

А.С. УТКИНА, А.И. КОЗЛОВ, И.А. НИКИТИН, В.П. КАРАГОДИН

## **ВИТАМИН D: ФОКУС НА ГРУППАХ РИСКА И НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКАХ**

*Среди альтернативных или слабо используемых источников витамина D особый интерес представляет продукция морского зверобойного промысла и арктического оленеводства. Перспективность данных источников витамина D обусловлена тем, что находящиеся на вершине пищевых пирамид в морских биотопах ластоногие и китообразные аккумулируют в своих тканях высокие концентрации витамина D и 25(OH)D. Ткани северного оленя богаты этими микронутриентами благодаря естественным кормам, включающим лишайники и грибы – продуценты витамина D2. Вторым перспективным направлением расширения спектра продуктов с высоким содержанием витамина D является использование различных видов растительной продукции, в первую очередь водорослей, грибов и лишайников. Совершенствование способов обработки этой продукции, разработка новых пищевых продуктов и рационов и их внедрение – эффективный путь оптимизации D-витаминного статуса населения.*

**Ключевые слова:** эргокальциферол D2, холекальциферол D3, D-витамин связывающий белок DBP, гены GC и VDR, морские млекопитающие, северные олени, растения, грибы, лишайники.

**ВВЕДЕНИЕ.** Витамин D привлекает всё большее внимание исследователей. Первоначально витамин D рассматривался как один из регуляторов костного метаболизма, однако со временем стало ясно, что его роль в организме значительно шире. D-витаминная недостаточность влечёт широкий спектр последствий: нарушения метаболизма костной ткани, отклонения углеводного, жирового и белкового обмена, снижение устойчивости к возбудителям инфекционных заболеваний, развитие аутоиммунных, сердечно-сосудистых, онкологических заболеваний [1-4]. Известные уже не первое десятилетие данные о роли активной формы витамина, кальцитриола в механизмах иммунного ответа и аутоиммунных реакций в последнее время приобрели особую значимость в поиске мер по снижению потерь от пандемии COVID-19 [5]. Не подлежит сомнению, что оптимизация D-витаминного статуса населения имеет огромное практическое значение.

Учитывая это, целью предлагаемого обзора мы избрали актуальные задачи рассмотрения основных подходов к выявлению групп риска D-витаминной недостаточности, а также поиска путей оптимизации D-витаминного статуса населения Российской Федерации посредством расширения спектра пищевых продуктов с высоким содержанием витамина.

**МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫЯВЛЕНИЮ ГРУПП РИСКА D-ВИТАМИННОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ.** Биологической ценностью для человека обладают только две формы витамина D. К классу собственно витаминов относится поступающий с пищей эргокальциферол D2. Холекальциферол (витамин D3) в основном синтезируется у человека в коже под действием ультрафиолетовых лучей и также может иметь пищевое происхождение.

Процессы всасывания кальция и реабсорбции фосфора регулируются циркулирующим в кровеносном русле 25(OH)D – соединением, которое может быть производным как эрго-, так и холекальциферола [1]. Таким образом, гомеостаз костной ткани человека поддерживается за счёт баланса, обеспечиваемого потреблением содержащих D2 продуктов и синтезом D3 в организме.

Эволюционно исходный для Homo sapiens вариант основан на аутосинтезе D3. В период формирования человека современного биологического вида в тропической зоне и обитания в ней аутосинтез холекальциферола эффективно обеспечивал регуляцию минерального обмена в кости. Освоение внетропических областей со сравнительно низким уровнем УФ-облучения потребовало адаптивных изменений на биологическом уровне. Под давлением отбора оказался ряд связанных с D-витаминным обменом генов, в том числе регулирующих уровень пигментации: у обладателей фенотипов с более светлой кожей в глубокие слои дер-

мы проникает в 3-4 раза больше физиологически активного ультрафиолета, повышающего продукцию холекальциферола D3 [6]. Селективный прессинг подтверждён как минимум для 12 генов, влияющих на пигментацию кожных покровов [7].

