать одной из самых быстро развивающихся областей. Без понимания истории, этапов и принципов ее становления, а также основ сформулированных ранее теорий невозможно развивать эту исключительно важную область знаний. Она хранит еще множество тайн: даже если в какой-то момент кажется, что мы уже все знаем о физиологических механизмах бодрствования и сна, через несколько лет стоит ждать нового открытия, которое перевернет существующие представления. На рубеже XX и XXI вв. таким открытием, например, стало обнаружение орексин-гипокретиновой системы. Исследователям и клиницистам, разумеется, необходимо следить за последними открытиями, при этом нельзя забывать, откуда появились предпосылки современных работ, чтобы верно интерпретировать полученные результаты. ■

Литература

1. *Dement W.C.* History of Sleep Physiology and Medicine // Principles and Practice of Sleep Medicine / Eds M.Kryger, T.Ross, W.Dement. Philadelphia, 2011. P.3—16.
2. *Kryger M.H.* History of sleep medicine and physiology // Kryger M.H. Atlas of clinical sleep medicine. 2nd eds. Philadelphia, 2013. P.8—19.
3. *Шпорк П.* Сон. Почему мы спим и как нам это лучше всего удастся / Пер. с нем. под ред. и с предисловием В.М.Ковальзона. М., 2010.
4. *Дорохов В.Б.* Сомнология и безопасность профессиональной деятельности // Журн. высш. нервн. деятельности. 2013. Т.63. №1. С.33—47.
5. *Борбели А.* Тайна сна / Пер. В.М.Ковальзона. М., 1989.
6. *Meijer J.H., Schaap J., Watanabe K., Albus H.* Multiunit activity recordings in the suprachiasmatic nuclei: *in vivo* versus *in vitro* models. Brain Res. 1997. V.753. P.322—327.
7. *Ковальзон В.М.* Основы сомнологии. Физиология и нейрохимия цикла бодрствование—сон. М., 2011.
8. *Путилов А.А.* Совы, жаворонки и другие люди. О влиянии наших внутренних часов на здоровье и характер. Новосибирск, 2003.
9. *Ralph M.R., Lehman M.N.* Transplantation: a new tool in the analysis of the mammalian hypothalamic circadian pacemaker. Trends Neurosci. 1991. V.14. P.362—366.
10. *Ковальзон В.М., Дорохов В.Б.* По поводу нового исчисления времени // Природа. 2012. №7. С.65, 66.
11. *Ковальзон В.М.* Мелатонин — без чудес // Природа. 2004. №2. С.12—19.
12. *Cirelli C.* The genetic and molecular regulation of sleep: from fruit flies to humans // Nat. Rev. Neurosci. 2009. V.10. №8. P.549—560.
13. *Ковальзон В.М.* Генетика сна // Рос. физиол. журн. им.И.М.Сеченова. 2011. Т.97. №4. С.412—421.
14. *Ковальзон В.М., Дорохов В.Б.* Цикл бодрствование—сон и биоритмы человека при различных режимах чередования светлого и темного периода суток // Здоровье и образование в XXI веке. 2013. Т.15. №1—4. С.151—162.
15. *Saper C.B., Scammell T.E., Lu J.* Hypothalamic regulation of sleep and circadian rhythms // Nature. 2005. V.437. P.1257—1263.
16. *Ковальзон В.М.* Раскрыта природа нарколепсии // Природа. 2005. №11. С.3—9.
17. *Achermann P., Borbely A.A.* Mathematical models of sleep regulation // Frontiers in Bioscience. 2003. V.8. P.683—693.
18. *Ковальзон В.М.* О положении в российской сомнологии // Природа. 2001. №10. С.3—6.
19. *Ковальзон В.М.* Сон у дельфинов // Природа. 1982. №6. С.111, 112.

Мамонтовый крот с Колымы

Д.И.Берман,

доктор биологических наук

Институт биологических проблем Севера ДВО РАН

Магадан

П.А.Никольский,

кандидат геолого-минералогических наук

Геологический институт РАН

Москва

Апрельский факкультатив

Северо-восток Якутии, как и некоторые другие области распространения вечной мерзлоты, известен удивительными находками костей и даже целых туш ископаемых животных возрастом от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч лет. Здесь по берегам рек и морей каждый год вытаивают остатки крупных травоядных (мамонтов, бизонов, лошадей, северных оленей, овцебыков, шерстистых носорогов); много реже — их непременных спутников, хищников (пещерных львов, медведей, волков, росомх, песцов, лис), а также мелких млекопитающих (зайцев, леммингов, полевок, сусликов и землероек). Иногда кости животных мамонтовой фауны встречаются в виде огромных скоплений — кладбищ.

Чьих костей никогда тут не находили, так это ежей и кротов. И сейчас ареалы этих зверьков, за редким исключением, не доходят до области распространения вечной мерзлоты. Здесь в подстилке и вблизи поверхности почвы никогда не бывает в достаточном количестве мелких животных, составляющих основу их рациона, прежде всего дождевых червей, моллюсков, насекомых, амфибий и рептилий. Землеройкам хватает совсем уж крошечных беспозвоночных, и эти прожорливые зверьки прекрасно чувствуют себя на мерзлоте и в тайге, и в тундре. У ежей преобразование волосяного покрова в иглистый дало некоторый выигрыш в противостоянии хищникам, но не лучшим образом сказалось на их термоизоляции. Хотя слой подкожного жира у ежей хорошо развит, он, вероятно, не компенсирует потери теплого меха, и служит энергетическим депо при длительной бескормице во время зимовки.

Поскольку заметка посвящена именно кротам (рис.1), остановимся подробнее на возможных причинах их отсутствия в отложениях плейстоцена северо-востока Якутии. Кроты (*Talpa*), как известно, настолько специализированные обитатели почвы, что практически лишены зрения. Они добывают себе корм, передвигаясь под землей, роя ходы на глубине обычно не более 30 см. Трудно представить себе, как кроты могут жить не только в мерзлоте, но и в надолго промерзающих почвах (в Западной Сибири, например, почвы находятся в мерзлом состоянии более полугода). Действительно трудно, если не знать замечательной работы новосибирского зоолога Б.С.Юдина, обнаружившего, что сибирский крот (*T.altaica*) осенью, после первых заморозков, устраивает грандиозные запасы червей, собирая их в ходах, как в своеобразных ловушках [1, 2]. Судите сами: вес червей лишь в одной «кладовой», расположен-



Рис.1. Обыкновенный крот. Изображений (реконструкций) мамонтового крота, к сожалению, не существует.

ной под гнездом крота, достигал весной (!) 1 кг при среднем весе червя около 1 г. Понятно, что осенью, во время заготовки, запас был многократно большим и его хватило не только на всю зиму. Ранняя весна — трудное время для многих животных, так как резко возрастают потребности в пище на выкармливание молодняка, линьку, а у самцов — на подготовку к гону. Почва же мерзлая, и крот не способен в ней рыть ходы и добывать червей; а в «ловушки»-ходы они не попадают, так как еще не активны. Поэтому роль оставшихся после зимы запасов переоценить трудно.

На вечной мерзлоте кроту должно быть совсем худо. Весной здесь быстро оттаивают либо заливаемые в половодье поймы, либо сухие участки на южных склонах. Ни там, ни там крот жить не может: с водой он несовместим, на сухих участках нет червей. На остальных пространствах почва и грунты оттаивают крайне медленно, и черви редки, поэтому кротам здесь не жить.

Между тем сибирский крот все-таки известен из области распространения вечной мерзлоты. Его поселения описаны в Средней Сибири на значительном протяжении долины Нижней Тунгуски и далее на восток, от ее верховий через водораздел — на правых притоках верхнего течения Вилюя: рек Чирко, Чона, Ботубоя, Унганина. Крот встречается здесь почти всегда на старых, крайне редко заливаемых поймах, хотя обитает он и на надпойменных террасах [3]. Нет ни малейшего сомнения в том, что основная пища крота в этом регионе — единственный феноменально устойчивый к низким температурам, а потому способный здесь жить дождевой червь ейзеня Норденшельда (*Eisenia nordenskioldi*), переносящий зимой охлаждение до -35°C . К сожалению, экология сибирского крота в бассейне Вилюя, на Нижней Тунгуске и в низовьях Енисея, особенно на надпойменных террасах и за пределами долин, остается практически неизвестной.

Однако восточнее крот не проникает — даже на Ленско-Вилюйский водораздел, изобилующий таликовыми зонами, которые отепляются грунтовыми и речными водами, и в другие районы Центральной Якутии. Куда уж кротам жить на мерзлоте в плейстоцене, в несравненно еще более суровом климате... Однако логика и факты, как известно, не всегда едины: оказывается, жили! И в руках у нас доказательство тому.

Начнем в буквальном смысле издавека — из Магадана, где уже более четырех десятилетий жи-

вет и работает один из авторов этих строк, зоолог, изучающий адаптации разных видов животных к условиям Крайнего Севера.

От зоолога

По соседству с моим гаражом находится косторезная мастерская, куда я регулярно заглядываю не только полюбоваться на замечательные изделия знакомого художника, но и время от времени посмотреть на свежие находки ископаемых костей. Их сюда привозят в основном со средней Колымы и ее притоков (рек Ясачная, Зырянка, Ожогина и др.), не самого богатого «костью» места на Северо-Востоке. Но и тут случаются интересные находки. Вот и в этот раз сосед-косторез назвал меня в мастерскую и в некотором смущении показал какую-то окаменевшую вещицу: «Что это за косточка? Привезли из Зырянки» (поселок на Колыме).

«Косточка» длиной около 6 см выглядела как кисть лапки небольшого зверька (рис.2). Чтобы она не рассыпалась, ее обильно залили эпоксидной смолой. Казалось, под слоем смолы сохранились даже мягкие ткани. Однако детали, особенно устройство суставов, разглядеть было сложно. Лапка зверька явно специализирована, чему свидетельство — непропорционально развитые вытянутые и слегка изогнутые конусы когтей, скорее напоминающие пальцы без суставов. Да и начинаются они где-то в глубине кисти. Рентгенограмма лапки из-за окаменевшего общего фона не показала, где коготь, а где фаланга.



Рис.2. Тыльная сторона кисти. Пятисантиметровая лапа — немало даже для ископаемого крота, но мамонт тоже был большим.

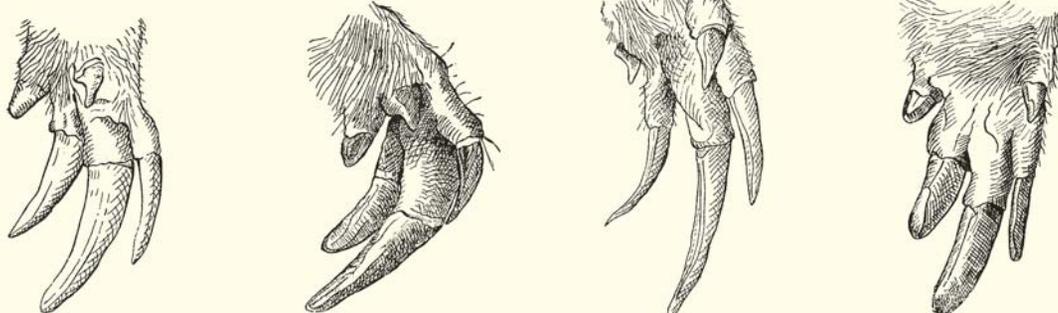


Рис.3. Лапы цокоров не очень похожи на кисть ископаемого крота, но для полноты картины показаны и они.

Кому она принадлежала? Судя по развитию когтей, соотношению ширины и длины кисти, ее аналог надо искать у современных роющих животных — кротов и цокоров. Наша очень похожа на лапу-лопату кротов (см. рис.1). Очень! Их лапы — единственный роющий инструмент. У цокоров они тоже приспособлены для рытья, но главный инструмент все же огромные резцы. Строение лап разных видов цокоров (западносибирского, алтайского, забайкальского и маньчжурского) несколько варьирует (рис.3), так что есть выбор для сравнения. Ареал наиболее северного цокора — западносибирского — простирается ныне по долине Оби почти до 58°с.ш., тогда как три последних вида севернее системы Шилка—Амур не встречаются. Поэтому о заселении мерзлотных регионов ни одним из названных видов цокоров и говорить нечего. А уж примирить их с плейстоценовой мерзлотой и существованием в трудно вообразимом ныне суровом климате и вовсе невозможно.

Впрочем, это про современных цокоров. Скорее всего, так было и в плейстоцене. Но аналогии опасны: ископаемые виды не всегда близки к современным. Например, мамонт по морфологии и физиологии весьма далек от индийского слона, не говоря уж об африканском, а ископаемые и современные бизон, лошадь, овцебык, северный олень, арктический суслик, волк, песец, заяц и многие другие виды — очень похожи. Неотличимы и десятки ископаемых и современных жуков. Поэтому требование идентичности не обязательно.

Приведенный пример с кротами в верховьях Вилюя тоже призывает к осторожности: обитание этих прожорливых обитателей почвы в мерзлотных районах предсказать невозможно.

Итак, исходя из сказанного, вероятнее всего, перед нами лапа ископаемого «мамонтового» крота. Естественнее предположить, что он жил в один из теплых периодов плейстоцена или еще раньше, когда условия были не столь суровы. А из отложенных этих периодов палеонтологические находки на северо-востоке Азии редки, а потому ценны.



Рис.4. Верхний зуб взрослого мамонта (вид сбоку-снизу). У слонов зубы меняются пять раз. Изнашивающийся зуб не выпадает, а постепенно замещается следующим, выдвигающимся из челюсти сзади вперед. На фотографии жевательная поверхность уже почти плоская. У юных животных передняя часть зуба более высокая, она стирается раньше задней.

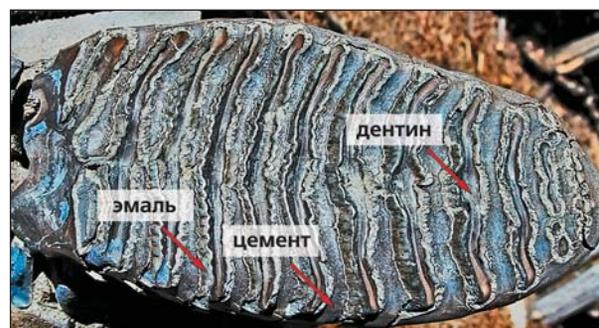


Рис.5. Жевательная поверхность мамонтового зуба. Он «набран» из вертикально поставленных петлеобразных эмалевых пластин, заполненных дентином и скрепленных между собой цементом.

Я оказался неодинок в своем выводе. Так же или примерно так определили принадлежность лапки мой коллеги-зоологи. Однако последнее слово, разумеется, за палеонтологами, это их компетенция. Поэтому «косточка» попала «на опознание» ко второму автору данного сообщения, специалисту по млекопитающим плейстоцена. Его заключение было, мягко говоря, несколько иным.

От палеонтолога

Как ни жаль, но находка, увы, не имеет никакого отношения ни к кротам, ни к цокорам. Это кость... мамонта. Точнее — мамонтенка. Да-да, именно так! Это всего лишь часть (отдельный элемент) верхнего зуба юного мамонта. Попробую пояснить. Зубы мамонта, как и всех слонов, кроме самых древних, устроены особым образом — не так, как у большинства других млекопитающих. Они состоят из огромных скрепленных цементом эмалевых пластин, вернее, сильно сплюснутых петель, заполненных дентином (рис.4, 5). Наборы этих пластин, поставленных ребром, с возрастом стираются неравномерно, так как чередующиеся слои эмали, дентина и цемента имеют разную плотность и механическую прочность. Выступающие таким образом из цемента и дентина ребра эмали образовывали своеобразную терку, которая позволяла мамонтам без труда перемалывать жесткие степные травы, господствовавшие в растительном покрове ландшафтов ледниковой эпохи.

При высыхании ископаемые зубы мамонта часто рассыпаются на отдельные пластины из-за неравномерной усадки слагающих его элементов, имеющих разную плотность (весьма расстраивая коллекционеров-владельцев). К тому же на некоторых зубах молодых мамонтов верхняя часть задних пластин разделена на отдельные сосочки



Рис.6. Схема растрескивания зуба мамонта на отдельные пластины. Они имеют разную форму в зависимости от положения в коронке. Части пластин, обращенные к жевательной поверхности в задней области коронки, бывают разделены на отдельные сосочки (как у примитивных предков слонов), и в результате образуется форма, напоминающая лапу огромного крота.

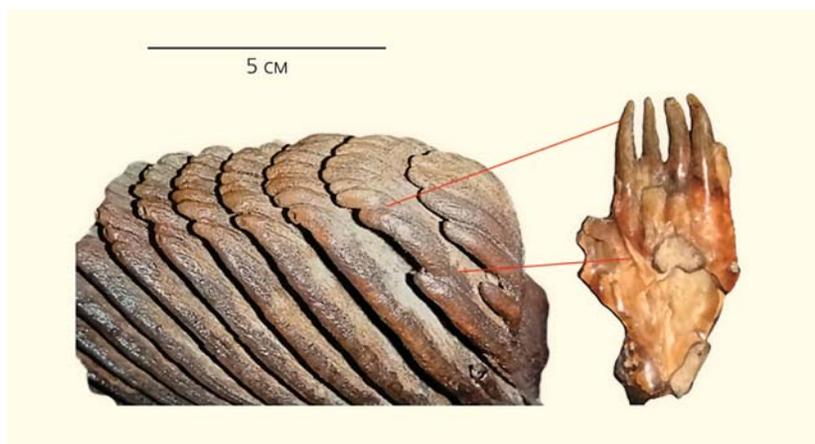


Рис.7. Та же схема на натурном материале. Задняя часть верхнего зуба мамонтенка для удобства обозрения перевернута жевательной поверхностью вверх. Зуб только вырос, он еще не был «в работе» (не жевал), когда мамонтенок погиб. Видны отдельные пластины, на которые зуб непременно рассыплется, когда высохнет. Сосочки задних пластин напоминают пальцы. Справа подобная обломанная пластинка, найденная отдельно и принятая за лапу ископаемого роющего животного.

(рис.6, 7). Они иногда напоминают пятерню («шестерню», «семерню» и т.д.), а пластинка, от которой они отходят, — ладонь. Вот такая отдельная зубная пластинка и породила «лапу крота».

* * *

«Мамонтовый крот», увы, не состоялся. Он дал пищу отнюдь не для первоапрельского, но банального назидания: бойтесь очевидности и здравого смысла. Добавим — они порой могут из крота сделать мамонта. Не этот ли ископаемый мотив лежит в основе пословицы «делать из мухи слона»? ■

Литература

1. Юдин Б.С. Архитектура гнезда сибирского крота // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. 1970. Т.15. Вып.5. С.98—109.
2. Юдин Б.С. Запасание сибирским кротом дождевых червей как одна из адаптаций к жизни в условиях климата Сибири // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. 1972. Т.15. Вып.3. С.133—136.
3. Млекопитающие Якутии / Ред. В.А.Тавровский, О.В.Егоров, В.Г.Кривошеев. М., 1971.



Хикикомория

Р.К.Расцветаева,

доктор геолого-минералогических наук

Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН

Апрельский факунтатив

В классе сульфатов насчитывается свыше 400 минеральных видов, и, хотя именно сульфаты были первыми объектами рентгеноструктурного анализа, только половина из них изучена. В структурах этих минералов группировка SO_4 представляет собой тетраэдр, в центре которого располагается атом серы, а в вершинах — атомы кислорода. Практически полное отсутствие конденсированных (объединенных) SO_4 -тетраэдров отличает сульфаты от большинства классов минералов с тетраэдрическими анионами, и в первую очередь от силикатов, которые характеризуются разнообразием построек из Si-тетраэдров*. Тем не менее сульфатные минералы достаточно многочисленны, и обусловлено это особенностями их состава и взаимоотношением с другими катионами (как октаэдрическими, так и более высококоординированными). Для лучшего понимания устройства минералов в некоторых случаях даются химические формулы, в которых квадратными скобками выделен состав строительного блока.

Пролог

Прекрасный принц Кремний совершал прогулку в окрестностях своего замка. И встретил златокудрую принцессу Сера, которая бродила поблизости в полном одиночестве. Она была так хороша, что принц тотчас в нее влюбился и предложил ей руку, сердце и совместное проживание в законном браке. Сера приняла руку и сердце, но от совместного проживания, хотя бы и законного, наотрез отказалась.

«Но почему?» — изумился Кремний. Разве плохо, когда влюбленные живут вместе долго и счастливо? Может быть, ты считаешь меня недостойным такой чести? Конечно, мой заряд меньше твоего, но я богат, очень богат. По всему миру стоят мои дворцы, и почти все они — шедевры архитектуры.