Перенос метаболитов витамина D между кожей, печенью, почками и органами-мишенями обеспечивает D-витамин связывающий белок (DBP). По константам аффинности к DBP метаболиты витамина D различаются, но в целом подавляющий их объём (85-90%) пребывает в сыворотке крови в связанной с белком форме [8]. D-витамин связывающий белок представляет собой смесь модифицированных полипептидов, степень гликозилирования которых определяется геном GC [9]. Изоформы белка обладают разной способностью к связыванию и переносу витамина, и в результате содержание метаболитов витамина D в сыворотке варьирует у носителей разных аллелей GC.

Распределение частот аллелей и гаплотипов GC в популяциях мира в целом согласуется с данными о доступности холекальциферола D3. Так, аллель rs7041-A, обуславливающий пониженное сродство DBP к 25(OH)D, с высокой частотой (0,842) встречается в африканских популяциях. В населении Европы доля носителей предкового варианта A вдвое ниже (0,429) из-за его замены производной формой C, обуславливающей более активное связывание метаболита витамина [9].

В финальной фазе D-витаминного обмена происходит захват находящейся в сыворотке крови активной формы кальциферола и связывание его тканями. Этот процесс инициирует локализованный в органах-мишенях рецептор, чувствительность которого к витамину кодируется геном VDR. Подтверждён вклад в поддержание гомеостаза костной ткани ряда аллелей VDR: FokI, BsmI, ApaI, TaqAI [10-13]. Связь полиморфизмов гена с особенностями роста и развития костной ткани показана для популяций, представляющих все расовые группы [14-16].

Итак, сегодня ясна последовательность ключевых этапов метаболизма холекальциферола D3 – синтеза, переноса и связывания тканями-мишенями. Установлена генетическая база этих процессов, пролит свет на их эволюционно-генетическую историю; показана подверженность действию отбора [7, 17, 18].

Однако следует иметь в виду, что мутации, дававшие в конкретных условиях преимущества за счёт изменений на любом из этапов минерального обмена, возникали и подхватывались отбором в различных популяциях асинхронно и в любой последовательности. В результате при схожести общей картины распределения генетических детерминантов обмена D3, локальные группы *H.sapiens* всё больше различались по вкладу того или иного из механизмов, обеспечивающих синтез, транспортировку или усвоение холекальциферола и его метаболитов. Дивергенция нарастала в ходе естественных или вынужденных миграций в регионы, экологически отличавшиеся от исходных. В итоге, это привело к мозаичности современной картины фенотипических проявлений адаптации.

Так, в соответствии с глобальными закономерностями, у светлокотых евроамериканцев содержание 25(OH)D выше, чем у афроамериканцев, тогда как смуглокотые испаноязычные европеоиды и представители монголоидной расовой группы характеризуются промежуточными значениями признака [19]. Однако в противоположность представителям других больших рас, у европеоидов Америки, Европы и Австралии в целом, а также в пределах только Европы, не выявлено значимой корреляции между концентрацией 25(OH)D и географической широтой [20-22]. Незначимы и различия в содержании 25(OH)D в сыворотке крови у детей Южной Индии (европеоидная большая раса) с разным уровнем пигментации кожных покровов [23].

Как было сказано, в мировом масштабе географическое распределение детерминирующей активности витамин-D связывающего белка (DBP) гаплотипов гена GC проявляет ассоциацию с уровнем 25(OH)D [9]. Однако это не означает, что распределение аллельных вариантов GC в популяциях обязательно обусловлено влияющими на продукцию холекальциферола D3 в организме экологическими факторами, например, уровнем УФ-облучения. В частности, в населении Африки сохранение высокой (0,842) доли носителей предкового аллеля rs7041-A, детерминирующего слабую аффинность DBP к метаболитам витамина D, в эволюционном плане выглядит логичным. Во внетропических широтах можно ожидать повышения доли носителей мутантных вариантов GC, то есть снижения частот rs7041-A. Действительно, в Европе в целом (без Финляндии) доля носителей этого аллеля составляет 0,429. Но «северные» финны резко отличаются от остальных европейцев (частота rs7041-A 0,713), сближаясь по этому при-

знаку с африканскими группами [24]. Как и у финнов, высока (0,714) частота этого «неблагоприятного» аллеля у коренного населения Чукотки [25]. Сходство генотипов в явно не родственных друг другу популяциях даёт основание полагать, что отбор аллелей гена GC был обусловлен не возможностями синтеза холекальциферола D3 в организме, а другими факторами, обеспечившими доступность витамина D, в частности, его наличием в имеющихся в достаточном количестве и традиционно употребляемых пищевых продуктах.