«Знаю-знаю, — перебила его Сера. — Я и мой народ самодостаточны, но не заносчивы. Мы живем уединенно, но никто не знает причины этого. Ученые полагают, что всему виной наш высокий положительный заряд. Но есть пример хрома. Он

тоже шестивалентный, однако его тетраэдры сумели объединиться в **лопещите**. Я думаю, причина гораздо глубже. Мы не можем объединяться не только друг с другом или с фосфором, мышьяком, кремнием, ванадием, хромом, но даже с более низкочарядными алюминием, бериллием и литием. Если они в тетраэдрах. Другое дело октаэдры. С их жильцами мы дружим. У нашего народа своя задача в этом мире. И у каждого свой способ ее реализации. Я познакомлю тебя с моими друзьями, и они покажут свои владения».

Кремний согласился и отправился в путешествие по стране отшельников и затворников — Хикикомории.

Серия первая

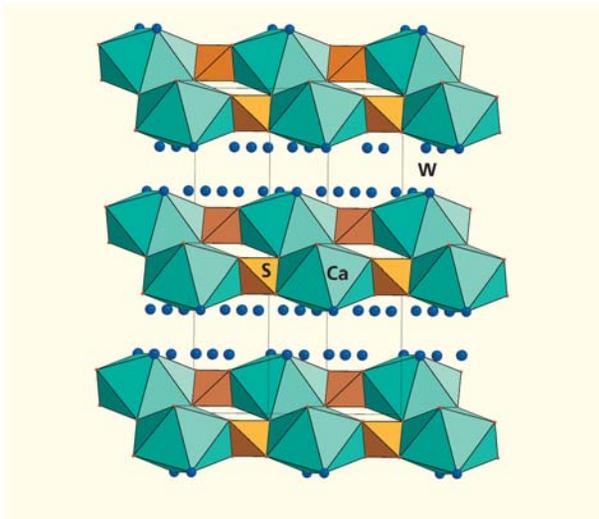
Сера посоветовала начать знакомство с самых убежденных затворников. В Японии их называют «хикикомори» (или просто «хики»), что означает «нахождение в уединении». Чаще всего затворниками становятся подростки и молодые люди. В Японии насчитывается 700 тыс. таких «сидельцев», а один школьник побил все рекорды, продержавшись в «одиночке» семь лет. Типичный хики запирается в своей комнате и добровольно отказывается выходить из дома из-за болезненной стеснительности или панического ужаса от общения. Еду ему передают родители, или он заказывает ее через Интернет. Он заранее закупает компы и запчасты к ним. Ставит конди. Чтобы беречь здоровье, запасается лекарствами.

Гипс — рай для затворников. В его волнистых стенках Са-восьмивершинники прижались плечом к плечу (вернее, ребром к ребру) не только друг к другу, но и к тетраэдрам серы. Гипс распространен повсеместно, кристаллизуется в любой луже и даже на траве после кислотного дождя. Он — визитная карточка местности: если в какой-либо жаркой и безжизненной пустыне находят гипс, значит там когда-то (пусть и очень давно) была вода. А недавно гипс обнаружили на Марсе, а значит, и там была вода (и жизнь!). Кто когда-нибудь носил гипс, то на себе чувствовал его мертвую хватку.

«Как можно уединиться в такой тесноте! Здесь же яблоку негде упасть», — удивился Кремний.

«Это еще что — ответила Сера. — В гипсе между стенками есть пространство с водой, потому и сверху, и снизу на серу ничто не давит. Но как

* См. *Расцветаева Р.К.* Конкурс красоты // Природа. 2005. №4 С.26—32.

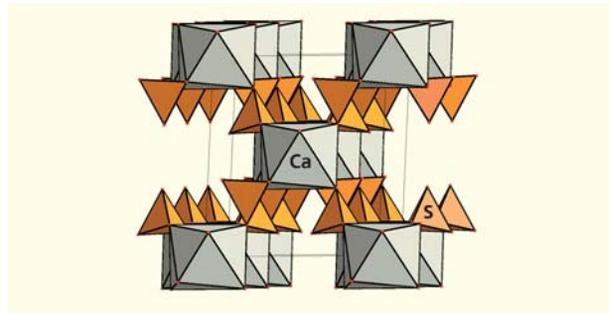
[CaSO₄·(H₂O)₂] гипс

только гипс высыхает, сера оказывается в цементных тисках его родственников — **ангидрита** [CaSO₄] и **бассанита** [Ca(SO₄)(H₂O)_{0,5}]. Их стенки соединяются друг с другом ребрами Ca-полиэдров: восьмивершинников в ангидрите и девятивершинников в бассаните. Так что сера зажата в своих тетраэдрах не только с боков, но и сверху и снизу — ни охнуть, ни вздохнуть. Но хуже всего приходится ей в **горгеите**, хотя стенки здесь не сплошные, а нарезаны на плиты, которые в шахматном порядке укладываются плотнейшим способом — выпуклости одной входят во впадины другой. Неудивительно, что горгеит гордится своей необыкновенной плотностью. Глядя на его крупные, хорошо ограниченные бледно-желтые кристаллы из Индерского месторождения, что в Казахстане, даже не догадываешься, какво бедной сере жить придавленной. К тому же ребра у ее миниатюрного тетраэдра не достигают и 2,5 Å, а у Ca-полиэдров иногда превышают и 4 Å. Сера при всем желании не может растянуть ребра своего тетраэдра, и кальций идет ей на уступки. Ну что ж, если хочешь с кем-то ужиться, приходится ужаться. А в **ланарките** Pb₂O[SO₄] сера вместо кальциевого плена оказывается в свинцовом.

«Но это же настоящие каменные джунгли», — не удержался Кремний.

«Именно здесь мы по-настоящему одиноки — возразила его спутница. — Мы изолированы друг от друга толстыми цементными стенами. Общаться практически не с кем (если не считать калия в горгеите). Есть там, правда, еще молекула воды, но с ней не разговоришься, она ведь нейтральная. Зато никто не дожимает болтовней».

Однако некоторые хики предпочитают более комфортные условия, когда соседи живут не за стенкой, а за углом. И еще лучше, когда сосед за углом тихий, интеллигентный, как в **глауберите**, где Ca-восьмивершинники объединились по реб-

Na₂[Ca(SO₄)₂] глауберит

рам в колонны, выстроенные в шахматном порядке. Сера соединяется ребром своего тетраэдра с Ca-полиэдром одной колонны и вершиной с полиэдром соседней. А скромный сосед натрий живет за четвертым углом тетраэдра в своем семивершиннике. Таблитчатые и призматические кристаллы светло-желтого, серого и белого цвета — безводные. Назвали глауберит в честь немецкого химика И.Р.Глаубера, так как в состав минерала входят компоненты очень даже водной глауберовой соли Na₂SO₄·10H₂O, открытой ученым ранее.

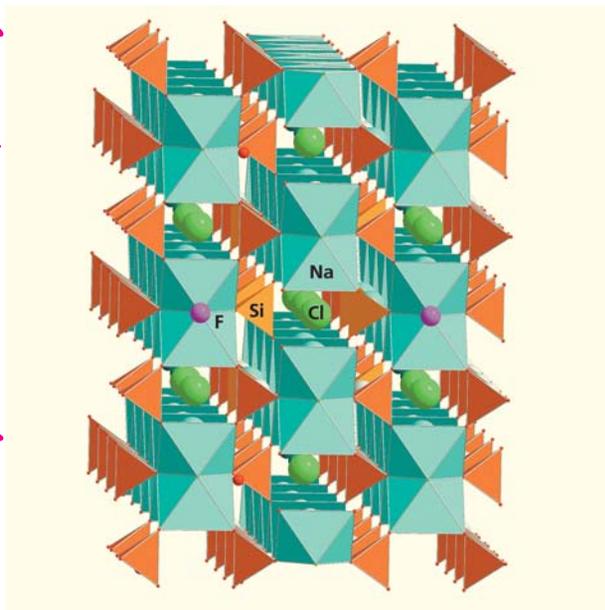
Конечно, такие массивные колонны позволительны лишь двухвалентным катионам, ведь на каждом кислороде сходятся три полиэдра — два кальциевых и один тетраэдр серы, и баланс зарядов на кислородах находится на пределе допустимого.

Серия вторая

Чувствовать себя одиноким можно и в толпе, но по-настоящему свободным становишься лишь вдали от цивилизации. Недаром Серафим Саровский уходил в леса. Только здесь, в скромной деревянной келье на берегу реки Саровки, он мог полностью отречься от мирских сует и соблазнов и предаться служению Богу. Он сам себе добывал скудное пропитание и даже делился им с дикими зверями, которые не трогали его, а любили и навещали. А тысячи солнцедедов вообще обходятся без еды и даже питья. Но всех перещеголял бурятский лама XII Итигэлов, просидевший 70 лет в состоянии медитации в ящике под землей без еды, питья и солнца. И когда его откопали, он все еще проявлял признаки жизни.

Однако быть совершенно самодостаточной сера тоже не может. Несмотря на высокий положительный заряд, ее тетраэдр заряжен отрицательно, и ей необходимо гасить расходы на кислородное окружение. Чаше всего она использует дешевую (одновалентную) рабочую силу — Na, K, NH₄, как в **тенардите** Na₂SO₄, **арканите** K₂SO₄, **глазерите (афтиталите)** K₃Na(SO₄)₂, **масканьите** (NH₄)₂SO₄ и **тейлорите** (K,NH₄)₂SO₄. Гастарбайтеры тихие и довольствуются минимальными удобствами. Но, освоившись, они приглашают своих хлорных и фторных родственников и друзей —

якобы себе в помощь. Их не смущает, что и родственники, и друзья их друзей тоже отрицательно заряжены и их тоже надо кормить. Толку от этой толпы мало, но они берут количеством. На каждую серу приходится три гастарбайтера и один родственник, как в **шайрерите** $\text{Na}_{21}(\text{SO}_4)_7\text{F}_6\text{Cl}$, **гельците** $\text{Na}_{21}(\text{SO}_4)_7(\text{F},\text{Cl})_7$, **сульфогалите** $\text{Na}_6(\text{SO}_4)_2\text{FCl}$ и **когаркоите** $\text{Na}_3\text{SO}_4\text{F}$.



$\text{Na}_6(\text{SO}_4)_2\text{FCl}$ сульфогалит

Некоторые натрии так освоились, что решили отгородиться от серы водным пространством. Они объединили свои водяные октаэдры в длинные цепи, между которыми плавают тетраэдры серы. Конечно, заряды гастарбайтеры попеременно гасили, но на этом отношения с серой заканчивались. Своим присутствием в минеральной воде эти кристаллы так удивили Глаубера, что он назвал их **мирабилитом**, что в переводе с латыни означает «удивительная соль». Второе же имя кристаллов — **глауберова соль**, которая всем знакома по отвратительному горько-соленому вкусу. Ученому повезло, как вы уже знаете, в его честь назвали еще и глауберит.

Конечно, сера может сэкономить на гастарбайтерах, заменив в своем окружении один кислород на ОН-группу, как это сделали **меркаллит** KHSO_4 и **летовицит** NH_4HSO_4 , но тогда строение (уву!) теряет устойчивость и легко растворяется в воде.

С гастарбайтерами много мороки, и сера предпочитает использовать более квалифицированных двухвалентных помощников, которые не только успешнее гасят заряды, но и укрепляют все здание. Они немногочисленны (на каждую серу достаточно одного работника) и ненавязчивы. Держатся особняком в как попало разбросанных октаэдрах из молекул воды (да еще одну молекулу

хранят про запас). Железный **мелантерит** $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6](\text{SO}_4)\cdot\text{H}_2\text{O}$ — глава семейства — бесцветный, а его родственник **цинк-мелантерит** — серовато-зеленоватый. Гораздо симпатичнее выглядит медный **бутит** голубого цвета, а остальные члены семейства (кобальтовый **биберит**, марганцевый **маллардит** и железный собрат **пизанит**) окрашены примесями цинка в зеленоватые тона и примесями меди в изумрудно-зеленые.

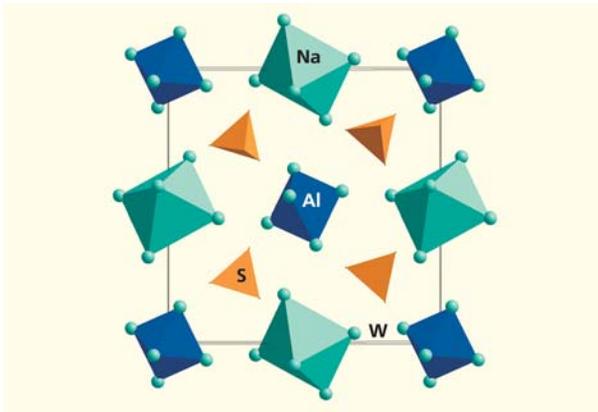
Когда сера поселилась с алюминием в **аубертите**, **сважините** и **алуногене**, она еще больше сэкономила на работниках (теперь два работника обслуживали три серы). Но Al, кроме шести молекул воды на обустройство своих октаэдров затребовал еще парочку дополнительных (буферных). Сырости заметно прибавилось (на три серы приходится 17 молекул воды!). Но ведь живет же самое дружелюбное на Земле племя пиаро в сырых лесах Венесуэлы вдоль реки Ориноко. Охотятся с луком, с удовольствием едят тарантулов, жаренных на огне. И ничего — сами радуются жизни и никого не трогают.

Джурбанит $[\text{Al}_2(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_8](\text{SO}_4)_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ пошел на хитрость, объединив свои алюминиевые октаэдры по ребру в парочки и тем самым заменив две молекулы H_2O на ОН, и лишь две буферные молекулы сохранил про запас. А вот **алюминит** $[\text{Al}_2(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_3](\text{SO}_4)\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (назван по высокому содержанию алюминия на одну серу) сэкономил пять молекул, когда выстроил свои октаэдры в замысловатые цепочки, но при этом увеличил количество буферной воды. В результате сырости даже прибавилось.

В **эттрингите** $\text{Ca}_6(\text{H}_2\text{O})_{24}[\text{Al}(\text{OH})_6]_2(\text{SO}_4)_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ алюминий взял в помощники кальций. Совместно они построили колоннаду, чередуя тройки кальциевых 8-вершинников с одиночными алюминиевыми октаэдрами. Его примеру последовал и **бенторит**, в котором Ca объединился в такую же колоннаду с хромом. Сера разместились между колоннами, как в греческом храме. Поскольку октаэдры Al построены исключительно из ОН-групп, вся вина за сырость легла на Ca. Ванадиевый **станлеит** формально сократил количество воды на душу октаэдрического катиона, заменив одну молекулу на атом кислорода (но буферную молекулу все-таки сохранил).

Сера часто идет на компромисс, используя все доступные ей ресурсы — одно-, двух- и трехвалентные. В **шигаите** трехвалентный Al и двухвалентный Mn соединили свои октаэдры, уложив их в гладкие стенки, между которыми среди сырых Na-октаэдров и шести буферных молекул H_2O расположилась сера.

Чермигит $\text{NH}_4[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6](\text{SO}_4)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и его друзья — **натриевые** и **калиевые квасцы** — проживают в настоящей Венеции. Здесь не только Al окружен водой, но и слуги (Na, K и NH_4) в ней плавают. Сера общается с ними только через водородных посредников, потому строения эти неустой-

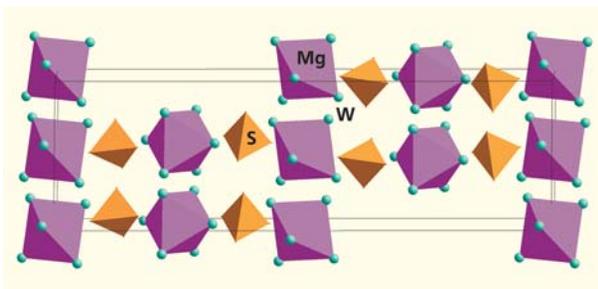


квасцы

чивы. Сера смирилась с жизнью по колено в воде. Зато никто не мешает размышлять о вечном, да и моржевать можно, не выходя из дома. А квасцы утешаются тем, что их кубическая структура и разнообразная внешняя огранка кристаллов вызывают интерес ученых на протяжении уже нескольких веков.

Проблему сырости можно решить, позволив только двухвалентным служащим обвешивать свои октаэдры водой, как сделано в (K,Mg)-**пикромерите**, (NH₄Mg)-**буссенготите** и (NH₄Ni)-**никельбуссенготите**, (NH₄Fe)-**морите** и (KCu)-**цианохроите**. А недавно прямо из ледяной глыбы восточной Антарктики прибыл новичок — **эрнстбургекит** [Mg(H₂O)₆](CH₃SO₃)₂·6H₂O. Бесцветный и очень мелкий, он заинтересовал ученых тем, что в тетраэдре серы один кислород заменил на четыре, но очень маленьких атома — группу CH₃. Ну а магний, как полагается, поселил в сыром октаэдре.

Лишняя сырость — лишняя головная боль. Ведь дополнительная вода того и гляди испарится, и тогда все дома придется перестраивать. Такая участь постигла семейство **эпсомита**. Глава семейства [Mg(H₂O)₆](SO₄)·H₂O ничем не примечателен (как и его родственники — цинковый **госларит** и никелевый **моренозит**). Но при 50°C он потерял буферную молекулу воды и превратился в **гексагидрит**. Из названия следует, что он содержит шесть молекул воды, но это тот минимум, который необходим для октаэдра. И никаких водных излишеств.



гексагидриты

Сам гексагидрит [Mg(H₂O)₆](SO₄) магниевый, а его родственники — **феррогексагидрит** и **никельгексагидрит**. Остальным членам семейства повезло обзавестись собственными именами. Цинковый стал называться **бианкитом**, марганцевый — **хвалецитеитом**, кобальтовый — **мурхауситом**, а примкнувший к ним никелевый друг семейства — **ретгерситом**. У всех октаэдры окружены водой, но сера расположилась на сухих этажах.

Кхадемит [Al(H₂O)₅F](SO₄), который назван в честь директора Геологической службы Ирана, пошел дальше и заменил часть молекул воды на изысканный F, но это все же не решило проблему сырости. **Коннелит** [Cu₁₉(OH)₃₂Cl₄](SO₄)·3H₂O построил наисложнейшее сооружение из Cu-октаэдров, внутри которого тетраэдры серы со всех сторон окружены молекулами воды. Такая самоизоляция может показаться странной, но она добровольная. Ведь и народ амиши живет в сердце самой прогрессивной страны (США) без электричества (с керосиновыми лампами или газовыми рожками), одевается по-старинному (никаких украшений — даже пуговиц). Рядом кипит жизнь, и молодые люди всегда могут уехать в Нью-Йорк, чтобы познакомиться с другим образом жизни и сделать свой выбор.

Серия третья

Сера огляделась вокруг. Она долго была в пути, и теперь настало время поискать пристанище. Выбор был невелик. Все ее родственники и друзья проживают либо в гипсе, либо в квасцах. А ей не хотелось крайностей. Ведь живут же художники в уединении, но без отрыва от цивилизации. Поэты, музыканты, ученые и прочие творческие личности не теряют связи с инфраструктурой и при этом остаются свободными не только от предрасудков, но и от быта. Им не нужны излишества, но элементарный комфорт жизненно необходим. Вот гениальный математик Григорий Перельман отказался от престижных премий и звания академика, чтобы быть независимым в своем творчестве. Живет затворником в скромной квартире в Питере и работает в Стекловке за 100 долл. в месяц.

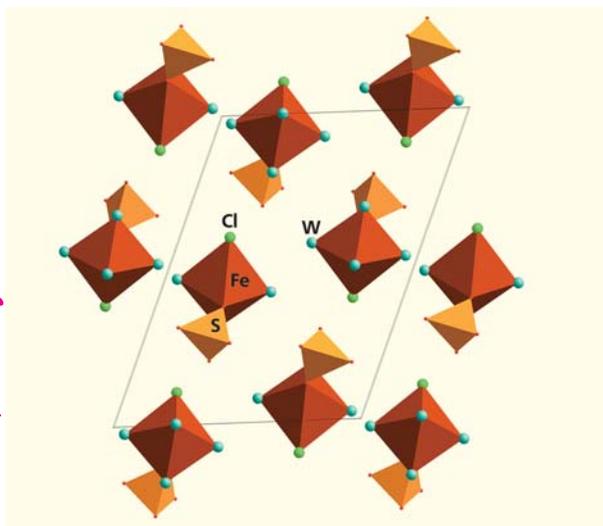
Решение пришло само собой — **кситишанит**. Вот где можно надежно опереться на железный октаэдр и вместе с тем свободно поворачиваться на все четыре стороны вокруг оси своего тетраэдра. Ученые называют такие сообщества димерами. В кситишаните они выстраиваются рядами и соединяются между собой водородными связями молекул воды, которых много как в октаэдрах, так и между ними.

Подруги серы последовали ее примеру и зацепились за октаэдр в **минасрагите**



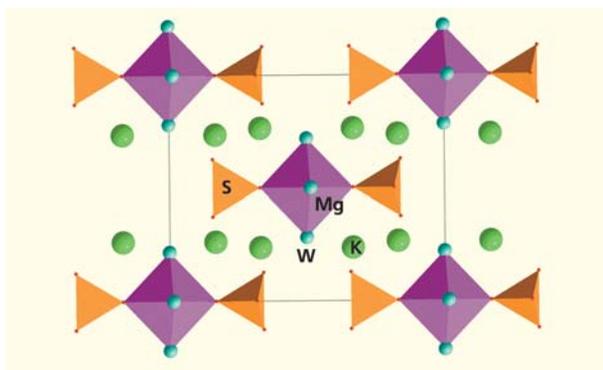
который нашли в Минасраге, близ Серро-де-Паско (Перу). Но вот беда, одна кислородная вершина

Директский факкультатив


 $[\text{Fe}^{3+}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}(\text{SO}_4)] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ кшитишанит

в октаэдре сильно приближена к ванадию (по-научному «ванадильная группа»), а четыре другие заняты молекулами воды. Хорошо хоть последняя, шестая, вершина оказалась свободной.

Поскольку свободных октаэдров на всех не напасешься, приходится делить один на двоих в **леоните**, **манганлеоните** и их железном собрате **ме-**

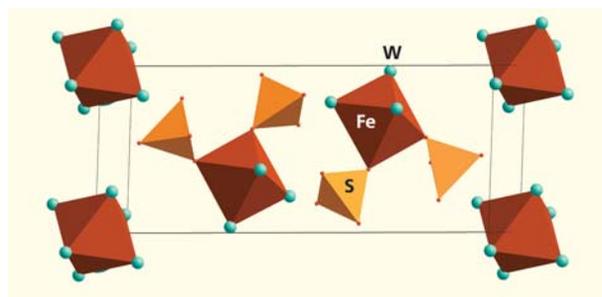

 $\text{K}_2[\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{SO}_4)_2]$ леонит

райтерите. По-научному такие сооружения называют тримерами. Тримерные линейки вытянулись параллельно друг другу в шахматном порядке, а между ними размещаются К-гастарбайтеры для гашения отрицательных зарядов. Жизнь в таких тримерах имеет неоспоримое преимущество: расстояние серы до вершины октаэдра увеличено, и линейки производят сегнетоэлектричество. Такой же электростанцией обзавелись и тримеры **блюдита** (бывший астраханит) и **никельблюдита** (никельафраханит, также бывший). К-девятивершинники в них заменены более мелкими Na-октаэдрами, и их линейные тримеры расположились не параллельно, а елочкой. Может быть, потому так красивы их хрупкие корочки из прозрачных кри-

сталликов светло-розового, желтоватого, зеленоватого или голубоватого цветов.

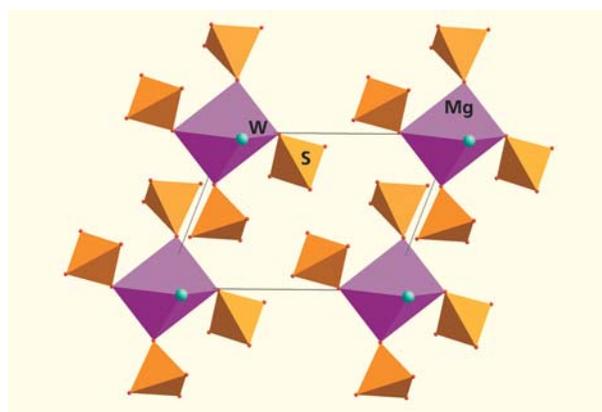
Тримеры быстро вошли в моду — всем захотелось собственную электростанцию. Вот ягнбцы (горные таджики, которые гордятся тем, что они прямые потомки воинов Александра Македонского) построили свою маленькую ГЭС и живут себе изолированно в долине р.Ягноб на высоте 2000—3000 м и даже говорят на собственном, никому не понятном языке.

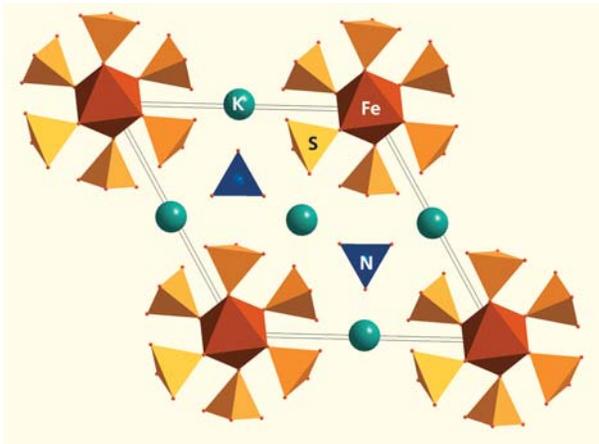
Линейными тримерами обзавелся и **ченит** $\text{Pb}^{2+}_4(\text{OH})_2[\text{Cu}(\text{OH})_4(\text{SO}_4)_2]$, но его ожидало разочарование — медные октаэдры так искажены, а между ними столько свинца, что его тримеры неспособны давать электричество. Не повезло и **ремериту**. Его электростанция из железного октаэдра


 $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{SO}_4)_2]_2[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]$ ремерит

и двух тетраэдров серы не работает. Ученые объяснили, что тример тримеру рознь. В леоните он линейный (тетраэдр серы в *транс-положении*), а в ремерите — подковообразный, так как два тетраэдра подвешены к одному ребру октаэдра (по-научному, *цис-положение*), а потому «индуцирование электрического дипольного момента, параллельного оси тримера», невозможно. Ремерит ничего не понял, но смирился с тем, что остался без электричества. Зато у него есть свободные октаэдры с большим запасом воды.

Дефицит свободных октаэдров в **полигалите** вынудил четыре тетраэдра серы прицепиться

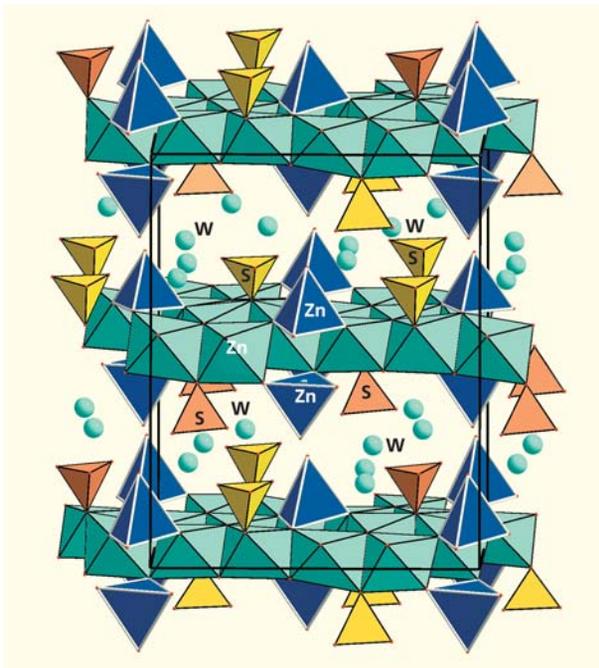

 $\text{K}_2\text{Ca}_2[\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{SO}_4)_4]$ полигалит


 $K_3Na_8[Fe(SO_4)_6](NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ унгеманит

к одному октаэдру Mg, между которыми расположились Ca и K (по совместительству объединя их и гася отрицательные заряды).

Унгеманит (назван в честь бельгийского кристаллографа А.Л.Унгемаха) пошел еще дальше и прицепил к Fe-октаэдру целых шесть тетраэдров. П.Б.Мур назвал эти сооружения *вертушками*. Они и впрямь напоминают детскую карусель или колесо обозрения. Но сера не в обиде. Живет же племя эльмоло в круглых хижинах, сплетенных из прутьев, на берегу оз.Туркано в Кении. Питаются аборигены исключительно рыбой (их называют еще рыбободами). Даже одежду шьют из кожи крупных рыб.

Когда все изолированные октаэдры закончились, сера стала цепляться за что попало, будь то октаэдрические цепи, как в **каледоните** (из мед-

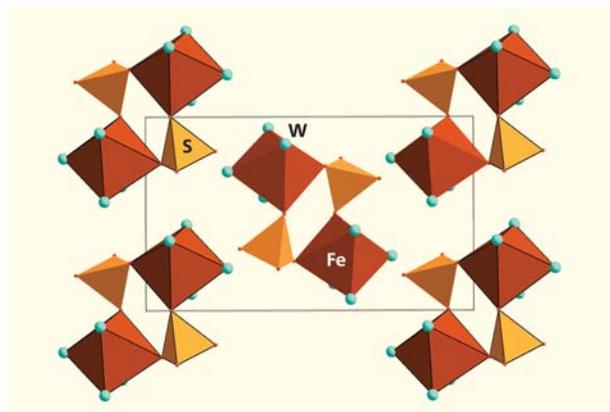

 $Zn_4(SO_4)(OH)_6 \cdot 3H_2O$ ланштайнит

ных октаэдров), или стенки (тоже медные) в **роуволфите**, **лангите**, **позняките** и **спанголите**. В **шуленбергите**, **девиллите**, **кампилиаите**, **ктенасите**, **нидермайерите**, **христелите** и **серпьерите** стенки цинковые, и тетраэдры серы прицепились к ним даже с двух сторон. В **намууите** и **ланштайните** (недавно прибывшем из Земли Рейнланд-Пфальц, что в Германии) цинковые стенки легко сдвигаются, так как между ними находится вода. А в **гордеите**, **мурейте**, ктенасите и некоторых других между стенками помещаются еще и изолированные октаэдры. **Бехерерит** и **рамсбекит** же, наоборот, сблизили и чем попола объединили свои стенки.

Серия четвертая

Как ни вольготно живет сера в димерах, тримерах, пентамерах и вертушках, ее роль в этих строениях пассивна. Она могла бы реализовать себя с большей пользой. Связывая октаэдры друг с другом, сера укрепляет и все строение. Ее цементирующая роль высоко ценится, она надежный партнер в строительстве. Правда, при этом она теряет свободу вращения вокруг оси своего тетраэдра и может поворачиваться только вокруг ребра. Но ради общего блага можно пожертвовать и не такими удобствами.

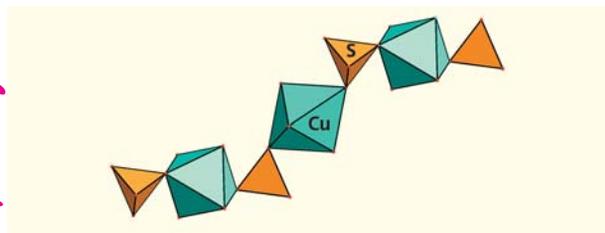
Проще всего оказалось объединить два димера в кольцо. Семейство **старкиита** $[Mg(SO_4)(H_2O)_4]$ (по месту находки на руднике Старки в США) различается составом октаэдров — железные, марганцевые, кобальтовые и цинковые в **роцените**, **илезите**, **эплоуите** и **бойленте**. Американский физхимик Л.К.Полинг мог бы порадоваться, что его II правило здесь полностью выполняется — четыре свободные вершины октаэдров заняты молекулами воды. Кольца электронейтральные и в гасителях заряда не нуждаются. Они расположены в шахматном порядке и связаны друг с другом водородными связями собственных молекул воды. Сами кольца так похожи на молекулы, что


 $[Fe(SO_4)(H_2O)_4]$ роценит

Американский физхимик Полинг

ученые относят кольцевые сульфаты к немногочисленной группе молекулярных неорганических структур.

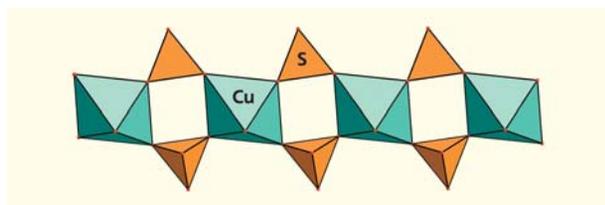
Из димеров можно создавать не только кольца, но и цепочки. Самую простую построило семейство **халькантита**, соединив димеры друг с дру-



$[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4\text{SO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$ халькантит

гом. Правда, цепочки получились хлипкими и постоянно изгибались. Сам халькантит медный (в XIX в. он назывался медным купоросом), а другие члены семейства — магниевый **пентагидрит**, железный **сидеротил** и марганцевый **джококуит**. И у всех, как и в кольцах, четыре свободные вершины октаэдров заняты водой.

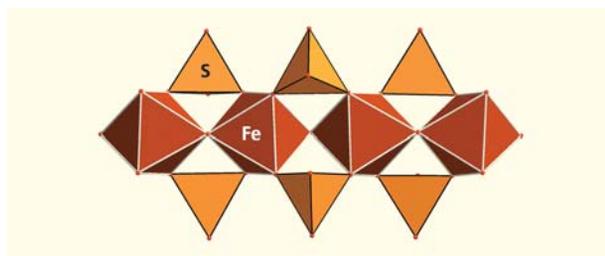
Подковообразные тримеры пригодились **кренкиту**, чтобы построить прямую цепочку. А две сво-



$\text{Na}_2[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{SO}_4)_2]$ кренкит

бодные вершины медных октаэдров заняла вода, которая вместе с Na участвует в связывании цепочек друг с другом.

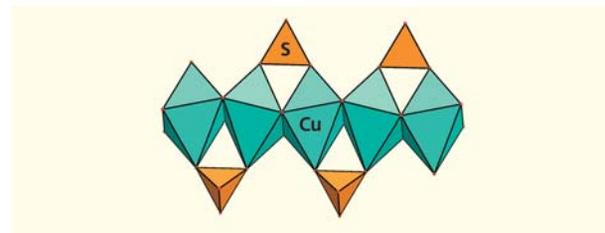
Сидеронатрит (и **метасидеронатрит**) укрепил цепочку еще больше, соединив железные октаэдры между собой ОН-вершинами.



$\text{Na}_2(\text{H}_2\text{O})_3[\text{Fe}(\text{OH})(\text{SO}_4)_2]$ сидеронатрит

Так же поступили железные **бутлерит**, **парабутлерит**, **фиброферрит** и магниевый **уклонсковит**, но при этом сэкономили половину тетра-

эдров, стянув октаэдры попеременно то с одной, то с другой стороны. Цепочки получились кривобокими, «пьяными». И назвали их кизеритовыми, хотя в **кизерите** цепочек как таковых нет, а есть каркас с их участием. **Линарит** использовал эту идею, но соединил медные октаэдры ребрами



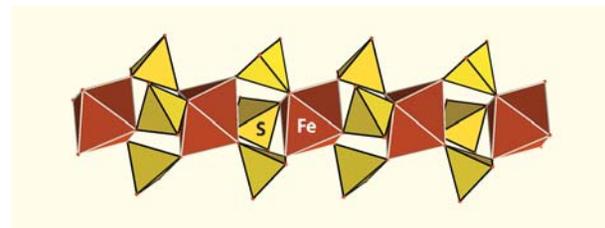
$\text{Pb}[\text{Cu}(\text{SO}_4)(\text{OH})_2]$ линарит

и сделал цепочки более устойчивыми и менее кривобокими. **Копиапит**



же создал гибридную цепочку, где сидеронатритовое звено чередуется с халькантитовым. Между гибридными цепочками находятся дополнительные октаэдры из молекул воды. Отец семейства копиапит и его брат **феррикопиапит** — железные во всех отношениях (простите, во всех октаэдрах), а у членов семейства есть выбор (но только среди свободных октаэдров). Имена у них неприятельские, и сразу можно понять кто есть кто — **алюмокопиапит**, **магнезиокопиапит**, **цинкокопиапит**, **кальциокопиапит**, **купрокопиапит**. Воды в них очень много — и свободной, и в октаэдрах. Сооружения эти нестабильные и относятся к числу «сезонных».

Сидеронатрит и **ферринатрит** одинаковы по названию (и ferric, и sideros означает железо) и по

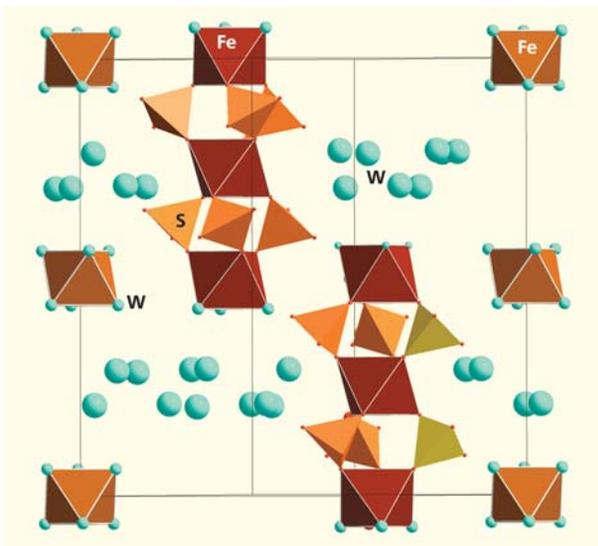


$\text{Na}_2(\text{H}_2\text{O})_3[\text{Fe}(\text{SO}_4)_3]$ ферринатрит

составу (Fe+Na). Но цепочки у них разные. Если можно объединить октаэдры двумя тетраэдрами (как в кренките), то почему бы их не соединить тремя тетраэдрами? И ферринатрит реализовал этот смелый проект. Его примеру последовал **пиракмонит**. Такую же колонну, но не железную, а алюминиевую, предъявил новичок **алюмопиракмонит** $(\text{NH}_4)_3[\text{Al}(\text{SO}_4)_3]$, прибывший прямо из кратера итальянского вулкана. Температура действующего fumarольного вулкана небольшая

(всего-то 250°C), и, по слухам, новичок хорошо себя чувствует на открытом воздухе.

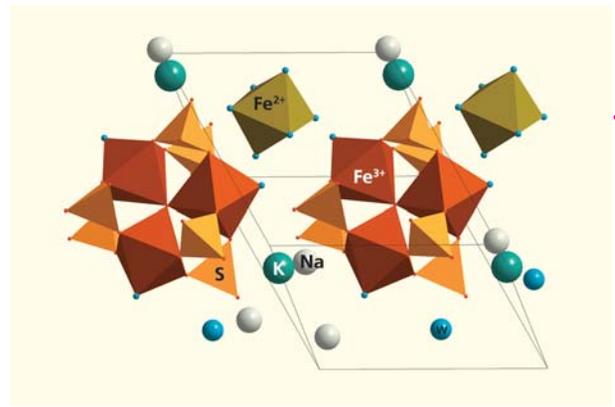
О грандиозных колоннах заговорили как о стройках века. Что там самый высокий небоскреб Бурдж Халифа в г.Дубаи — и высотой-то он всего 828 м, и этажей в нем только 162. Но дорогостоящий проект не всем по карману. Когда попытались построить очередную колонну и объединили три железных октаэдра шестью тетраэдрами серы, ресурсы закончились (а может их и разворовали). Строительство, как это часто бывает, заморозили, а недостроенное сооружение использовали как жилую высотку, которую кокетливо назвали **кокимбит** (и соответственно **паракокимбит**). Сера заняла своими тетраэдрами два этажа, но дом ока-



$[\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_6(\text{H}_2\text{O})_6][\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ кокимбит

зался сырым — вода и в подвале, и на крыше, и вокруг здания. А между высотками плавают спасательные шлюпки — железные октаэдры $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]$ (в **алюминококимбите** железные шлюпки заменены на алюминиевые). Но это никого не смутило. Живут же люди в Венеции, где повсюду вода, а по каналам плавают гондолы (правда, деревянные и развлекательные). Зато сами высотки настолько прочные, что их находят и в растворах.