С подобными межпопуляционными различиями мы сталкиваемся и при рассмотрении регуляторов внутриклеточного D-витаминного обмена. Афроамериканцы и жители США европейского происхождения с одинаковым генотипом VDR различаются по массе костной ткани [14]. В монголоидных группах аллель \*G BsmI ассоциирован с протективным действием в отношении статуса костной ткани, тогда как у европеоидов его эффект сближается с рискованным [11]. Подобным же образом генотип \*T\*T FokI у монголоидов является маркером сниженного риска остеоартроза, тогда как у населения Европы этот эффект не выявлен [12]. В популяциях Центральной и Северной Европы, включая Россию, связь между полиморфизмами VDR и показателями костного статуса отличается от описанной в выборках из Турции, Южной Италии, Индии и Японии [13].

Эти примеры подтверждают высокий полиморфизм детерминант D-витаминного обмена. Проблема, несомненно, требует детального рассмотрения в рамках отдельной статьи, но в данной публикации мы остановимся на вопросах, связанных с практической значимостью популяционно-генетических данных. С одной стороны, большой объём накопленных данных и их быстрое пополнение дают основание полагать, что современные технологии количественной генетики и биоинформатики уже в ближайшем будущем позволят решить задачу оценки индивидуального риска нарушений обмена холекальциферола D3.

Скромнее перспективы выделения широких групп с повышенным риском развития заболеваний, обусловленных низкой эффективностью метаболизма витамина D. В сложившихся в результате миграций и урбанизации смешанных группах теряют адаптивный характер генофонды, ранее детерминировавшие адекватную требованиям среды продукцию D3, эффективность переноса метаболитов и чувствительность органов-мишеней. И без того высокое исходное разнообразие гено- и фенотипов в новых экологических условиях городской среды ещё больше нарастает, становясь при этом менее сбалансированным. Это затрудняет выделение достаточно крупных групп, которые могли бы считаться «фокусными» в плане превентивной диагностики.

Таким образом, пока не совсем ясно, позволит ли добиться заметного успеха выявление групп риска, ассоциированных с нарушениями D-витаминного обмена, на основании медико-биологических и генетических критериев.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ОПТИМИЗАЦИИ D-ВИТАМИННОГО СТАТУСА ПУТЁМ ПИЩЕВЫХ ИНТЕРВЕНЦИЙ.** Одна из причин рассмотренного межпопуляционного разнообразия в том, что адаптация к недостатку холекальциферола D3 у человека шла не только биологическим путём. Не меньшую роль в приспособлении *H.sapiens* к среде обитания играли инновации небиологической природы, и в первую очередь – присущая человеку лабильная система обеспечения пищей. Способность осваивать новые ниши с помощью культуры и технологий позволяла компенсировать недостаточный вклад гормоноподобного холекальциферола за счёт получения с пищей «истинного» витамина D2.

Сложившиеся комплексы питания, которые мы сегодня рассматриваем как традиционные или национальные кухни, во многом представляют собой специфический вариант экологической адаптации. Показана их роль и в поддержании D-витаминного статуса группы [26-30].

Важной нутрициологической причиной формирования D-витаминного статуса считается высокий вклад рыбы в диету. В частности, традиционные северонорвежские рыбные блюда с высоким содержанием рыбьего жира способствуют поддержанию оптимального уровня витамина D [26]. Планктоноядные рыбы являются первым звеном пищевой цепи, в котором начинается аккумуляция кальциферола, продуцируемого водорослями и цианобактериями.