Не всем нравится жить в небоскребах — хотя бы и на собственных этажах. Друзья (три атома железа и шесть атомов серы) решили по-другому обустроить свое жилище в **метавольтине**, что в переводе с греческого означает «с вольтином» (кто такой вольтин, никто не знает). Путешествуя по Индии, приятели видели, как вокруг какого-нибудь святого селятся его ученики. Так случилось и с Раманой Махарши, который 16-летним школьником тайно покинул родительский дом, чтобы пребывать в одиночестве и без помех общаться с Богом. Сначала вокруг него строились хижинки из пальмовых листьев — для «преданных», а впо-



$\text{K}_2\text{Na}_6\text{Fe}^{2+}[\text{Fe}_3^+\text{O}(\text{SO}_4)_6]_2 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ метавольтин

ледствии там выросло поселение ашрам, куда стекались паломники со всего света. И такие ашрамы в Индии насчитываются тысячами. Друзья решили построить свой ашрам, поместив в его центр атом кислорода, общий для трех железных октаэдров, а сера своими тетраэдрами объединила их попарно в круглое сооружение. По водным пространствам, как и в кокимбите, плавают изолированные железные октаэдры.

Понадобились и помощники-зарядогасители K и Na (но ведь и в индийских ашрамах кто-то обслуживает святого, его «преданных» и бесчисленных паломников).

Хлоротионит $\text{K}_2[\text{CuCl}_2(\text{SO}_4)]$ превзошел всех своей оригинальностью. Он назвал себя по составу (Cl+S), будучи уверенным: все знают, что по-гречески сера — тион. Объединив медные октаэдры не экваториальными, а косыми ребрами («цис», по научному), он получил зигзагообразную ленту, такую прочную, что и укреплять не нужно. И сера просто прилепилась своим ребром к ребру октаэдра. Конечно, несчастные октаэдры сильно перекосились — одно ребро у них оказалось значительно короче трех других. Но серу это не обеспокоило. Главное, что она пристроилась.

Серия пятая

Уединиться среди водных пространств — мечта любой серы, но такая жизнь полна опасности. Вода легко испаряется, и постройки разваливаются или перестраиваются. Наиболее прочными оказываются сооружения, которые обходятся минимальным количеством воды, — сетки и каркасы. Всем известно о превращении гипса в ангидрит и бассанит, эпсомита — в гексагидрит, да и сам гексагидрит не отличается устойчивостью и на воздухе теряет две молекулы воды. Есть и другие примеры.

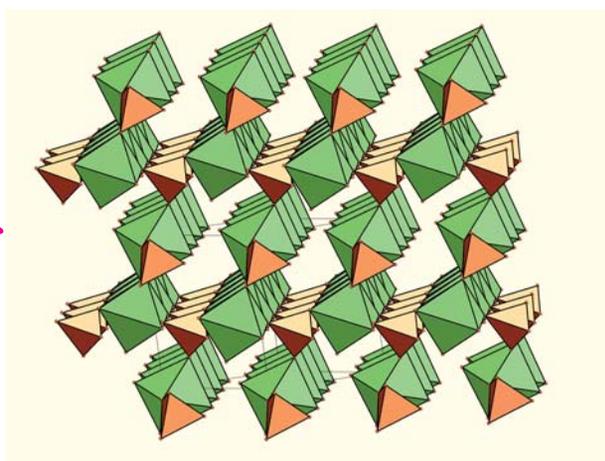
Мирабилит уже при 35°C теряет все 10 молекул воды и превращается в каркасный **тенардит** Na_2SO_4 . Правда, сера опять оказывается зажатой между октаэдрами, но все же лучше, когда на реб-

Древнейший фракталытаме

ра давит натрий, а не кальций (как в гипсе и ему подобных).

При высыхании метавольфина его округлые «ашрамы» перестраиваются в сетки **гольдичита** $K[Fe(H_2O)_2(SO_4)_2] \cdot 2H_2O$. Железные октаэдры, стянутые двумя тетраэдрами серы, напоминают четверные кольца роценита, которые располагаются в шахматном порядке и соединяются с соседними через дополнительные тетраэдры серы. Сетка настолько смята, что в ее складках помещаются и вода, и калий, необходимый для гашения отрицательного заряда.

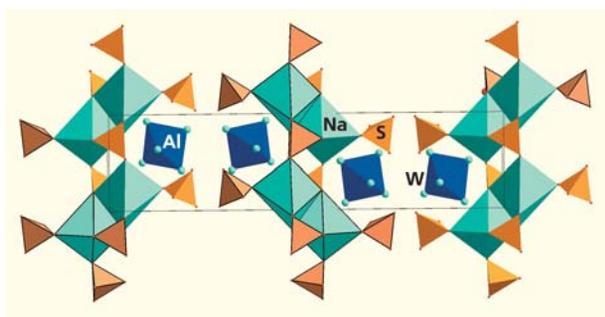
Халькантит теряет две молекулы воды (свободную и одну из окружения меди) и превращается в светло-голубой **бонатит** не только на откры-



$[Cu(H_2O)_3(SO_4)]$ бонатит

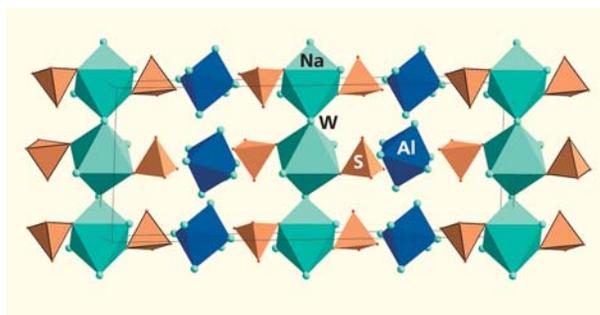
том воздухе, но даже в музейных залах. Бонатиту повезло, ему особенно и трудиться не пришлось. Он построил свой каркас из готовых халькантитовых цепочек, расположив их в шахматном порядке, а сера третьей вершинкой своего тетраэдра зацепилась за октаэдр соседней цепочки, перпендикулярной первой. Каркас получился нейтральным и не нуждался ни в каких гасителях заряда.

Но особенно драматична история квасцов. Натриевый **тамаругит** и калиевый **амариллит** родом из Чили и названы по месту проживания (Та-



$Na[Al(H_2O)_6](SO_4)_2$ тамаругит

маругал-Пампа и Тьерра-Амарилья). Их родители — простые квасцы. Но в сезон засухи разразился водяной кризис. Конечно, алюминиевых и железных олигархов он не затронул. Они попрежнему сохранили шесть молекул воды, а с простым народом делиться водными ресурсами не захотели. Обезвоженные трудящиеся массы натрия в **мендоците** соединили свои октаэдры вершина-



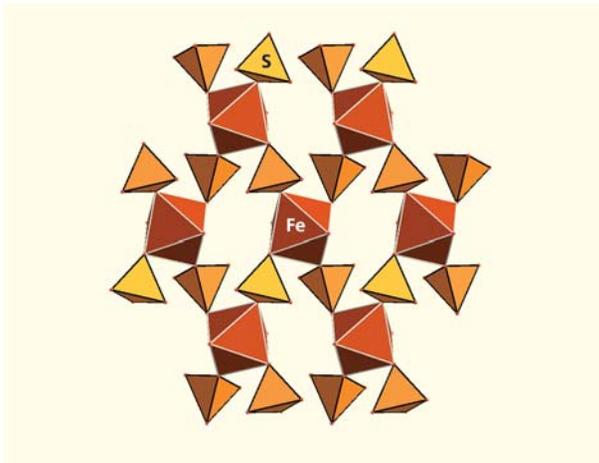
$Na(H_2O)_3[Al(H_2O)_6](SO_4)_2 \cdot 2H_2O$ мендоцит

ми в цепочки и пошли на Болотную площадь с акцией протеста. К ним примкнула и сера. Из принципа. Вода-то ей не нужна. Требования протестующих были удовлетворены частично. На всех никаких болот не напасешься (того и гляди, последние пересохнут). Выделили по три капли (то бишь молекулы) воды на душу натрия. И еще две буферные — в запас (вдруг кому-то в толпе станет плохо). Демонстранты вздохнули свободнее и расположились лагерем, чтобы добиваться своих требований до конца. Часть серы разошлась по домам, но наиболее идейные не покинули оппозицию. Однако вскоре лагерь разогнали, а воду у народа отобрали совсем. Демонстранты разбрелись парами, пошатываясь и подпирая друг друга плечом (простите, ребром). И тут стало заметно, что мендоцит изменился до неузнаваемости. И на самом деле он (и его калиевый собрат амариллит) стали совсем другими минералами — **тамаругитом** и **калинитом**. И тогда все заговорили о «рождении нового гражданского общества»...

Строительство сеток и каркасов выгодно еще и потому, что экономятся не только водные ресурсы, но и сера.

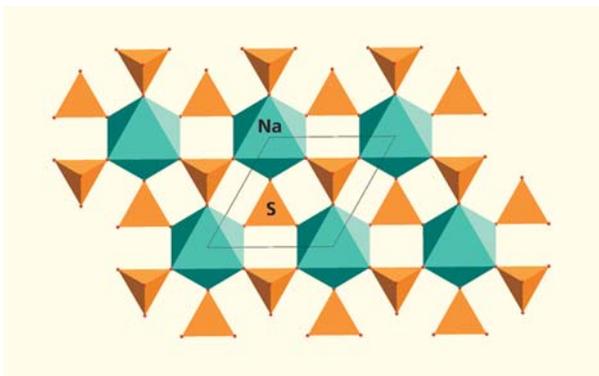
В **ромбоклазе** для строительства сеток используются блоки полигалита. При их объединении на каждый железный октаэдр требуется не четыре серы, как в полигалите, а вдвое меньше.

В стабильном (при атмосферных условиях) **циркосульфате** $[Zr(H_2O)_4(SO_4)_2]$ такие же сетки, но из Zr-восьмигранников. Новичок **лейдетит** $[Fe(H_2O)_6][UO_2(H_2O)(SO_4)_2] \cdot 4H_2O$, только что прибывший из Франции и названный в честь открывшего его минералога К.Лейдета, заменил железные октаэдры на урановые семигранники, а между сетками оставил железо в октаэдрах из молекул воды (вместе с четырьмя запасными). Не-


 $(\text{H}_2\text{O})_2[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{SO}_4)_2]$ ромбиклаз

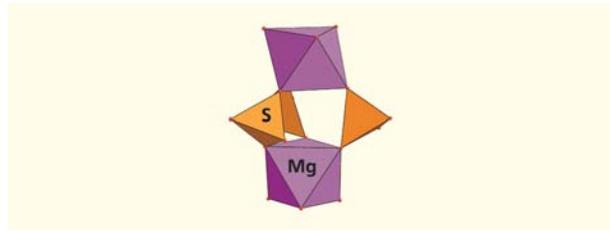
удивительно, что тяжелые урановые сети с трудом удерживаются слабыми водородными связями, того и гляди развалятся.

В **глазерите** сетка построена из унгемахитовых вертушек с натрием в сердцевине. На каждый октаэдр там приходится два тетраэдра серы (вместо шести в унгемахите). Между сетками расположились в 10- и 12-вершинниках крупные калии. Глазериту есть чем гордиться — его белые плотные корки устойчивы на воздухе! Покопавшись в греческом словаре, он нашел себе подходящее имя — **афтиталит**, что означает «неизменяемая соль». Имя прочно закрепилось за ним и теперь мало кто называет его по старинке — глазеритом.


 $\text{K}_3[\text{Na}(\text{SO}_4)_2]$ афтиталит

В **пальмерите** $\text{K}_2[\text{Pb}(\text{SO}_4)_2]$, названном в честь директора обсерватории на Везувии П.Пальмери, такие же сетки, но свинцовые, и сдвинуты они относительно друг друга в двух направлениях.

Изобретение афтиталита оказалось настолько удачным, что его использовала не только сера, но и многие другие. Строители меняли состав и ориентацию тетраэдров, относительно друг друга сдвигали сетки и варьировали между ними состав.


 $\text{K}_2[\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3]$ лангбейнит

Лангбейнит и его марганцевый родственник **манганолангбейнит** построили ажурный каркас из фрагментов ферринатритовой колонны. Недостроенную же разобрали по кирпичику — их Н.В.Белов называл «китайскими фонариками». Они состоят из двух октаэдров Mg (или Mn), соединенных тремя тетраэдрами серы, которые свободными вершинками соединяют эти фонарики с соседними. Жить под ними светло, но укрыться от посторонних глаз совершенно невозможно. Лангбейниту остается гордиться тем, что он оптически активный, а у его брата обнаружена еще и чистая сегнетоупругость.

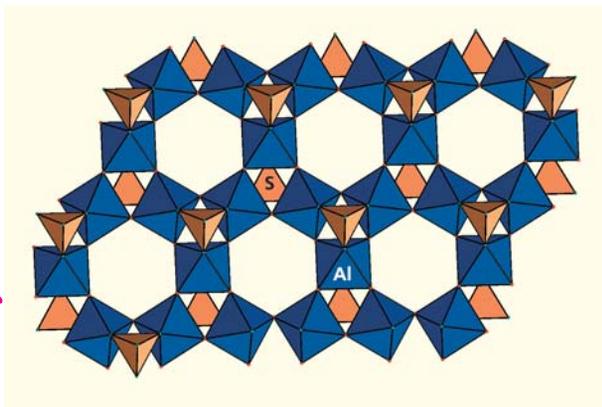
Но особенно удобными строительными блоками оказались цепочки. Из них можно собрать любую конструкцию — и стенки, и каркасы.

В **корнелите** $[\text{Fe}_2(\text{H}_2\text{O})_6(\text{SO}_4)_3] \cdot 1.25\text{H}_2\text{O}$ (названном в честь некоего венгра Корнеля Хлавачека) железные сетки построены из вихляющихся халькантитовых цепочек, которые в местах сближения объединяются ребром дополнительных тетраэдров серы.

Гильдит $[\text{CuFe}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_4(\text{SO}_4)_2]$ построил свои железные сетки из сидеронатритовых цепочек. В них октаэдры железа соединяются вершинами. Тетраэдры серы стягивают их с двух сторон ребром, а третьей вершиной опираются на медный октаэдр, находящийся между цепочками.

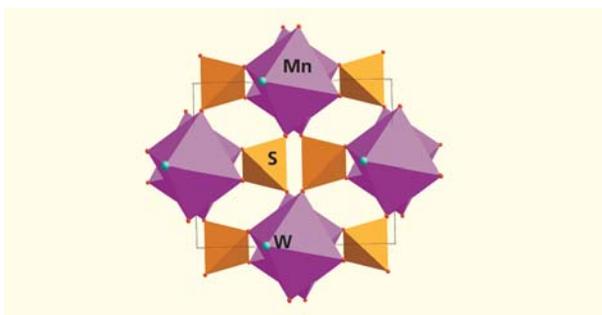
Явапаит $\text{K}[\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]$ тоже создал железные сетки, но другого фасона — из кренкитовых цепочек (изолированных октаэдров, связанных двумя тетраэдрами), которые замыкаются друг на друга третьими вершинами тетраэдров. Объединяют эти сетки атомы калия.

В построении алунитовой сетки участвуют «кизеритовые» цепочки вершинносвязанных октаэдров, стянутых поочередно тетраэдрами серы. Цепочки параллельны друг другу и объединяются дополнительными октаэдрами. Сетки, между которыми расположились в своих 12-вершинниках крупные катионы, довольно прочные и не растворяются не только в воде, но и в слабых кислотах. Они пользуются заслуженной популярностью в семействе **алунита—ярозита**, насчитывающем более 40 членов. Особенно широко распространены желтые корки ярозитов в отходах шахт. Это семейство научилось поглощать элементы из растворов и подрядилось контролировать состав стоков.

K[Al₃(SO₄)₂(OH)₆] алуни́т

Поскольку оригинальных имен на всех не напасть, родители (алуни́т K[Al₃(OH)₆(SO₄)₂] и ярозит K[Fe₃(OH)₆(SO₄)₂]), не заморачиваясь, назвали родственников простенько и со вкусом — **натроалуни́том**, **натроярозитом**, **гидрониярозитом**, **плюмбоязрозитом**, **аммониярозитом**, **аргентоярозитом**. Конечно, удобно, когда имена говорят сами за себя, не то, что алюминиевые **минамит**, **осаризаваит**, **биверит** и **левигит**. Ну а как-то приходится американскому мормону Джо Джессопу! В своем преклонном возрасте (90 лет) Джо возглавляет огромное семейство, в котором пять его жен, 46 собственных детей и 239 таких же собственных внуков (община в штате Юта придерживается полигамных браков). Не мудрено запутаться в женах, не говоря уж о детях и внуках.

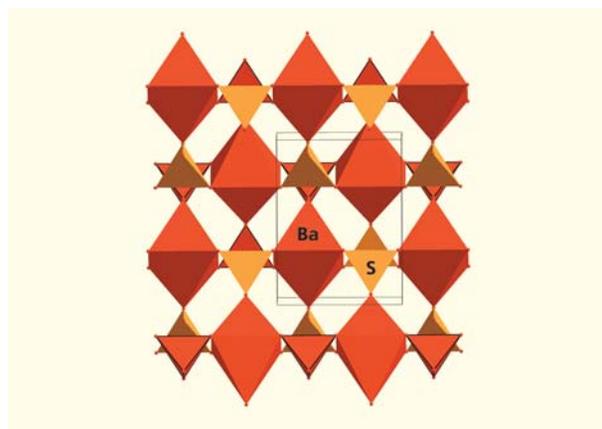
Из таких же кизеритовых цепочек построены каркасы и в **кизерите** [Mg(H₂O)SO₄], и в **смиките** [Mn(H₂O)SO₄]. Получается, что кизерит, названный в честь Д.Г.Кизера — президента Йенской академии, — использовал для строительства каркаса цепочки своего же имени.

[Mn(H₂O)SO₄] смикит

Сомольнокит, **ганингит**, **пуатвенит** и **дворникит** взяли за образец смикитовую постройку, а чтобы отличаться друг от друга, каждый выбрал цепочку по своему вкусу: железную, цинковую, медную и никелевую. Медные стенки **натрохальцита** Na[Cu₂(OH)(H₂O)(SO₄)₂] образуются из лина-

ритовых цепочек (октаэдров соединяются по ребрам и поочередно с двух сторон стягиваются тетраэдрами серы), объединенных через третьи вершины тетраэдров. Довольно плотные стенки с трудом удерживаются натрием.

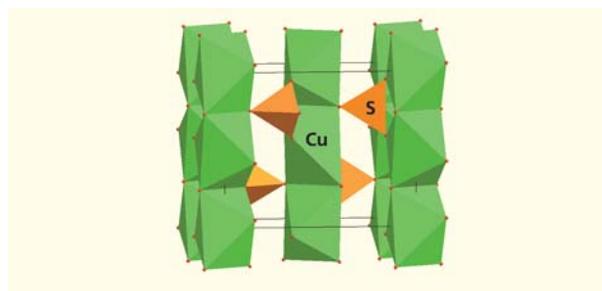
Барит (BaSO₄) и **англезит** (PbSO₄) построили свой каркас также из линаритовых цепочек. Конечно, цепочками их назвать трудно. Из-за гро-

[BaSO₄] барит

моздких и сильно искаженных октаэдров бария (и свинца) они больше напоминают колонны или сваи. Последние расположены в шахматном порядке, а сера свободным ребром тетраэдра дотягивается до соседних свай. И барит и англезит славятся идеально ограненными призматическими и таблитчатыми кристаллами, сростками и друзами самых разных расцветок — от снежно-белых до серых, голубых, желтоватых, зеленоватых и красноватых. Кристаллы настолько прочны, что их не берет ни вода, ни кислота. Но главная их особенность — высокая плотность (4.5 г/см³ у барита и 6.38 г/см³ у англезита).

А вот **целестину** (SrSO₄) не повезло: хотя он тоже достаточно плотный (почти 4 г/см³), его постройка растворяется в концентрированной серной кислоте.

В каркасах **халькокианита** [CuSO₄] и **цинкочита** [ZnSO₄] сваи построены из таких же октаэдров, но более изящных — медных и цинковых.

CuSO₄ халькокианит

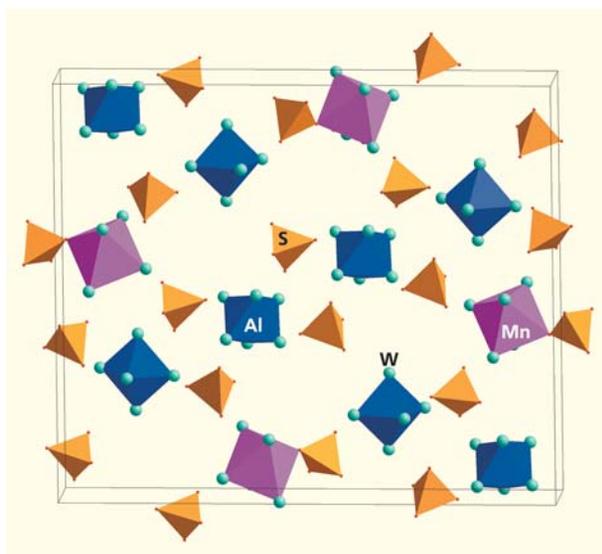
Может показаться, что жизнь на сваях не комфортная, но сера так не считает. Ведь живет же папуасское племя короваев на о.Новая Гвинея в хижинах, построенных на сваях. И в этом много преимуществ помимо свежего воздуха и вида на четыре стороны. Туда не заползают никакие гады и не залетают кровожадные москиты. Одно неудобство — забираться в эти жилища на высоте 8-го этажа по шаткой вертикальной жерди с зарубками не просто. Но к этому короваи быстро привыкают и ловко карабкаются даже с поклажей — поросенком за спиной, да еще и с ребенком подмышкой.

Серия шестая

Заканчивая экскурсию по стране отшельников, Сера задумчиво произнесла: «Может показаться, что в общинах все одинаковы. Но это не так. Выбор есть у каждого (конечно, в пределах дозволенного). Ведь степень самоизоляции бывает разной. Среди людей это явление приняло масштабы эпидемии. Они даже придумали тесты, чтобы определить, кто хики, а кто обыкновенные лентяи. Но у народа Серы это не болезнь, а норма жизни». В **галотрихите**



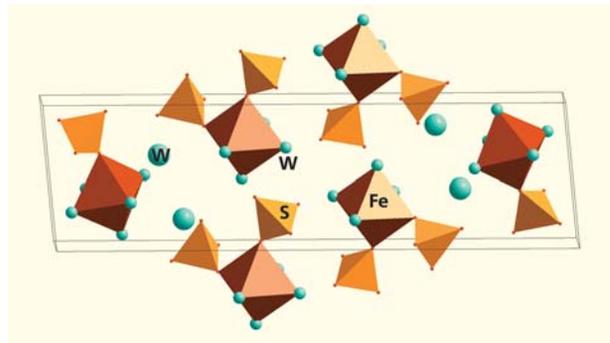
тетраэдрам серы предоставляется полная независимость от октаэдров алюминия. Но для тех, кто так и не решился на полную самостоятельность, контакты с железными октаэдрами не возбраняются. Сам галотрихит железный (как и подобает отцу семейства). Свое имя он получил за шелковистый, волокнистый вид — от латинского *halotribum*, что означает «соляные волосы». А его семья состоит из марганцевого **апджонита**, магниевого **пиккерингита**, железного (Fe^{3+} вместо Al) **би-**



$[\text{Mn}(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_5][\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]_2[\text{SO}_4]_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ апджонит

линита, цинкового **дитрихита** и кобальтового **вупаткиита**. И везде только одна сера пристроена к октаэдру в виде димера, а три другие независимы. Они изолированы водными пространствами (благо воды предостаточно — 22 молекулы на четыре серы). Но это серу не беспокоит. Живут же в тропических лесах Мексики без контактов с внешним миром племена индейцев хач виник (что в переводе означает «настоящие люди»). Лес дает им все, в чем они нуждаются.

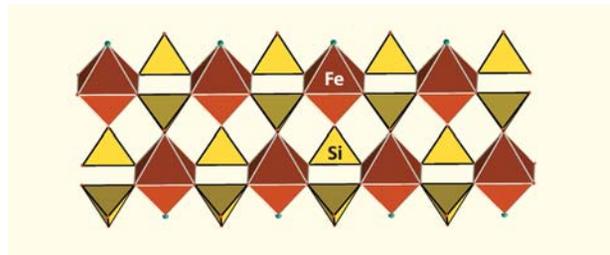
В **квенштедтите** все тетраэдры серы объединились с октаэдрами, но по-разному: одни у мина-



$[\text{Fe}^{3+}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{SO}_4)_2][\text{Fe}^{3+}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{SO}_4)] \cdot \text{H}_2\text{O}$ квенштедтит

срагрита и кситишанита позаимствовали идею димера, а другие у ремерита — тример-подкову.

Краузит построил свои широкие ленты из двух кренкитовых цепочек, объединив их через



$\text{K}[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})(\text{SO}_4)_2]$ краузит

вершины внутренних тетраэдров, которые теперь имеют лишь одну свободную вершину, в то время как внешние тетраэдры — две.

Рансомит $[\text{CuFe}_2(\text{H}_2\text{O})_6(\text{SO}_4)_4]$ создал сетки из краузитовых лент, объединенных через медные октаэдры водородными связями. Сетки оказались слишком тяжелы, и потому рансомит легко растворяется в воде.

Гогманнит (названный в честь горного инженера из Чили Т.Гохманна, открывшего минерал) и **амарантит** (в переводе с греческого — «пурпурный») имеют почти одинаковый состав $[\text{Fe}_2\text{O}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{SO}_4)_2] \cdot 3-4\text{H}_2\text{O}$. Что и понятно, так как они близкие родственники (амарантит — частично обезвоженный гогманнит). В них содержатся

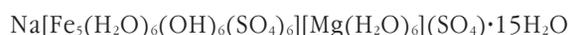
Дипломатский фракцистатив

одинаковые ленты, но уложенные по-разному: параллельно в гогманните и в шахматном порядке в амарантите. Сами ленты широкие и замысловатые и составлены из фрагментов халькантитовых и кизеритовых цепочек. Внешние тетраэдры серы принадлежат только исходным цепочкам и имеют две свободные вершины, а внутренние участвуют как в исходных цепочках, так и в объединенных. У них лишь одна свободная вершина.

Замысловатая лента содержится и в **ботриогене** $Mg(H_2O)_5[Fe(OH)(H_2O)(SO_4)_2] \cdot H_2O$, который в переводе с греческого означает «гроздь винограда». Основой ленты служит вроде бы сидеронатритовая цепочка, где, как вы помните, октаэдры железа соединены вершинами, а тетраэдры серы их с обеих сторон стягивают. Но если присмотреться внимательней, то окажется, что половина тетраэдров действительно стягивает (к тому же третьей вершиной они притянули еще и самостоятельный Mg-октаэдр), а другая половина, наоборот, отцепилась от своей цепочки и связана с ней только одной вершиной. Вот такие разные эти тетраэдры серы.

А в сетках **сингенита** и **кокタイトа** некоторые тетраэдры серы полностью отказались от свободы и всеми своими ребрами объединили колонки Са-девятивершинников, в то время как другая часть осталась не у дел и просто прислонилась к ним ребром. Стенки получились шершавыми (чем и отличаются от гипса).

Вантгоффит $Na_6[Mg(SO_4)_4]$ позаимствовал у унгемачита его вертушки, заменил в них Fe на Mg, расположил в шахматном порядке и объединил в сетку. Но он не учел, что в афтиталите вертушки лежат плоско и все тетраэдры оказываются в одинаковом положении, а у него повернуты боком. И у каждой вертушки четыре тетраэдра «работают» и имеют только две свободные вершины, а два тетраэдра «отдыхают», зацепившись одной вершиной за октаэдр. Сетка поэтому получилась корявая и мятая. Зато в ее складках и закоулках уютно разместились многочисленные натрии. **Славикит**



назван в честь чешского минералога с ласковой фамилией Ф.Славик. Дырявая сетка минерала состоит из бутлеритовых, сильно изогнутых железных цепочек, которые в местах сближения с соседними цепочками соединяются дополнительными железными октаэдрами и двумя тетраэдрами серы. Зато в дырках можно хранить Na и молекулы воды, а между сетками — изолированные октаэдры магния и независимые тетраэдры серы.

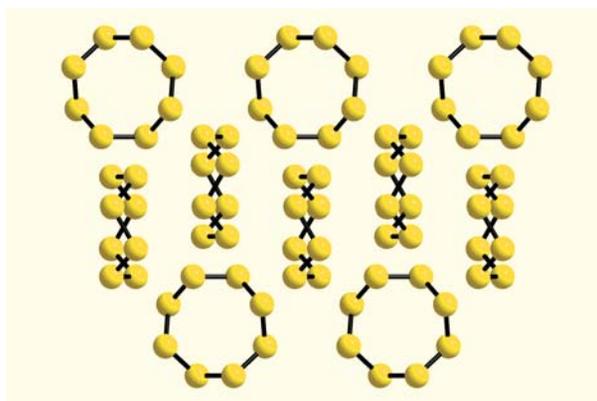
В **левите** $Na_{12}[Mg_7(H_2O)_{12}(SO_4)_9](SO_4)_4 \cdot 3H_2O$, названном в честь немецкого химика А.Леве, тетраэдры серы также двух типов. Одни участвуют в построении каркаса в компании с магниевыми октаэдрами. Другие находятся в полостях каркаса среди многочисленных натриев и свободных молекул воды.

«И во всех этих случаях никто не в обиде и никто не завидует, потому что каждый выбрал свою судьбу сам», — подытожила Сера.

* * *

От всего увиденного Кремний впал в уныние. Он и представить себе не мог, как разнообразны мотивы самоизоляции и варианты ее реализации. Кремний осознал всю пропасть, разделяющую его с любимой. Никогда не быть им вместе, ведь они такие разные. Он привык жить в больших силикатных семьях. Он коммуникабелен и уживается почти со всеми жителями минерального мира. Правда, и среди его сородичей бывают отшельники, но это вопрос их выбора. А Сера не сможет преступить закон своего народа и соединиться с кем-бы то ни было. Как же быть? Выкрасть любимую — значит погубить ее. Он слышал о предании, как один пылкий юноша уговорил молодую девушку бежать вместе с ним. Он не знал, что секрет ее молодости в том, что она энергетически связана с другими членами своего сообщества. Как только они покинули пределы обители, девушка покрылась морщинами и на его глазах состарилась и умерла.

Нет, это не выход. Он согласен страдать, лишь бы любимая была жива. Прощаясь, Кремний обещал никогда ее не забывать, но вдруг понял, что о ней-то он ничего не знает. «Ты познакомила меня со всей своей родней, а о себе ничего не рассказала», — промолвил он. «Прости, я должна была поведать тебе о своей тайне. Мое имя — **Сера Самородная**. Все члены нашего рода окружены четьрьмя кислородами, некоторые тремя, а то и дву-



самородная сера

мя. И только у меня нет ни одного. Ты можешь заглянуть в меня и убедиться, что, кроме моих собственных восьмерных колец, там ничего нет. Да-да, эти гирляндочки — тоже кольца, только повернутые на 90°. Но не жалея меня. Я не чувствую себя одинокой. Я самодостаточна. Эти прекрасные кольца дарят мне гармонию, а гармония и есть счастье. Я самая счастливая на Земле».

«И самая красивая», — вздохнул принц. ■

Кто изобрел радар?

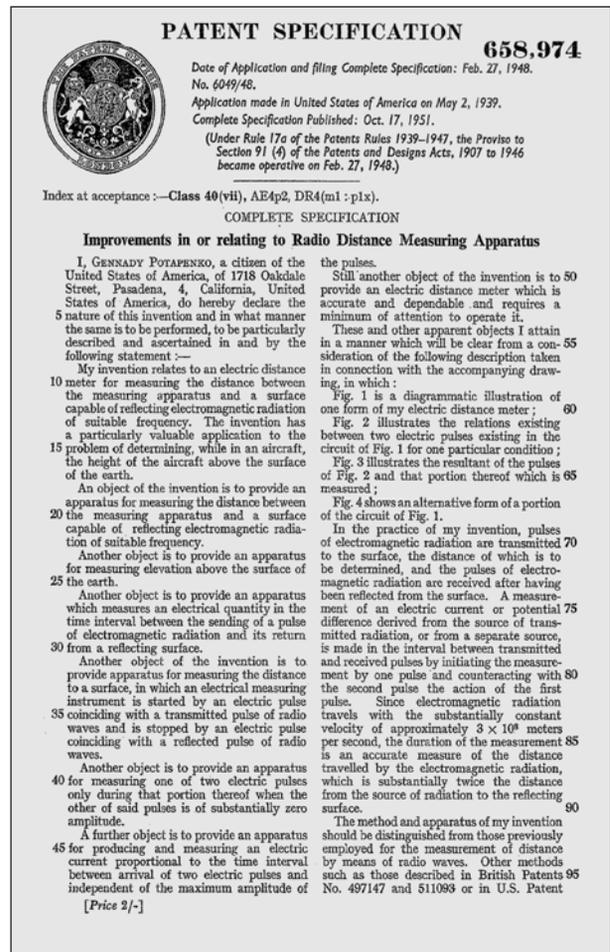
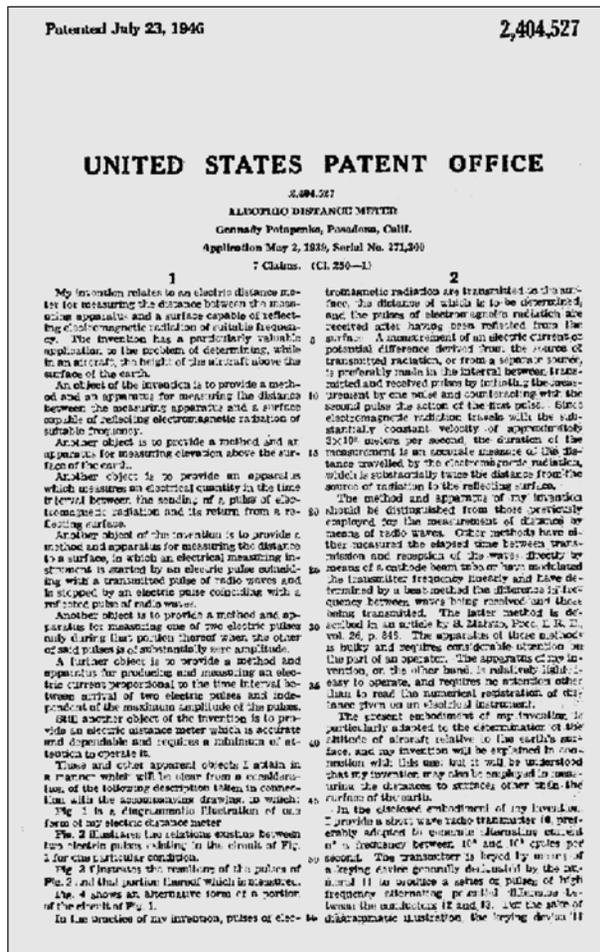
Из истории изобретений российского физика Г.В.Потапенко в Америке

Ф.В.Каминский,
доктор геолого-минералогических наук
Ванкувер, Канада

Кто изобрел радар? Странный вопрос... «Большая советская энциклопедия» и «Википедия» дают на него вполне определенный ответ: в январе 1934 г. по заданию Главного артиллерийского управления Красной Армии пеленгование самолетов с помощью радиоволн было осуществлено установками с использованием дециметровых радиоволн (50–60 см) под руководством

Ю.К.Коровина [1]. Основную идею создания радиолокационных установок предложил в 1934 г. П.К.Ощепков [2], она получила одобрение высшего военного командования, и уже в 1936 г. советская сантиметровая радиолокационная станция «Буря» засекла самолет с расстояния 10 км. В дальнейшем исследования развивались в Ленинградском электрофизическом и Ленинградском физико-технологическом институтах. Одновременно велись работы в Московской лаборатории Управления проти-

© Каминский Ф.В., 2014



Патенты Г.В.Потапенко на радар, выданные в 1939 г. в США (слева) и в Великобритании.

воздушной обороны, возглавляемой Ощепковым. При этом известно, что отечественные радиолокационные станции оружейной наводки (СОН) решали только задачу пеленгования, т.е. определения направления вектора СОН-цель. Задача дальности, т.е. измерения длины вектора СОН-цель, была решена в СССР только в послевоенное время.

Но вот у меня в руках патент на «Измерение расстояния с помощью электричества» с датой приоритета 2 мая 1939 г. на имя Геннадия Потапенко. А вот и другой — на «Определение расстояния с помощью радиоаппаратуры» с той же датой приоритета, — выданный на то же имя и также никогда не упоминавшийся в отечественных публикациях. Объект обоих патентов — определение летящей цели (самолета) и расстояния до него, включая высоту, с помощью дециметровых прямоугольных волн частотой 100 МГц — 1 ГГц, испускаемых импульсным генератором, который был сконструирован Потапенко.

Объяснение простое: патенты Потапенко выданы не в СССР, а в США и Англии, и до сравнительно недавнего времени они также были конфиденциальными. Тем не менее русское имя изобретателя, автора американского и английского патентов, заинтриговывает. Поиски в архивах выявили весьма интересную информацию как об изобретении, так и о его авторе — нашем полузабытом талантливом соотечественнике, который волей судьбы свои главные изобретения и открытия сделал, работая за рубежом.

Ранняя биография. Работы в России и Германии

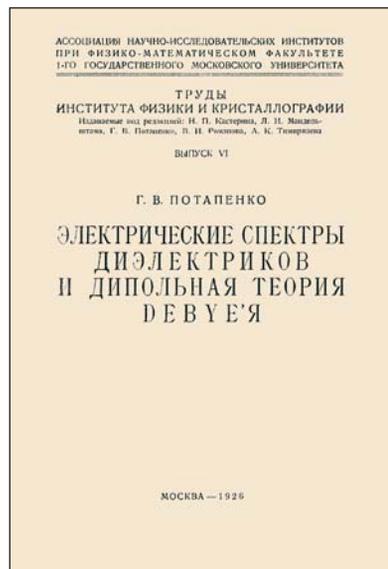
Геннадий Васильевич Потапенко родился в г.Кимры Тверской губернии 25 марта 1894 г.¹ В 1913 г. он поступил на физико-математический факультет Московского университета, где был воспитан в классических традициях школы П.Н.Лебедева, перешедшей к тому времени к П.П.Лазареву. Уже в студенческие годы проявилась склонность Геннадия Васильевича к научной работе, появились его первые публикации, и поэтому после окончания университета в 1917 г. — на три года позже С.И.Вавилова и П.З.Эпштейна и на год раньше И.Е.Там-

¹ Автор глубоко благодарен О.В.Потапенко-Каминской за долгое и бережное хранение личных архивов Г.В.Потапенко, а также Ш.Эрвин и Л.Каркинс за помощь в работе с архивами «Калтех».



Геннадий Васильевич Потапенко.
1920-е годы.

Фото из архива Г.В.Потапенко



Одна из первых монографий Потапенко, опубликованных Институтом физики и кристаллографии МГУ в 1926 г.

ма — он был оставлен на факультете «для приготовления к профессорскому званию». В те годы руководителем Потапенко был профессор А.П.Соколов, прививший ему интерес к изучению электромагнитных колебаний, что и определило дальнейшую специализацию Геннадия Васильевича в этой области. В 1920-х годах Потапенко начал работы в области ультракоротких волн (УКВ) в Институте физики и кристаллографии (с 1928 г. — Научно-исследовательский институт физики) при Московском государственном университете, в котором собрались ведущие московские физики: С.И.Вавилов, Г.С.Ландсберг, М.А.Леонтович, Л.И.Мандельштам, А.Б.Млодзеевский и др. [3]. В «Трудах» этого института Потапенко опубликовал свои первые монографии. Он выполнил работы по исследованию токов высокой частоты («токов Тесла», как они тогда назывались), по спектральному анализу органических и неорганических соединений, экспериментальной проверке теории электролитов Дебая, короткопериодическим колебаниям в водных растворах, поглощению и дисперсии этих колебаний в различных органических соединениях и другим вопросам, за что был удостоен премии по физике Российского научного общества за 1928 г. В частности, он впервые установил расхождение экспериментальных данных по абсорбции УКВ жидкими диэлектриками с дипольной теорией диэлектриков Дебая [4]. Эти работы были позднее продолжены им в Калифорнийском технологическом институте.

Помимо исследовательской работы в университете Геннадий Васильевич читал в МГУ курсы лекций по электромагнитной теории света и электромагнитным колебаниям и волнам. В 1920-х

годах, в условиях острой нехватки квалифицированных профессорско-преподавательских кадров в Советском Союзе, Потапенко, не прекращая работ в МГУ, заведовал кафедрами физики в Московской горной академии (1917—1931), Ярославском университете (1924—1926) и Московской сельскохозяйственной академии (1929—1931).

В эти годы определился особый интерес Потапенко к ультракоротким волнам, которые в то время были новой, малоисследованной областью физики. Сейчас УКВ имеют широкое применение, трудно представить многие отрасли, включая телевидение и космическую связь, без них. Но следует помнить, что они были впервые получены на рубеже метровых и дециметровых волн Г.Баркхаузенном лишь в 1920 г. Геннадий Васильевич увеличил частоту колебаний, уйдя в дециметровую область, и уже первая его статья на эту тему, опубликованная в Германии [5], вызвала интерес у европейских физиков. По приглашению В.Нернста, нобелевского лауреата 1921 г., Потапенко проработал несколько месяцев в 1927 г. в Физическом институте Берлинского университета, где впервые встретился с М.фон Лауэ и А.Эйнштейном; а в 1929 г. по приглашению М.Борна он продолжил исследования и читал лекции в Гёттингенском университете.