Подчеркнём, что эта природная последовательность в современных условиях часто нарушается. В частности, массовое применение в индустриальных рыбохозяйственных комплексах кормов, не содержащих естественных водорослей или содержащих их в малом количестве, не позволяет накапливать витамин D в должном количестве [31].

Кроме того, следует иметь в виду, что ихтиофауна тепловодных водоёмов также не обеспечивает достаточного поступления витамина. Так, несмотря на то, что и речная, и морская рыба стабильно и практически ежедневно присутствует в пище бенгальцев, D-витаминный статус населения этого региона Восточной Индии не лучше, чем в других популяциях страны [32].

Применению в рационе продуктов переработки рыбы в качестве источника витамина D посвящено достаточное количество публикаций, поэтому в данной статье мы не будем останавливаться подробно на данном вопросе. Менее изученным в этом плане является сырьё животного происхождения, несмотря на то, что некоторые животные, особенно обитающие в высоких широтах, могут запасать витамин D в больших количествах в различных органах и тканях.

**ПРОДУКТЫ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ КАК ИСТОЧНИК ВИТАМИНА D.** Исследования в популяциях высокоширотных регионов показывают, что эффективными протекторами D-гиповитаминозов служат мясо и жир морских млекопитающих и северного оленя. Рассмотрим перспективы их включения в питание современного урбанизированного населения.

В природных условиях продуцируемый входящими в состав планктона водорослями и цианобактериями эрго- и холекальциферол с естественной пищей попадают в организм планктоноядных рыб и аккумулируются в нём [33, 34]. У консументов на следующих этапах пищевой цепи (хищные рыбы, морские млекопитающие) концентрация витамина D нарастает. В результате в крови, органах и особенно в хорошо развитой у ластоногих и китообразных жировой ткани накапливается значительное количество метаболитов D3 [35-38]. Исходя из этого, морской зверобойный промысел следует рассмотреть как возможный источник продуктов с высоким содержанием витамина.

Российская Федерация располагает значительной ресурсной базой для коммерческого промысла морских млекопитающих. Согласно оценкам, возобновление практически прекратившейся в середине 1990-х гг. широкомасштабной добычи морского зверя позволит получать 15-20 тыс. тонн продукции, включая 5-7 тыс. тонн мяса [39, 40].

При рассмотрении этого потенциала в рамках нашей темы следует учитывать, что промысел ряда видов (например, некоторых крупных китообразных, моржей) разрешён только коренным народам Севера для поддержания традиционного образа жизни. Широко распространённую и многочисленную ларгу (пёструю, или дальневосточную нерпу *Phoca largha*) исключают из перечня промысловых видов из-за низкого качества мяса [39]. В результате из мелких ластоногих перспективными в плане мясного промысла остаются лахтак (*Erignathus barbatus*) и кольчатая нерпа (*Phoca hispida*), из китообразных – белуха (*Delphinapterus leucas*).

Кроме того, следует иметь в виду, что некоторые части туши добываемых животных и способы их кулинарной обработки по технологическим и санитарным причинам не могут быть внедрены в широкую практику. Учитывая это, мы не рассматриваем ворвань (жидкий жир, вытапливаемый из сала морских млекопитающих), мантак (ферментированную кожу с подкожным жиром белухи) и ряд других блюд традиционной арктической кухни [41].

Усреднённые данные о содержании витамина D3 и его основного метаболита 25(OH)D3 в мясе и жире морского зверя по результатам нескольких исследований [33, 37, 42] приведены в таблице 1. По рассматриваемым показателям мясо и жир лахтака, нерпы и белухи превосходят свинину – продукт убойных сельскохозяйственных млекопитающих с наиболее высоким содержанием витамина D и 25(OH)D3. Содержание витамина D в разных частях туши домашней свиньи в зависимости от содержания в ней жира варьирует от 0,05 до 0,21 мкг/100 г, содержание 25(OH)D3 – от 0,07 до 0,14 мкг/100 г [43].

Исследования показывают, что риск развития рахита и остеомалации, то есть клинических проявлений дефицита витамина D, снижается при достаточном (порядка 60 г/сут.) потреблении мяса сельскохозяйственных животных [44]. Однако получение жирорастворимого витамина D из такого источника сочетается с повышенным поступлением насыщенных жирных кислот (НЖК), являющихся фактором риска развития сердечно-сосудистых заболеваний. В тканях морского зверя, напротив, преобладают полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) – протекторы системы органов кровообращения. Отношение ПНЖК/НЖК в китовом жире равно

1,14 против 0,41 в свином жире [41]. Таким образом, продукты морского зверобойного промысла являются потенциальным источником не только витамина D, но и ПНЖК.

Высоким содержанием ПНЖК отличается также мышечная ткань и ткани внутренних органов северного оленя (*Rangifer tarandus*) [45], но это полуодомашненное животное северных регионов следует рассматривать и как дополнительный источник витамина D [46, 47]. Мышечная ткань оленя содержит небольшое количество D3. В ряде публикаций указывается, что содержание витамина в некоторых исследуемых образцах ниже уровня чувствительности методов его выявления, но это может быть связано с сезонными колебаниями D-витаминного статуса животного [42, 45]. При этом концентрация 25(OH)D3 в вяленой оленине достигает 0,024 мкг/100 г, что сближается с его содержанием в образцах палтуса и нельмы (0,032) [42]. Концентрация витамина в образцах почек (1,1-2,1 мкг/100 г) и печени северного оленя (1,4-3,2 мкг/100 г) приближается к его содержанию в подкожном жире нерпы [37].

Таблица 1 – Содержание витамина D и 25(OH)D3 в продукции морского зверобойного промысла и свинине (средние показатели по данным разных исследований)

Биологический вид	Содержание, мкг/100 г		Вид продукции	Источник
	Витамин D3	25(OH)D3		
Лахтак ( <i>Erignathus barbatus</i> )	1,8	–	Мясо вареное	[42]
	<0,1	0,102	Мясо вяленое	
	0,1-19,9	<0,1	Жир	
Кольчатая нерпа ( <i>Phoca hispida</i> )	<1,6	–	Мясо свежее	
	29	<0,1	Жир	
Белуха ( <i>Delphinapterus leucas</i> )	2,01	0,986	мясо вяленое	
	7,11-26,7	0,739	Жир	
Справочно:				
Свинья ( <i>Sus scrofa domesticus</i> )	0,05-0,21	0,07-0,14	Различные части	[43]
	1,2	–	Корейка свиная запечённая	
	2,5	–	Свиное сало	

Можно заключить, что ткани северного оленя способны в определенные сезоны накапливать значительные количества витамина D и его метаболитов. Первоначально эту особенность трактовали в рамках концепции трофических цепей. Эргокальциферол в значительном объёме продуцируется входящими в рацион оленя лишайниками (*Cladina spp.*) и грибами, затем накапливается в тканях животного. В результате человек, как консумент более высокого порядка, может получать с олениной достаточное количество витамина D [29]. Помимо этого, исследования последних лет показали, что в ходе адаптации к обитанию в высокоширотных регионах у *R. tarandus* происходил интенсивный отбор генов, детерминирующих метаболизм витамина D. В результате современный северный олень отличается от других жвачных более высокой активностью генов *CYP27B1* и *POR*, играющих ключевую роль в активации основной биологически активной формы витамина – 1,25(OH)2D, и соответственно – высокой эффективностью синтеза и связывания кальциферола [48, 49]. Это дополнительно повышает содержание витамина D в оленине.

Мясо и жир северного оленя обычно рассматривают как элемент традиционной кухни коренных народов Севера [50], но эти продукты имеют хорошие перспективы и в плане включения в питание достаточно широких кругов современного городского населения. Об этом говорит тот факт, что в Финляндии, Норвегии и Швеции, где ежегодно потребляется около 6 тыс. тонн мяса северного оленя, оно считается престижным продуктом [51]. В нашей стране ежегодно производится около 12 тыс. тонн оленины, идущей практически только на внутренний рынок, преимущественно в северных регионах (400-500 тонн оленины экспортируется в Скандинавию, Финляндию и Германию) [52, 53]. В результате этот источник витамина D остаётся малодоступным для населения центральных областей. Согласно данным социально-экономических исследований в России имеются возможности значительно увеличить производство оленины, и продуктов глубокой переработки различных частей туши северного оленя [53, 54].