В этот период Потапенко сконструировал новый источник УКВ с рекордной для того времени длиной волны около 10 см (что соответствует частоте излучения в 3 ГГц) [6], а затем и 3.5 см [7], с помощью которого проведена первая узконаправленная связь в дециметровом диапазоне (на длине волны 15 см) между Лондоном и Парижем. Для этого в 1930 г. в обоих городах были построены 30-метровые вышки, на вершинах которых установлены металлические отражатели диаметром около 3.5 м, а перед ними — небольшие (1 дюйм) параболические антенны¹. Мощность источника была невелика, менее одного ватта². Тем не менее этот УКВ-генератор Потапенко служил для связи между Лондоном и Парижем несколько лет³.

«Калтех», Пасадина

В 1929 г. Геннадий Васильевич получил стипендию Рокфеллеровского фонда, которая в то время позволяла российским ученым в течение года стажироваться в зарубежных лабораториях. Этой стипендии в 1920-х годах были удостоены около десятка российских физиков, в том числе: Г.А.Гамов, Л.Д.Ландау, К.Д.Синельников, Д.В.Скобельцын, Я.И.Френкель, В.А.Фок — все они представители ленинградской школы А.Ф.Иоффе [8]. Буду-

щим нобелевским лауреатам И.Е.Тамму и Н.Н.Семенову получить рокфеллеровскую стипендию не удалось, единственным стипендиатом среди московских физиков оказался Потапенко. Благодаря стипендии он смог в 1930 и 1931 гг. поработать в физической лаборатории им.Нормана Бриджа в Калифорнийском технологическом институте в Пасадине, знаменитом «Калтехе», где он продолжил и существенно развил свои работы по УКВ⁴.

Геннадий Васильевич не собирался оставаться в США. У него был обратный билет на трансатлантический лайнер. Однако, уже возвращаясь, Потапенко приехал из Калифорнии в Нью-Йорк в августе 1931 года и обнаружил, что пароходная компания существенно (чуть ли не вдвое) подняла цены и аннулировала купленные полтора года назад билеты для него и его жены. Три месяца длились его попытки восстановить билеты. До конца 1932 г. Потапенко обращался по этому вопросу в МГУ и другие организации, но ответа не получил. Его сестра О.В.Потапенко вспоминала позднее, как безуспешно пыталась добиться покупки обратных билетов для своего брата в научном отделе Высшего совета народного хозяйства. После трех месяцев ожидания, в ноябре 1931 г., Геннадий Васильевич был вынужден принять приглашение Р.Милликена, ректора «Калтеха», на постоянную научную профессорскую работу. Следует учитывать, что в то время — в самый разгар экономического кризиса 1929—1933 гг. — получить работу в США даже американским гражданам было практически невозможно. В Москве, в МГУ и Сельскохозяйственной академии Потапенко числился профессором до 1932 г., в некоторых статьях 1932 г. он указывал свою принадлежность к МГУ, но на самом деле туда он не вернулся и до последних лет жизни был связан с американской наукой. Сегодня «Википедия» сообщает о нем как об «американском радиоастрономе русского происхождения».

В те годы «Калтех» был элитным университетом, вошедшим в первую пятерку университетов мира. Он и сегодня занимает верхние строчки в рейтингах, редко «опускаясь» в низы первой десятки; а последние два года в классификации THE (Times Higher Education) «Калтех» стоит на первом месте. Его ректор Милликен — лауреат Нобелевской премии 1923 г. за работы в области фотоэлектрического эффекта и за измерения заряда электрона. Ему за 30 с лишним лет руководства «Калтехом» удалось обеспечить прекрасное финансирование университета и привлечь к работе таких выдающихся ученых, как К.Андерсон, Л.Полинг, Р.Оппенгеймер, Р.Соренсен, Ф.Цвикки, П.Эпстайн (он, кстати, также выпускник Московского университета, Павел Зигмунтович Эпштейн) и др. — нобелевских лауреатов, членов Национальной академии. Всего в «Калтехе» рабо-

¹ Los Angeles Times. 27 April 1934; Pasadena Post. 3 May 1934; Pasadena Post. 8 February 1939.

² Pasadena Independent. 18 October 1934.

³ Pasadena News. 9 February 1935.

⁴ Rockefeller Fund Fellowship Doctor G.W.Potapenko, N.S. №40/2938 и №40/29533.

тали или учились 32 лауреата Нобелевской премии. Некоторые из них в своих мемуарах вспоминают о Потапенко как о «колоритном русском изобретателе».

Генераторы УКВ. «Калифорнийский Маркони»

В «Калтехе» Потапенко продолжил свои исследования в области генерации, изучения и применения УКВ. Существовавшая теория генерирования длинных волн оказалась неприменимой в сантиметровом диапазоне, и приходилось продвигаться вперед на ощупь. Квантовая теория в то время предсказывала поглощение УКВ и невозможность их распространения. Однако Геннадию Васильевичу удалось теоретически обосновать получение сантиметровых волн вплоть до частоты 1 ГГц [9] и впервые получить радиоволны длиной порядка 10 см, а затем и 1 см [10]. Им была создана классификация и теория УКВ [10, 11].

Анализируя прохождение УКВ в различных средах, Потапенко установил ферромагнитные свойства кобальта, найдя ему применение в качестве материала для сердечников электромагнитов¹ [12]. Фундаментальным следствием высокоточных измерений распространения ультракоротковолновых колебаний в различных материалах стало подтверждение теории Г.Дарвина и Ф.Цвикки о вторичной структуре кристаллов. Основа этой теории — понятие об элементарных единицах кристаллов («миков») размером 10^{-4} – 10^{-5} см и о структурных дефектах (точечном, линейном и др.) между ними. Некоторыми современными учеными представления о вторичной структуре кристаллов рассматриваются в качестве фундамента экспериментальной химии твердого тела [13]. Потапенко удалось определить, что размеры микроблоков кристаллов органических соединений должны быть порядка нескольких сотен нанометров².

Когда осенью 1933 г. «Калтех» посетил Г.Маркони, ему продемонстрировали ряд разработанных в университете приборов. При виде одного из них — действующего генератора волн длиной около 5 см (т.е. частота генератора была в двадцать раз больше, чем удалось получить самому Маркони), созданного Потапенко совместно с Р.Зандером — знаменитый итальянский изобретатель «широко открыл глаза от изумления»³. С тех пор американские газеты стали называть Потапенко калифорнийским Маркони, а ежемесячный журнал «Electronics» поместил его фотографию вместе с УКВ-генератором на обложке ноябрьского выпуска 1933 г.

¹ Los Angeles Times. 21 September 1933.

² Los Angeles Times. 21 February 1935.

³ Los Angeles Times. 21 October 1933.



Обложка журнала «Electronics». Ноябрь 1933 г.

Использование УКВ открывало большие перспективы в различных областях. Прежде всего, передача УКВ требует на два порядка меньше энергозатрат по сравнению с обычными радиоволнами; в наши дни космическая связь ведется только в ультракоротковолновом диапазоне (1.5–30 см). Была установлена возможность нагрева материалов в поле УКВ — метод, которым мы теперь ежедневно пользуемся на кухне, приготавливая еду в печах СВЧ; намечены перспективы использования УКВ в биологии, медицине, химии⁴. Благодаря одному из изобретений Потапенко, УКВ стали применяться при закладке зерна на элеваторах, так как они уничтожают бактерии, тем самым повышая сохранность зерна. Обработка лаковых поверхностей автомашин УКВ значительно улучшала качество покрытия⁵.

Продолжая свои работы, выполненные в МГУ, Геннадий Васильевич исследовал поглощение УКВ в различных средах, теперь уже в диапазоне от 130 до 18 см. Рассматривая результаты поглощения УКВ в спиртах и глицерине, Потапенко снова обнаружил расхождение экспериментальных данных с теорией электролитов Дебая. Согласно последней, максимумы поглощения волн молекулами (как диполями) должны зависеть от их разме-

⁴ Los Angeles Times. 22 January 1937.

⁵ Pasadena Post. 8 February 1939.

ров, однако этого не наблюдалось. Молекулы спирта, например, поглощают значительно более высокочастотные волны, чем следовало бы ожидать при их размерах [14]. Поглощение УКВ в растворах аминокислот и дипептидов на фиксированной длине волны 25.5 см также показало расхождение экспериментальных и теоретических данных [15]. Потапенко сделал вывод, что не молекулы в целом, а лишь их гидроксильные части располагаются ориентированно и определяют реальное поглощение УКВ¹. После войны он снова вернулся к этим работам, изучив поглощение волн в растворах жирных кислот. Аномальное поглощение УКВ в жирных кислотах оказалось обусловленным ориентацией всей молекулы как единого целого, т.е. дипольные карбоксильные группы жирных кислот не обладают свободной магнитной ориентацией, независимой от остальной части молекулы [16].

Особенно интересным стало применение УКВ в биологии и медицине. Геннадий Васильевич установил, что облучение растений УКВ, в отличие от радиоволн меньших частот, не стимулирует, а, наоборот, замедляет рост растений вплоть до их гибели при длительном (более минуты) облучении² [17]. Потапенко показал, что метровые волны производят только нагревание живых организмов, тогда как сантиметровые УКВ в зависимости от их частоты воздействуют на разные части живых организмов по-разному³. Осенью 1938 г. известный лондонский доктор Дж.Бэйтман приехал в «Калтех» и несколько недель вместе с Потапенко проводил изучение воздействия УКВ на различные биологические соединения и человеческое тело⁴. Выяснилось, что наряду с благоприятными кратковременными воздействиями УКВ на организм в некоторых случаях они оказывают обратное действие. При этом сантиметровые УКВ в целом способствуют уничтожению бактерий⁵. Последнее открытие привело к созданию системы «Aseptic Air», на которую Геннадий Васильевич оформил патент в США (№ 3239305), Англии и Австралии. Эта система позволяла уничтожать в воздухе более 99.99% бактерий, способствуя стерильности хирургических операций. Она широко применялась в 1940—1960-х годах в больницах Калифорнии и Канады.

В 1940-х годах действие УКВ оказалось востребованным военной медициной — для лечения ран, травм и некоторых заболеваний. По заданию Отделения медицины Флота США Потапенко составил инструкции для служебного пользования: «Электромагнитные характеристики человечес-

кого тела» (1942)⁶, в которой описывается применение электрошоковой терапии для лечения некоторых видов паралича и инсульта; «Гиперпульсирующие токи» (1943)⁷ и «Гиперпульсационная машина» (1943)⁸. Они включали данные об успешных примерах электромедицинского заживления ран с помощью пульсационных разрядов с интервалами от 0.0001 до 0.001 с.

В конце 1930-х годов, обобщив результаты своих работ по электромагнитным колебаниям, включая их теорию, законы генерации и поглощения в различных средах, Геннадий Васильевич подготовил монографию «Распространение и поглощение электрических волн», которая была объявлена к публикации в издательстве «Clarendon Press» в Оксфорде на 1940 г. Рецензию на рукопись и предисловие к монографии подготовил Гамов. К сожалению, начавшаяся война помешала этому. Полностью подготовленная к изданию рукопись сохранилась в архивах «Калтеха»⁹.

Узконаправленная радиосвязь. Радар

Причина, по которой Маркони, не только знаменитый изобретатель, но также итальянский сенатор и член Большого фашистского совета, так заинтересовался работами Потапенко во время своего визита в «Калтех» в 1933 г., была не столь бытовой или чисто научной. К тому времени уже установили, что узконаправленный пучок радиоволн может служить надежным средством специальной связи. Назревало создание нового, очень перспективного радиолокационного метода обнаружения удаленных объектов в военной технике, и ведущие страны уже вели заочную гонку в его разработке. Эти работы осложнялась тем, что размер регистрируемого объекта (мишени) должен быть больше, чем длина волны. Чем меньше длина волны, тем выше разрешающая способность радиолокации. Сам Маркони в то время активно работал в области микроволновой связи, но ему удалось генерировать лишь 50-сантиметровые радиоволны. Разумеется, американские армия и флот также интересовались этой перспективной задачей. В марте 1934 г. большая группа адмиралов во главе с командующим флотом США Д.Зеллерсом посетила «Калтех». Особый интерес у адмиралов вызвали

¹ Los Angeles Times. 9 January 1938.

² Pasadena Post. 20 November 1939.

³ Los Angeles Times. 9 January 1938; Pasadena Post. 6 November 1937; Pasadena Post. 17 November 1937; Pasadena Post. 8 February 1939.

⁴ Pasadena Post. 2 October 1938.

⁵ Los Angeles Times. 3 April 1938.

⁶ Potapenko G.W. Electric characteristics of the human body // Caltech Archives in Pasadena. Papers of Gennady W.Potapenko. Box 5.

⁷ Potapenko G.W. On the Hyper-Pulsating Current and its properties related to stimulating of nerves and muscles // Caltech Archives in Pasadena. Papers of Gennady W.Potapenko. Box 1.

⁸ Potapenko G.W. The Hyper-Pulse Machine // Caltech Archives in Pasadena. Papers of Gennady W.Potapenko. Box 1.

⁹ Potapenko G.W. Absorption and Dispersion of Electric Waves // Caltech Archives in Pasadena. Papers of Gennady W.Potapenko. Box 4.



Гитлер, Муссолини и Хирохито под действием радара. Карикатура из журнала «Life», 9 августа 1943 г.

лаборатория Потапенко и созданная им аппаратура, позволявшая вести конфиденциальные радиопереговоры на море с помощью узконаправленного пучка радиоволн¹.

Дальнейшие исследования УКВ в прикладных целях велись Геннадием Васильевичем в двух направлениях: разработка узконаправленной служебной радиосвязи и создание радара. Для этого он совершенствовал свой УКВ-генератор, доведя длину волны до трех², а затем до одного сантиметра³. В то же время помимо магнетронного источника волн Потапенко создал самую миниатюрную в мире радиолампу с вольфрамовой сеткой из нити сечением 0.2 мм. Эту микросетку, которая была меньше глаза мухи, в течение двух лет собирал новый рокфеллеровский стипендиат из Китая Ч. Менг. Частота колебаний, излучаемых этой лампой⁴, достигала 30 ГГц.

Вскоре в развитии узконаправленной служебной радиосвязи встретились трудности. Обнаружилось сильное атмосферное поглощение ультракоротких волн, особенно в дождь и туман⁵. Однако было установлено, что поглощение водой затрагивает УКВ лишь в определенном диапазоне, от 10 см до 0.1 мм. УКВ-сообщения на длинах волн более 10 см проходят почти без потерь⁶. Поэтому Потапенко совместно с Эпстайном в 1936 г. организовал экспериментальное исследование распростра-

нения и поглощения метровых волн над морем⁷. Это имело очень большое значение как для узконаправленных УКВ-передач, так и для зарождавшегося тогда телевидения, которое также использовало УКВ. К тому времени Маркони в Италии уже провел аналогичные эксперименты по распространению УКВ с суши на море и предположил, что эти волны изгибаются вокруг поверхности Земли. Разработка конструкции и сборка аппаратуры заняли у Потапенко полтора года, и летом 1938 г. были проведены опыты УКВ-связи на морской станции «Калтеха» в г. Корона дель Мар. Излучение УКВ в диапазоне 1 и 5 м велось с берега; уверенный прием сигналов в море был на расстоянии в несколько десятков километров, т.е. намного дальше зоны прямой видимости. Эпстайн объяснял распространения УКВ вне зоны прямой видимости дифракцией волн либо их отражением от слоя Хевисайда в ионосфере⁸.

Одновременно продолжалось создание радарной системы, работающей в дециметровом и сантиметровом диапазонах. Геннадий Васильевич, по видимому, первым применил в радиолокации импульсное излучение, которое, в отличие от непрерывного, не требует модуляции. Его установка позволяла точно определять расстояние до летящей цели и при этом одновременно фиксировать несколько целей. Преимуществами сантиметровых радаров по сравнению с ранее развивавшимися системами, работавшими в метровом диапазоне, были, во-первых, высокое разрешение, позволявшее вести малые объекты, и, во-вторых, их небольшие размеры, что в дальнейшем дало возможность создать бортовые радарные устройства. Система Потапенко позволяла получать высокое разрешение изображения и определять расстояние до объекта с большой точностью. Первые опыты использования радаров Потапенко с импульсным излучением для обнаружения объектов на расстоянии около 15 км состоялись в 1936 г. в окрестностях Лос-Анджелеса и дали отличные результаты⁹. При этом от наблюдателя не требовалось проведения никаких дополнительных операций, кроме чтения данных на экране приемника. Радарная система Потапенко была основана на применении коротких прямоугольных импульсов. Впервые примененные Геннадием Васильевичем такие импульсы в дальнейшем легли в основу почти всех радаров.

¹ Los Angeles Times. 14 March 1934.

² Pasadena Independent. 18 October 1934.

³ Pasadena Post. 28 January 1941.

⁴ Pasadena Post. 8 May 1936; Pasadena Post. 6 July 1936; Los Angeles Times. 19 June 1936.

⁵ Pasadena Post. 11 May 1934.

⁶ Pasadena Independent. 18 October 1934; Pasadena News. 9 February 1935.

⁷ Pasadena Post. 17 June 1936; Pasadena Star-News. 19 June 1936.

⁸ Pasadena Post. 1 October 1938.

⁹ Pasadena Star-News. 28 June 1962.

В 1936—1946 гг. описание конструкции радара и вообще любые сведения о нем были засекречены. В июле 1946 г. Потапенко выдали американский, а в феврале 1948 г. — английский патенты на радар. Они были датированы 1939 г., что свидетельствовало о его приоритете¹. Британский патент зарегистрирован 2 мая 1939 г., перед самым началом Второй мировой войны. Трудно переоценить значение этого изобретения и его своевременность. У.Черчилль в своей книге «Вторая мировая война» отмечал огромную роль радиолокационной системы в защите Англии от немецких бомбардировщиков. В 1939 г. Министерство авиации Великобритании построило береговую сеть радарных станций, которая, используя 10-метровые волны, позволяла обнаруживать самолеты, приближающиеся со стороны моря, на расстоянии до 60 миль (почти 100 км). К сентябрю 1940 г. радарная система защиты Англии, основанная на изобретении Потапенко, была «доведена» до возможностей практического использования, а ее практический эффект проявился в полной мере весной 1941 г., когда в первые две недели мая во время налетов на Лондон было уничтожено более 70 немецких самолетов².

Данные о других разработках Потапенко военных лет до сих пор остаются вне архивов «Калтеха». Известно, что он, в частности, создал систему охлаждения двигателей бомбардировщиков, это позволило существенно увеличить высоту их полета. За свои военные работы, сведения о которых и в настоящее время остаются неполными, Потапенко получил в 1955 г., к десятилетию окончания войны, звание командора и Золотой крест рыцарей Кипра и Иерусалима. Этой награды был удостоен ряд американских ученых, работы которых способствовали победе в войне (в том же году Золотым крестом был награжден еще один американский ученый русского происхождения, «отец телевидения» В.К.Зворыкин).

Астрофизика и геофизика

В сентябре 1932 г. К.Янски, инженер из «Bell Telephone Laboratories», проводя изучение атмосферного распространения и поглощения метровых радиоволн на полигоне своей компании в Нью-Джерси, обнаружил странные сигналы на частоте 20.5 МГц (что соответствует длине волны около 14 м). 27 апреля 1933 г. он доложил свои резуль-

¹ «Electric distance meter», United States Patent №2404527. Inventor: Gennady Potapenko. Application May 2, 1939. Publication Date: 07/23/1946. Primary Class: 342/134. International Classes: G01S7/282; G01S7/28. «Improvements in or relating to Radio Distance Measuring Apparatus», Great Britain Patent №658974. Inventor: Gennady Potapenko. Application May 2, 1939. Complete specification published — Feb. 27, 1951.

² Churcbill W.S. The Second World War. London; Toronto, 1950.



Диплом Потапенко о награждении его Золотым крестом рыцарей Кипра и Иерусалима.

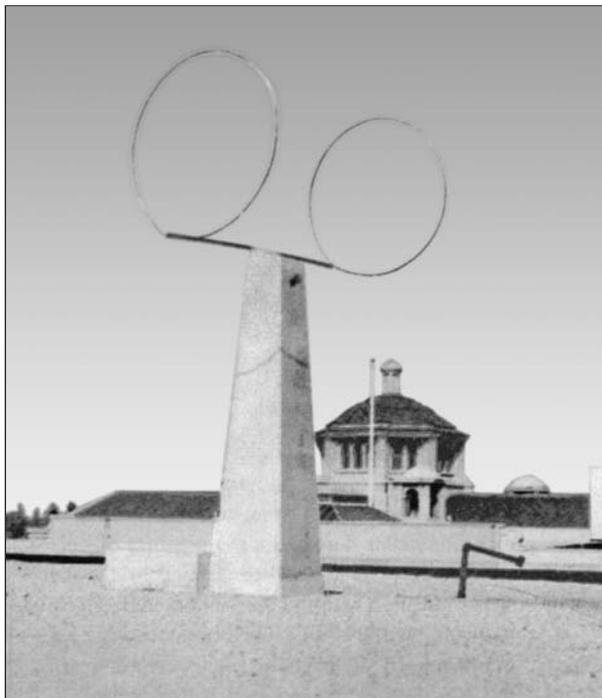
Фото из архива Г.В.Потапенко

таты на конференции физиков в Вашингтоне, предположив, что источник сигналов находится в космосе. Эта дата считается днем рождения астрофизики.

Летом того же года Потапенко подтвердил наличие «космического шума» в коротковолновом диапазоне и на заседании Астрономического и физического общества Калифорнии 27 октября 1933 г. сделал вывод, что эти сигналы имеют, скорее всего, межзвездный источник³. В феврале 1936 г. он совместно со своим студентом Д.Фолландом более детально изучил эти сигналы⁴ с длиной волны 14.6 м. Для этого Геннадий Васильевич сконструировал антенну с двумя вращающимися петлями, ориентированными по экватору. Работу с ней он начал на крыше физической лаборатории им.Нормана Бриджа в «Калтехе», однако индустриальные шумы заглушали все остальные сигналы. Чтобы избежать помех, Потапенко и Фолланд выехали в пустыню Мохаве. В первую же ночь наблюдений они уловили сигнал, максимум которого исходил из созвездия Стрельца. Сильнейший ветер на следующий день разрушил конструкцию, и дальнейшие наблюдения проводились с упро-

³ Los Angeles Times. 28 October 1933.

⁴ Pasadena Star-News. 5 March 1936; Pasadena Star-News. 12 June 1936.



Двупетлевая антенна, с помощью которой Потапенко и Фолланд впервые зафиксировали галактическое излучение весной 1936 г. На основании высотой 2 м размещены две вращающиеся петли (каждая диаметром около 1 м), ориентированные по экватору. Фотография сделана на крыше физической лаборатории им.Нормана Бриджа в «Калтехе» [18, p.45, fig.3.9].

щенной антенной в виде диполя длиной 10 м, который был установлен на мачте высотой 8 м. Даже с этой упрощенной системой ученым удалось получить детальные характеристики излучения [18]. 14 февраля 1936 г. Потапенко доложил результаты наблюдений на конференции в «Калтехе» и вслед за Янски определил источник сигналов в центре Млечного Пути¹.

После этого стало ясно, что для дальнейших исследований необходимы более серьезные приемные устройства. Геннадий Васильевич сделал проект новой антенны и привлек для его воплощения Р.Портера, одного из главных создателей 200-дюймового телескопа Паломарской обсерватории. В результате появился эскиз вращающейся ромбической антенны размером 55×27.5 м. Однако они не смогли убедить Милликена выделить для строительства этой антенны тысячу долларов. Янски также не мог получить поддержки своим работам. Активные исследования космического шума прервались до окончания Второй мировой войны.

В 1937 г. калифорнийская компания «Geo-Frequentia Corp.» обратилась в «Калтех» с просьбой о разработке методов распознавания нефтенос-

ных резервуаров на глубине. Помимо того, что этот заказ приносил крупное финансовое инвестирование (им занимался лично Милликен), это была одна из интереснейших научных задач по прохождению электромагнитных волн в различных средах, и она была поручена Геннадию Васильевичу. С этого начались его работы по геофизике, которые продолжались в течение 1940—1950-х годов. Теоретическая часть задачи по прохождению электромагнитных волн в многослойных средах была разработана Эпстайном². Практическим результатом стала разработка методов электромагнитного каротажа, на которые Потапенко получил несколько патентов США — как на методику исследований³, использующую специфику прохождения в породах электромагнитных волн частотой от 0.01 до 100 Гц, так и на оригинальную аппаратуру⁴. В дальнейшем эта методика и ее модификации успешно применялись компанией «Шелл»⁵. Геофизические исследования были продолжены Потапенко в 1950-х годах, когда он руководил интерпретацией магнитных и гравиметрических съемок на западном побережье США, а затем в 1950—1960-х годах, когда он усовершен-

² Caltech Archives in Pasadena. Papers of P.S.Epstein. Box 27-41, 30-6 («Potapenko's problem»).

³ US Patents №2139460, №2190320 и №2190322.

⁴ US Patents №2190321 и №2190323.

⁵ Case Histories of an Electromagnetic Method for Petroleum Exploration. Zonge Engineering & Research Organization, Inc., 1983. P.317.

B-2—STAR-NEWS, PASADENA, WEDNESDAY, JUNE 6, 1979

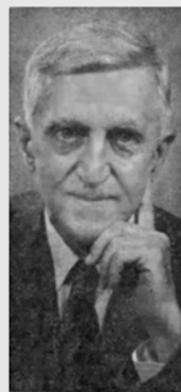
Retired Caltech savant Potapenko dies at 85

Prof. Gennady W. Potapenko, 85, a Caltech scientist who designed a cooler for superchargers that enabled bombers to fly higher and also invented an air purifying system for hospital operation rooms, died Friday.

Prof. Potapenko retired in 1962 after 32 years of teaching and conducting research projects in physics and geophysics at Caltech.

He was a member of the American Physical Society, the American Geophysical Union, the American Association for the Advancement of Science and the Society of Exploration Geophysicists.

Born in Kimry, Russia, he graduated from the University of Mos-



G.W. POTAPENKO
.inventor

cow and received his advanced degrees from that institute. He did research work on short

radio waves there and at the University of Berlin. He also taught at the University of Goettinger.

He had written four monographs and 32 scientific papers on his research in physics and geophysics and had received several decorations for his work.

During World War II, he invented the first centimeter (ultra short wave) radar picture and improved the instrument as a distance indicator. He also owned American and British patents on the radar inventions.

He is survived by two sisters who live in Russia.

Arrangements are being handled by Forest Lawn Mortuary in Glendale.

¹ Pasadena Star-News. 14 February 1936.

Некролог Г.В.Потапенко в газете «Pasadena Star-News» 6 июня 1979 г.

ствовал методы, с помощью которых можно интерпретировать результаты каротажа нефтяных скважин [19]. К этому времени в «Калтехе» развилось геофизическое направление, и Потапенко читал курс лекций по геофизическим методам разведки полезных ископаемых, руководил работами аспирантов, участвовал в работе ученых советов «Калтеха» вместе с известными сейсмологами Б.Гутенбергом и Х.Беньофом.

К 1960 г. Потапенко полностью подготовил к печати в издательстве «John Wiley & Sons» монографию «Интерпретация данных электрического каротажа скважин». Ее текст, таблицы и рисунки хранятся в архивах «Калтеха»¹. Что помешало ее выходу в свет — неизвестно.

Последние годы

В начале 1960-х годов в глянцево-м журнале «Америка», издававшемся посольством США в СССР, появилась статья с жизнеописанием некоторых россиян, успешно работавших в то время в Соединенных Штатах. В ней было рассказано также

о Потапенко. Это помогло ему установить связь с родственниками в СССР, о которых он ничего не знал более 30 лет. Через них Геннадий Васильевич связался с учеными, которые знали его по совместной работе в 1920-х годах. К тому времени они стали известными специалистами, академиками, один из них — лауреатом Нобелевской премии. Потапенко хотел приехать в Москву и выступить в Академии наук с докладом о своих работах. В беседах с родственниками он не исключал возможности своего возвращения на родину. Но приглашения от Академии наук не последовало...

Геннадий Васильевич скончался в июне 1979 г. и был похоронен в мавзолее кладбища Форест Лоун недалеко от Пасадины, где покоятся многие профессора «Калтеха». Местная газета поместила сообщение о смерти «видного ученого “Калтеха”», указав в качестве его главного достижения изобретение ультракоротковолнового радара, защищенного американским и британским патентами². Могилы же его родителей находятся в Кимрах. В центре города до сих пор стоит дом Потапенко — дом его отца и деда, оставивших заметный след в российской промышленности. Но это уже другая история... ■

¹ Potapenko G.W. Electric Log Interpretation // Caltech Archives in Pasadena. Papers of Gennady W.Potapenko. Box 2, 11.

² Pasadena Star-News. 6 June, 1979.

Литература

1. Кобзарев Ю.Б. Первые шаги советской радиолокации // Природа. 1985. №12. С.72—86.
2. Ощепков П.К. Современные проблемы противовоздушной обороны // Противовоздушная оборона. Вып.2. М., 1934. С.23—28.
3. Левшин Л.В. Физический факультет МГУ. М., 2001. С.21—22.
4. Потапенко Г.В. Электрические спектры диэлектриков и дипольная теория Debye'я. М., 1926.
5. Potapenko G. Die elektrischen Absorptions- und Dispersionsspektren von Methyl- und Athylalkohol im Bereiche von 30 bis 90 cm Wellenlänge // Zeitschrift für Physik. 1923. Bd.20. S.21—35.
6. Potapenko G. Über die ultrakurzen elektrischen Wellen, die nach dem Barkhausen schen Schema erzeugt sein können // Zeitschrift für Technische Physik. 1929. Bd.10. S.542—548.
7. Potapenko G. Ultrakurze elektromagnetische Wellen // Wissen und Fortschritt. 1929. Bd.3. S.4—7.
8. Френкель В.Я., Джосефсон П. Советские физики — стипендиаты Рокфеллеровского фонда // Успехи физических наук. 1990. Т.160. С.103—160.
9. Potapenko G. The production of ultra-short undamped electromagnetic waves // Physical Review. 1931. V.38. P.584—585.
10. Potapenko G. Investigations in the field of the ultra-short electromagnetic waves // Physical Review. 1932. V.39. P.625—637; 638—665; V.40. P.988—1001; V.41. P.216—230.
11. Potapenko G. Gill-Morrell and Barkhausen-Kurz oscillations // Nature. 1932. V.130. P.238—239.
12. Potapenko G., Sängler R. Magnetische Permeabilität der ferromagnetischen Metalle bei sehr hoher Frequenz // Naturwissenschaften. 1933. Bd.21. S.818—819.
13. Веснин Ю.И. Вторичная структура и свойства кристаллов. Новосибирск, 1997.
14. Keutner E., Potapenko G. Dispersion und Absorption kurzer elektrischer Wellen und Molekülstruktur // Physikalische Zeitschrift. 1939. Bd.40. S.100—104.
15. Bateman J.B., Potapenko G. Anomalous dispersion and absorption of electric waves in solutions of amino-acids and dipeptides // Physical Review. 1940. V.57. P.1185.
16. Potapenko G., Wheeler D., Jr. A new method of determining the relaxation time and the dipole moment of polar substances — its application to fatty acids // Reviews on Modern Physics. 1948. V.20. P.143—150.
17. Overbeek J.van, Brantley L.R., Potapenko G.W. Effect of ultra short radio waves on plant growth // Science. 1939. V.90. P.470—471.
18. Sullivan W.T., III. Cosmic Noise: A History of Early Radio Astronomy. Cambridge, 2009. P.44—45.
19. Potapenko G. Electric log interpretation. Pasadena, 1961.

Ньютон и Монетный двор

Ученый как очень эффективный менеджер

Ю.Л.Менцин,

кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга МГУ им.М.В.Ломоносова

Русский перевод книги американского историка и журналиста профессора Томаса Левенсона «Ньютон и фальшивомонетчик» (изданной в 2009 г.) вышел в свет в то время, когда принимался закон о создании Федерального агентства научных организаций (ФАНО), в ведение которого передаются функции управления имуществом Российской академии наук. Такое решение мотивировалось тем, что ученые в силу занятости и особого склада ума не могут эффективно заниматься таким далеким от задач научного познания делом, как управление своим имуществом. Ученые действительно обладают особым складом ума, но так ли они беспомощны в решении задач управления? На примере жизни гениального ученого Исаака Ньютона (1643—1727) можно увидеть, что это далеко не так.

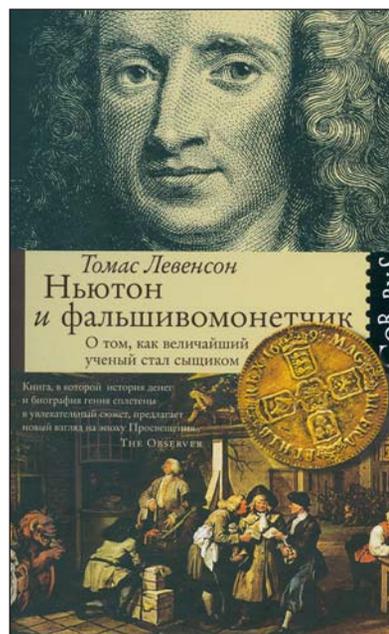
О выдающихся достижениях Ньютона в физике, механике, астрономии и математике в общих чертах знает (точнее, должен знать) каждый школьник, а о 30-летней (1696—1725) его деятельности в качестве главы Королевского монетного двора Англии знают, к сожалению, немногие. Между тем успехи Ньютона в области регулирования денежного обращения были не менее фундаментальны, чем его научные труды. Вот только один пример. Архивные документы, относящиеся к управлению Ньютоном Монетным двором, были обнаружены лишь в 1920-х годах. В 1936 г. они выставлялись

на аукционе в Лондоне, но вскоре были засекречены, так как содержащаяся в них информация могла помочь немецкой разведке. Иными словами, порядки, введенные в Монетном дворе Ньютоном, продолжали действовать и в XX в.

За заслуги перед короной Ньютон был возведен королевой Анной в 1705 г. в рыцарское достоинство. С того года он — сэр Исаак Ньютон. Но как гениальному ученому, занимавшемуся сложнейшими проблемами мироздания, удалось стать не менее гениальным финансистом и менеджером? Существенную помощь в ответе на этот вопрос может оказать рассматриваемая книга о Ньюtone, хотя его деятельность в Монетном дворе посвящен и ряд отечественных работ*.

Книга Левенсона соединяет в себе достоинства научного труда (обилие ссылок, в том числе на неизвестные ранее архивные материалы, подробный именной и предметный указатель) и мастерски написанной детективной истории. Есть и недостатки — некоторая поверхностность и неточности при изложении научных идей и результатов учено-

* См.: Вавилов С.И. Исаак Ньютон. 1643—1727. 4-е изд. М., 1989; Карцев В.П. Ньютон / Жизнь замечательных людей. Сер. биогр. М., 1987; Менцин Ю.Л. Монетный двор и Вселенная. Ученые у истоков английского «экономического чуда» // Вопросы истории естествознания и техники. 1997. №4. С.3—25; Дмитриев И.С. Незнакомый Ньютон. Силуэт на фоне эпохи. СПб., 1999.



Т.Левенсон. НЬЮТОН И ФАЛЬШИВОМОНЕТЧИК. О ТОМ, КАК ВЕЛИЧАЙШИЙ УЧЕНЫЙ СТАЛ СЫЩИКОМ / Пер. с англ. К.Бандуровского.

М.: ACT; CORPUS, 2013. 416 с.

го. Так, знаменитые опыты Ньютона со стеклянной призмой не сводились к простому пропусканию через нее лучей света и наблюдению возникающей радуги. Этот эффект был известен и до него. Заслуга Ньютона состояла в том, что он выстроил весьма сложную последовательность экспериментов, позволивших доказать, что белый свет именно разлагается призмой (т.е. имеет составную природу), а не, скажем, окрашивается ею. Недоумение, особенно у преподавателей школьной физики, может вызвать утверждение, что Луна удерживается на своей орбите благодаря уравнивающей силе центробежной силы силой притяжения (с.40, 41). Впрочем, подобные недочеты не снижают общей положительной оценки книги, от которой просто невозможно оторваться.

В центре внимания автора находится работа Ньютона, вначале в качестве смотрителя (Warden), а с 1699 г. — директора (Master) Монетного двора, а также его схватка в 1698—1699 гг. с фальшивомонетчиком Уильямом Чалонером. Казалось бы, Ньютону, гениальному ученому и главе Монетного двора, не солидно связываться с ничтожным, хотя и не лишенным некоторых талантов мошенником и провокатором. Однако, во-первых, Ньютон не умел прощать оскорблений — а Чалонер обвинил его ни много ни мало в мошенничестве и некомпетентности. Во-вторых, положение в стране было таковым, что, как говорится, спину верблюду могла переломить даже такая соломинка, как Чалонер, который к тому же пытался убедить всех в том, что именно он — лучший специалист по изготовлению денег. Неудивительно поэтому, что Ньютон, несмотря на фантастическую занятость, не пожалел времени, сил и средств, чтобы разоблачить преступную деятельность Чалонера и добиться для него смертной казни через повешение, приведенной в исполнение 22 марта 1699 г.

Левенсон рассказывает о том, как либерализация Англии, начавшаяся после свержения ненавистного короля Якова II в ходе «Славной революции» 1688 г., ослабила институты власти и поставила страну на грань катастрофы. Исключительно важную роль в приближении этой катастрофы, чреватой реставрацией свергнутого короля и началом массовых репрессий, сыграла массовая порча денег, прежде всего серебряных шиллингов, составлявших тогда наиболее существенную массу наличности. Предпосылкой такой порчи служило низкое качество чеканки монет, большая часть которых была изготовлена вручную. У таких монет, в частности, был гладкий ободок, что позволяло срезать с них кое-какие «излишки» и, затерев место среза грязью, пускать монеты в оборот. Каралась такая операция виселицей, но власть молодой конституционной монархии была еще слаба, а соблазн немного разбогатеть — велик. Поэтому порчей монет занимались тысячи людей, создавая тем самым идеальные условия для работы фальшивомонетчиков. В итоге деньги стремительно обесценивались, что вело к коллапсу торговли и производства.

Нельзя сказать, что правительство бездействовало. В частности, была налажена машинная чеканка прекрасных, с защищенным ободком шиллингов, содержащих положенное количество серебра. Но эти монеты сразу изымали из оборота. Их припрятывали или переплавляли в слитки и тайно вывозили за границу, где серебро по более выгодному курсу обменивалось на золото. Расплачиваться же все предпочитали порченными монетами, которые таким образом вытесняли из оборота полноценные деньги. Аналогичный процесс вытеснения был в 1560 г. описан английским финансистом Томасом Грэшемом и получил название «закон Грэшема» (или «закон испорченной монеты»). В соответствии с ним решить проблему

санации денежной системы поэтапными мерами было невозможно. Требовалось как-то сразу заменить *всю* денежную наличность, во всяком случае ее серебряную часть. (Золотые монеты по понятным причинам портили и подделывали довольно редко.) Другими словами, для спасения денежной системы требовалось изъять у населения и перечеканить все серебряные монеты.

В принципе такой способ обновления денежной системы был давно известен и иногда применялся. В Англии, например, последняя замена монет была проведена в середине XVI в. Но с тех пор прошло почти полтора столетия, объем денежной массы вырос во много раз, и было непонятно, возможно ли осуществить перечеканку таких масштабов. Тем временем положение становилось катастрофическим. В 1694—1695 гг. начались массовые банкротства, в стране назревала паника. В парламенте шли бурные дискуссии о наиболее приемлемых путях проведения реформы, получившей название «Великая перечеканка» (Great Recoinage). Требовалось найти решение, позволяющее хоть как-то совместить интересы казны, населения, крупных банкиров и иностранных кредиторов. В этой ситуации правительство обратилось за советом и помощью к ученым, в число которых вошел и Ньютон. Именно его друг и ученик, канцлера казначейства Чарльза Монтегю, графа Галифакса) назначили смотрителем Монетного двора. Возглавил Монетный двор Ньютон только в 1699 г., когда, наконец, был отправлен в отставку прежний директор Томас Нил, превративший, благодаря связям, свою должность в sinecure.

Прибыв в Монетный двор, Ньютон обнаружил, что тот находится в ужасающем состоянии. Из-за попустительства Нила в учреждении, которое должно отличаться особой дисциплиной, царили пьянство, дуэли и хищения.