На основании изложенного можно заключить, что обеспечение продовольственного рынка продукцией морского зверобойного промысла, а также северного оленеводства – пер-

спективное направление, способное улучшить обеспеченность населения витамином D и богатыми ПНЖК жирами «морского типа».

**ПРОДУКТЫ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ КАК ИСТОЧНИК ВИТАМИНА D.** При значительном потенциале включения в пищевые рационы продукции северного оленеводства и морского зверобойного промысла, специфичность и локальность данного сырья ограничивает возможность его использования в профилактике D-гиповитаминозов. Дополнительным препятствием может быть религиозно и культурно обусловленное негативное отношение к определённым видам пищи или категориям продуктов (в частности, животного происхождения).

Соответственно, актуальной становится проблема поиска продуктов или природных ингредиентов, которые позволили бы населению умеренных и южных регионов компенсировать недостаток поступления эргокальциферола D<sub>2</sub> с пищей, не провоцируя при этом негативного отношения к ним у приверженцев различных конфессий, культур и традиций.

Перспективными в этом отношении представляются продукты растительного происхождения. Особое внимание привлекают группы растительных продуктов, являющихся природными продуцентами эргокальциферола: водоросли, лишайники и грибы (включая дрожжи).

Пекарские дрожжи (*Saccharomyces cerevisiae*), повсеместно применяемые при производстве хлебобулочных изделий, в определенных условиях под влиянием ультрафиолетового облучения могут накапливать заметное количество эргокальциферола D<sub>2</sub>. Содержание витамина D<sub>2</sub> в пекарских дрожжах составляет менее 20 МЕ/100 г. Добавление УФ-облученных пекарских дрожжей при производстве хлеба оказалось эквивалентным использованию чистого витамина D<sub>2</sub> и оказало такой же эффект по влиянию на концентрацию 25(OH)D в плазме крови [55, 56].

Другой перспективный потенциальный растительный источник витамина D – входящие в состав планктона водоросли и цианобактерии, являющиеся продуцентами эрго- и холекальциферола [34].

В значительном объёме эргокальциферол продуцируется и лишайниками (*Cladina spp.*). Прямые исследования содержания эрго- и кальциферола в различных видах лишайников единичны [57-59], но согласно имеющимся данным, в ягеле (*Cladonia rangiferina*) концентрация D<sub>3</sub> варьирует в пределах 67-204 мкг, а D<sub>2</sub> – 22-55 мкг на 100 г сухого вещества [58]. По этим показателям лишайники превосходят в содержании витамина D такие традиционно рекомендуемые животные продукты, как морская и проходная рыба жирных сортов (лосось, сельдь). Лишайники, как и водоросли, следует рассматривать как потенциальный ресурс для обогащения витамином как пищевых продуктов и диеты различных групп населения, так и кормов индустриальной аквакультуры и домашних животных.

При обеспечении определенных условий выращивания и УФ-облучения источником эргокальциферола могут также служить некоторые виды съедобных грибов [60-64]. Количество витамина D<sub>2</sub>, образовавшегося после их УФ-облучения, составляет 29,87±1,38 мкг/г сухой массы, а высушивание на солнце позволяет увеличить содержание витамина D<sub>2</sub> в 16 раз – до 1600 МЕ в 100 г. [65]. Максимальным содержанием витамина D<sub>2</sub> характеризуются вёшенки (204,7 мкг/г) [66]. Установлено, что прием 2000 МЕ витамина D<sub>2</sub>, содержащегося в грибах, столь же эффективен для повышения и поддержания необходимого количества 25(OH)D в крови человека, как и прием 2000 МЕ витамина D<sub>2</sub> или D<sub>3</sub> [61].