Поэтому, став фактическим главой Монетного двора, Ньютон, чтобы навести порядок, добился от парламента буквально диктаторских полномочий, включая право создать собственную тюрьму и сыскную полицию*. Поселившись в Тауэре, где тогда находился Монетный двор, Ньютон работал как одержимый, уделяя сну не более четырех часов в сутки. Левенсон пишет, что Ньютон детально анализировал и совершенствовал каждый этап производства денег, благодаря чему их выпуск удалось увеличить почти в 10 раз. К концу 1697 г. острейший дефицит наличности, возникший после изъятия у населения всех старых монет, был полностью ликвидирован, а Англия спасена. Но вскоре Ньютону пришлось спастись от провокаций Чалонера сам Монетный двор, к тому времени лучший в мире.

В мои задачи не входит пересказ содержания, тем более мастерски написанного детективного сюжета. Мне хотелось бы лишь вкратце остановиться на некоторых моментах, не вошедших в книгу, но позволяющих лучше понять особенности подхода ученых к решению сложнейших социально-экономических проблем.

Левенсон упоминает закон испорченной монеты Грэшема. Между тем подобный закон впервые был сформулирован в 1522 г. Николаем Коперником — автором всемирно известного трактата «О вращениях небесных сфер» и еще трех, гораздо менее известных трактатов о законах денежного обращения, в которых ученый ради-

кально переосмыслил роль финансов в экономике. По мнению Коперника, правители должны перестать рассматривать деньги как сугубо вспомогательный инструмент товарообмена, с которым ради сиюминутной выгоды можно делать все что угодно. Деньги обладают собственными законами движения и служат «перводвигателем» экономического развития общества. Поэтому Коперник в своих трактатах и выступлениях на сеймах настаивал на важности финансового оздоровления экономики. Он изучал соотношения стоимости различных монет, выдвигал проекты их унификации, изъятия из обращения испорченных денег и введения строго государственного контроля при чеканке новых. При этом Коперник настаивал на том, что государство не должно пытаться извлекать прибыль из производства денег, а чеканку монет следует осуществлять исключительно за счет казны. Полагаю, что эти требования казались его современникам не менее абсурдными, чем гипотеза о движении Земли, однако именно их выполнение сыграло важную роль в успехе Великой переканки.

Среди множества проблем, которые предстояло разрешить в ее ходе, самым сложным было определение того, за чей счет следует проводить обмен денег. На первый взгляд, поскольку в нормализации денежного обращения заинтересовано все общество, то оплатить обмен должен был каждый имеющий деньги житель страны. Поэтому первоначально рассматривался проект, по которому казна брала на себя все расходы по переканке монет, а обмен старых денег на новые предполагалось производить по весу, т.е. по реальной стоимости сданного серебра. Однако Ньютону удалось убедить правительство в том, что такой обмен разорит большинство граждан. При обмене монет по весу человек получал сумму денег, в 1,5—2 раза меньше сданной, а сумма долгов

и налогов оставалась прежней. Тем самым в выигрыше от обмена по весу оказались бы лишь крупные кредиторы (прежде всего банки) и чиновники, получающие твердую зарплату. Обедневшее же население вскоре вновь начало бы портить или подделывать деньги, чтобы спастись от нищеты. Поэтому реформаторами было принято решение, утвержденное позже парламентом, об обмене денег по номиналу. Каждый старый шиллинг обменивался на новый, причем полную оплату такого обмена (на этом исключительно важном моменте настоял именно Ньютон) должно было взять на себя государство, которое, вольно или невольно, довело страну до кризиса.

Левенсон вскользь упоминает, что обмен денег обошелся казне в 2,7 миллиона фунтов стерлингов (с.193). Важно пояснить, что в то время эта сумма равнялась доходу казны за полтора года и представлялась просто чудовищной. Разработка проекта переканки, по которому разоренная казна должна была для своего спасения выплатить населению огромную сумму денег, которую пришлось одолжить у английских и зарубежных банкиров, потребовала поистине «коперниканской революции» во взглядах на роль денег в экономике. Чтобы оценить смелость мышления реформаторов, можно вспомнить, что, выступая в 1993 г. в Верховном Совете, Е.Т.Гайдар заявил, что полная компенсация обесцененных вкладов потребовала бы суммы, равной доходу бюджета за шесть кварталов, т.е. за полтора года. Величина этой суммы произвела на депутатов огромное впечатление. Между тем именно такую сумму (в относительных масштабах, конечно) государство выплатило англичанам в конце XVII в.

После завершения Великой переканки ежегодные объемы выпуска денег можно было сократить на порядок. В частности, были ликвидированы пять

* Поскольку сыск — дело дорогостоящее, регулярные сыскные отделы создаются в полиции европейских государств только в первой половине XIX в. Тогда же в литературе появляется фигура детектива. Монетный двор, располагая колоссальными средствами, мог позволить себе создание сыскной полиции намного раньше. Тем самым Ньютона можно считать и основателем европейской сыскной полиции.

временных монетных дворов, одним из которых, находившемся в Честере, руководил, и очень успешно, астроном Эдмонд Галлей. Тем не менее производственные мощности Монетного двора в Лондоне оставались избыточными. Чтобы их загрузить, Ньютон начинает брать заказы на изготовление прекрасного качества серебряных монет для крупных торговых компаний, прежде всего англо-голландской Ост-Индской.

Ничего необычного в этом не было. В небольших количествах такие заказы выполнялись и раньше. Необычны все возрастающие объемы заказов, а также цена — на несколько процентов ниже европейской, — по которой Англия обменивала серебро на золото и другие эквиваленты денежной стоимости. Пытаясь объяснить столь странную политику, известный экономист-историк Ф.Бродель, впервые обративший внимание на данную проблему, предположил, что Англия готовилась к переходу с серебряного стандарта на золотой*. Эту же гипотезу повторяет и Левенсон. Но постепенный переход на золотой стандарт европейские страны совершили лишь в XIX в. Не могли же Ньютон и канцлер казначейства Монтегю проводить валютную политику Англии, руководствуясь столь отдаленными целями! Но тогда в чем же смысл подобного обмена и зачем торговым компаниям требовалось все больше и больше серебряных монет?

Дело в том, что Китай, Индия и другие страны Востока, не вовлеченные в европейский товарооборот, вели торговлю в основном за наличное серебро, считавшееся тогда безоговорочным эквивалентом денег. Преимуществами в торговле с такими странами обладали те компании, которые, располагая большими запасами наличности и

выплачивая нередко завышенные цены, могли проникать на рынки Востока и устанавливать контроль над торговыми путями. Прибыль же от подобных операций извлекалась в основном не на Востоке, а в Европе при продаже товаров по монопольным ценам. В XVII—XVIII вв. такую торговлю вело небольшое количество компаний-монополистов, сосредоточивших в своих руках основную часть мирового торгового капитала. Этим компаниям Англия и продавала свои монеты по льготной цене. Взамен же страна получала кредиты и, что особенно важно в деловой жизни, приобретала репутацию надежного партнера.

Чудес не бывает, и на протяжении XVIII в. государственный долг Англии непрерывно рос, вызывая у политиков ужас и опасения, что экономика страны — это мыльный пузырь. А вот у ее деловых партнеров таких опасений не было. В 1782 г. Англия, потерпев поражение в войне с североамериканскими колониями, обратилась к крупнейшим банкирским домам Европы с просьбой о займе в 3 миллиона фунтов стерлингов. Эти дома немедленно предложили ей 5 миллионов. В итоге складывалась следующая схема. Из Нового Света в Европу шел мощный поток драгоценных металлов, прежде всего серебра. Часть этого потока попадала в Монетный двор Ньютона и, превратившись в монеты, поступала в банки торговых компаний, чтобы отправиться затем на Восток. Обратное, в Англию, шел поток товаров и кредитов, которые, по мнению современных историков-экономистов, сыграли решающую роль в техническом перевооружении страны в ходе промышленной революции. Гениальные изобретатели имелись и в других странах, а вот деньги на оснащение фабрик дорогостоящими паровыми машинами были только в Англии, черпавшей средства у всей Европы.

Роль Ньютона в революционном преобразовании финан-

совой системы Англии трудно переоценить. Тем удивительнее, что этот гениальный человек поддался стадному чувству и вложил баснословную сумму в покупку акций «Компании Южных морей» — финансовой пирамиды, рухнувшей в 1720 г. Эту малоизвестную историю Левенсон поведал в последней главе своей замечательной книги, в которой также можно найти очерки лондонских нравов той эпохи, попытку создания психологического портрета Ньютона, подробный рассказ об алхимических занятиях ученого и многое другое.

Тема «Ньютон и алхимия» требует отдельного и подробного разговора, вряд ли уместного в рамках рецензии. Но не упомянуть о ней невозможно. В книге сообщается, что Ньютон был страстно предан алхимии, хотя никогда не афишировал свое увлечение**. Он занимался ей более 20 лет, причем не менее сосредоточенно и усердно, чем физикой и математикой. В этой страсти Ньютон был неодинок. Наряду с ним алхимией серьезно занимались Роберт Бойль, Джон Локк и немало других ученых. Что же заставляло их тратить годы своей жизни на занятия, которые представляются многим современным ученым пустой тратой времени?

По мнению автора книги, алхимия предлагала две награды, имеющие бесконечную ценность. Во-первых, безотносительно к довольно смутным, часто оккультным теориям, которыми руководствовались алхимики, ими был накоплен огромный массив знаний о свойствах веществ и методах их исследования. Конечно же, эти знания не могли не интересовать Ньютона. Во-вторых, занятия алхимией должны были помочь расши-

** Особенно скрытным Ньютон стал после начала работы в Монетном дворе, ведь удачно пущенный слух о том, что его глава может делать золото, вызвал бы панику в финансовых кругах не только Англии.

* Бродель Ф. *Время мира. Материальная цивилизация, экономика и капитализм, XV—XVIII вв.* Т.3. М., 1992. С.369—372.

ритель границы механистического мировоззрения, ввести в него какие-то принципиально иные идеи, в пределе — идею Бога. Левенсон пишет, что и Ньютон, и другие творцы механической Вселенной очень болезненно ощущали поистине космический «холод мира, в котором оставалось все меньше божественного» (с.118). Отсюда настойчивое стремление дополнить работы по созданию механики, которую потомки назовут ньютоновской, поиском путей выхода за границы этой механики. Одним из наиболее перспективных путей Ньютону и его сподвижникам представлялась алхимия.

Левенсон, безусловно, прав. Творцы механистической картины мира прекрасно понимали, что их грандиозное творение — это все-таки картина. Этим объясняются постоянные попытки ученых заглянуть за создаваемый ими же холст. Отсюда

же и истоки конфликта между наукой и религией, вспыхнувшего в начале XVII в. Причиной его были вовсе не второстепенные споры о том, что вокруг чего вращается. В середине XVI в. католическая церковь восприняла теорию Коперника вполне спокойно. А вот в XVII в., когда ученые (кто громче, кто тише) стали утверждать, что именно создаваемая ими философия, а не прежняя теология может привести к правильному пониманию Божественной сущности, космологические идеи приобрели настолько принципиальное значение, что ради них люди были готовы идти на смерть.

Завершая книгу, Левенсон напоминает, что Ньютон в свои последние часы отказался принять причастие англиканской церкви (с.314). Действительно, отношение к христианству у Ньютона было сложным. Он, например, не признавал догма-

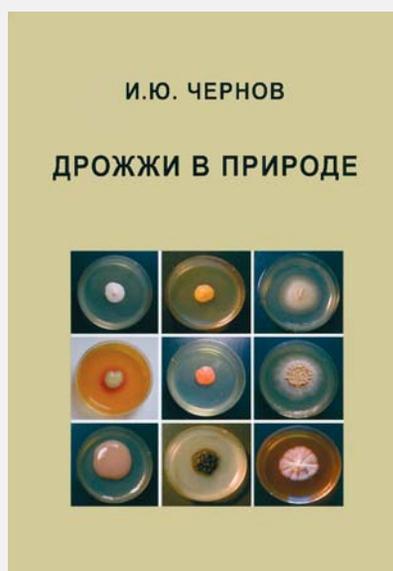
та о троичности Бога. Впрочем, как может быть простым отношение гения к проблемам религии? Неудивительно, что вопросам богословия, как мы теперь видим из архивов Ньютона, ученый уделял не меньше сил, чем физике, математике и алхимии. Но тема «Ньютон и религия» — для других книг.

В 1730 г., когда рассматривался проект памятника Ньютону в Вестминстерском аббатстве, швейцарский математик, давний почитатель творчества Ньютона Фацио де Дюйе предложил следующий вариант эпитафии: *Nam Hominem eum fuisse, si dubites, Hocce testatur marmor*. В переводе с латыни это означает: «Если вы сомневаетесь, что был такой человек, пусть этот памятник будет тому свидетельством».

Тут, как говорится, ни убавить, ни прибавить. Такой человек реально жил, его звали Исаак Ньютон, и он был ученым. ■

Ботаника. Микробиология

И.Ю.Чернов. ДРОЖЖИ В ПРИРОДЕ. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 336 с.



Дрожжевые грибы — чуть ли не самые полезные микроорганизмы. Уже несколько тысячелетий люди используют их в бродильных процессах. Современная биотехнология в значительной степени базируется на использовании дрожжей для получения широкого ряда продуктов — от технического спирта до ферментных и лекарственных препаратов. Благодаря большому практическому значению и простоте культивирования дрожжи уже давно стали одними из наиболее удобных модельных объектов в биохимических и генетических исследованиях. Дрожжи — это довольно обширная группа грибов, включающая около 1500 видов. Среди них есть как способные к спиртовому брожению, так и небродящие, как полностью одноклеточные, так и образующие хорошо развитый истинный мицелий. Термином «дрожжи» обозначают совершенно неродственные грибы, принадлежащие к разным классам и отделам. Объединяет их только наличие в жизненном цикле ассимилятивной одноклеточной фазы. В монографии обобщены знания об особенностях экологии дрожжевых грибов. Дана общая картина распространения в природе на основе собственных материалов автора, полученных за более чем 30-летний период исследований, и всех имеющихся опубликованных данных. Дрожжи автор использует как удобную группу для обсуждения ряда дискуссионных проблем, таких как природа вида у агамных организмов, количественная оценка разнообразия, экологическая целостность высших таксонов, подходы к их классификации.

Самогон изобрели славяне!

А.М.Портнов,

доктор геолого-минералогических наук

Московский государственный геологоразведочный университет им.С.Орджоникидзе

Считается, что спирт впервые получили или арабы в VII в., или итальянские алхимики — в веке XI. Самогонщики древности предполагали, что из вина при перегонке выделяется его дух, по-латыни — «spiritus». Отсюда и название — спирт. Именовали эту жидкость также водой жизни (аqua vitae) и использовали преимущественно как лекарство от всех болезней. С XIV в. водка, или «горилка», стала хорошо известна и в Западной Европе, и на Руси.

Однако на самом деле самогон могли открыть гораздо раньше, и, конечно же, предки славян! Но не считайте это шуткой, поскольку о «горилке» и ее потребителях подробно рассказывает... Гомер в поэме «Одиссея». Изобретение самогона великий поэт приписывает древним племенам фракийцев.

Как известно, Одиссей и его спутники в своих странствиях попали в пещеру к гигантскому людоеду — одноглазому циклопу Полифему. К несчастью для путешественников, циклоп захотел полакомиться человечиною. Он завалил выход из пещеры огромным камнем и для начала сожрал живьем четырех товарищей Одиссея. Одиссей хотел пронзить медным мечом полифемову печень, но вовремя сообразил: отвалить огромный камень, закрывающий вход в пещеру, им не удастся. Тогда он задумал хитрый план, налил полную чашу предусмотрительно захваченного вина и обратился к людоеду*:

*Выпей, циклоп, золотого вина, человечьим насытись
Мясом; узнаешь, какой драгоценный напиток*

на нашем

*Был корабле; для тебя я его сохранил, уповая
Милость в тебе обрести: но свирепствуешь*

ты нестерпимо.

Циклоп выпил чашу и был приятно удивлен необычным вкусом вина. Он выпил еще две полные чаши и сказал:

Есть и у нас, у циклопов, роскошных кистей

винограда

*Полные лозы, и сам их Кронион дождем оплождает;
Твой же напиток — амброзия чистая с нектаром*

сладким...

* Здесь и далее цит. по: Одиссея / Пер. В.А.Жуковского. М., 1959.

В награду он пообещал Одиссею съесть его последним и спросил его имя. «Мое имя Никто», — ответил хитроумный Одиссей.

*Стало шуметь огневое вино в голове людоеда.
Тут повалился он навзничь, совсем опьянелый;*

и набок

*Свисла могучая шея, и всепобеждающей силой
Сон овладел им; вино и куски человеческого мяса
Выбросил он из разинутой пасти,*

не меру напившись.

И тогда Одиссей выполнил свой план. Он пронзил единственный глаз циклопа горящим колом.

...Яблоко лопнуло; выбрызгнул глаз,

на огне зашипевши...

Дико завыл людоед — застонала от воя пещера...

Сбежавшиеся на крик циклопы обступили пещеру, спрашивая: «Кто же тебя здесь обманом иль силою губит?» — «Никто!» — ревел в ответ ослепленный Полифем. «Если никто, то чего же один так ревешь ты?» — ответили циклопы и разошлись по домам. Утром Полифем стал выпускать из пещеры свое стадо, ощупывая спины баранов. Одиссей и его спутники выскользнули из пещеры под их брюхом.

Возникает вопрос: каким удивительным по крепости вином Одиссей угостил огромного циклопа? Ведь греки постоянно пили сухое виноградное вино без особого вреда для себя, а циклоп, как видно из его слов, тоже умел его изготавливать и постоянно употреблял, при этом его не выворачивало наизнанку. Между тем в тексте «Одиссеи» содержится информация, позволяющая предположить, что уже в древнейшие времена существовали напитки гораздо более крепкие, чем сухое вино...

Греки обычно пили красное сухое вино крепостью 8—10°, перед употреблением сильно разбавляя его водой. Сладкое вино тоже было слабым. Его получали из недоброжеленного виноградного сока или настаивая вино на изюме. Но Гомер подробно рассказывает о необычном напитке, которым опоили Полифема. Одиссей захватил его на обратном пути из Трои — при разграблении г.Исмара, в котором обитали не греки, а киконы — фракийское племя, предки южных славян и скифов. Вино подарил Одиссею Марон — сын Еванфеев, жрец разрушенного города — в благодарность за то, что его дом греки пощадили при грабеже.

Напиток действительно был необычным — не слабым, сухим и кислым, а «крепким, божественно-сладким, огневым, искрометным, золотым и медвяным», причем «нацедивши в чашу с вином в двадцать раз более воды — запах из чаши был несказанный: никто тут не мог от питья воздержаться». Вино это было таким редкостным, что и в городе киконов его тщательно прятали от всех. О нем даже в доме жреца Марона «не ведал никто из рабов и рабынь и никто из домашних, кроме хозяина, умной хозяйки и ключницы верной».

Так что же представлял собой этот таинственный драгоценный напиток, «последний шанс» Одиссея? Думается, что ключевые слова для его определения даны Гомером: «крепкий, огневой, золотой, медвяный». Это значит, что вино было таким крепким, что могло... гореть! Золотой цвет — цвет меда, который дает также необходимую «сладость амброзии» и сильный приятный запах. Крепость и запах напитка сохранялись даже при двадцатикратном разбавлении! Выходит, что это была «горилка» — скифско-славянская медовуха крепостью не менее 70%!

Вероятно, на базе меда некоторые «специалисты» глубокой древности научились готовить самогон, причем высокого качества. Любопытно, что горилку-медовуху Гомер обнаруживает именно у предков славян, для которых, в отличие от греков, виноделие было непривычным занятием. Зато в собирании дикого лесного меда и его «вторичной» переработке им не было равных.

Но технологию изготовления самогона они, видимо, держали в строжайшем секрете. Напиток был очень редкий и, судя по восхищенному описанию Гомера, ценился, применительно к современным меркам, дороже самого лучшего нынешнего коньяка... На греков, привыкших к воде с небольшой количеством сухого вина, такой напиток производил неизгладимое впечатление своим ошеломляющим воздействием. Гомер, поражающий всех исследователей своей энциклопедичностью, знал, хотя бы понаслышке, о таком волшебном-крепком вине. Именно его он дал в качестве «секретного оружия» в руки Одиссея для победы над бесчеловечно жестоким людоедом Циклопом. ■

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь

Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы

О.О.АСТАХОВА

М.Б.БУРЗИН

Т.С.КЛЮВИТКИНА

К.Л.СОРОКИНА

Н.В.УЛЬЯНОВА

О.И.ШУТОВА

Выпускающий редактор

Л.П.БЕЛЯНОВА

Литературный редактор

Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор

Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией

И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Перевод:

С.В.ЧУДОВ

Корректоры:

М.В.КУТКИНА

Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:

А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77
Факс: (499) 238-24-56

E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 18.03.2014
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать
Заказ 73
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6