Среди высших растений значительным содержанием витамина D характеризуются представители семейства пасленовых (*Solanaceae*), включающего такие широко используемые овощи, как картофель, томаты и перец [34]. К семейству пасленовых относится и дереза обыкновенная (*Lycium barbarum*) – нинся гоуци (годжи в распространенной русскоязычной транскрипции). Проведенные исследования ягод годжи показывают, что содержание витамина D в ягодах китайского происхождения составляет 0,90±0,03 мкг, а казахстанского – 0,82±0,04 мкг в 100 г продукта [67].

Обобщенные данные по основным растительным источникам витамина D представлены в таблице 2. Как видно из таблицы, некоторые виды водорослей (саргассум, пресноводные и австралийские микроводоросли), а также грибы (лисички, шиитаке, майтаке) могут содержать витамин D в достаточно больших количествах, не уступающих, а в некоторых случаях даже превосходящих его содержание в животных источниках. Растительные масла, в

том числе довольно распространенные на территории РФ (в частности, представленные в таблице 2 кунжутное и кориандровое, а также масло зародышей пшеницы, подсолнечное, льняное), также могут являться дешевым и доступным источником данного витамина. Однако биодоступность витамина D из растительных источников человеком может быть ниже, чем из животных [34]. Отдельные нутриенты, такие как витамин А и холестерин, могут влиять на усвояемость витамина D, но для уточнения механизмов их взаимодействия необходимы дополнительные исследования.

Таблица 2 – Характеристика растительного сырья по содержанию и распространенности в природе источников витамина D

Группа растительного сырья	Содержание витамина D, мкг/100 г	Распространенность в природе (доступность)	Источник
<b>Водоросли</b>			
Саргассум	90-3900	Низкая	[34]
Пресноводные микроводоросли	80	Средняя	[34]
Австралийские микроводоросли	35	Низкая	[34]
Микроводоросли	5,0-15,0	Средняя	[34]
<b>Грибы</b>			
Майтаке	28,1-29,8	Низкая	[69]
Финские лисички трубчатые <i>Cantharellus tubaeformis</i>	21,1	Средняя	[64]
Млечник обыкновенный <i>Lactarius trivialis</i>	9,6	Высокая	[68]
Шиитакэ <i>Lentinus edodes</i>	7,3-36,6	Высокая в Ю-В Азии	[68]
Сморчок съедобный <i>Morchella esculenta</i>	6,26-4,39	Высокая	[69]
Лисички обыкновенные <i>Cantharellus cibarius</i>	5,3-10,7	Высокая	[64]
Шампиньоны датские <i>Agaricus</i>	1,5	Средняя	
Вёшенка обыкновенная <i>Pleurotus ostreatus</i>	0,07-2,59	Высокая	[69]
Шампиньоны двуспоровые <i>A.</i>	0,07	Высокая	[68]
<b>Ягоды, фрукты, овощи</b>			
Листья томатов	110	Высокая	[70]
Листья тыквы обыкновенной	23	Высокая	[34]
Листья цукини	23	Высокая	[70]
Листья картофеля	15	Высокая	[70]
Листья трищетинника желтоватого	3,3	Высокая	[34]
Листья паслены восковой <i>Solanum glaucophyllum</i>	2,2-42,1	Высокая в России	[34]
Римский салат (Романо)	0,5-9,5	Высокая	[71]
Перец стручковый	0,09-0,21	Высокая	[34]
Рейграс	0,07-6,4	Высокая	[34]
Ягоды годжи	0,04±0,90	Средняя	[67]
Люцерна посевная	0,03	Высокая	[34]
<b>Растительные масла</b>			
Масло семян кориандра	10530	Средняя	[72]
Масло из черного кунжута	2680	Средняя	[72]
<b>Прочие источники</b>			
Рисовые отруби	681-713	Средняя	[72]
Ягель ( <i>Cladonia rangiferina</i> )	68	Высокая	[58]
Пекарские дрожжи после УФ-обработки	0,5	Высокая	[56]

В завершение подчеркнем важный момент. Эксперты и специалисты, несомненно, обратят внимание на отсутствие в обзоре ссылок на целый ряд важных статей, обзоров и монографий. Причина в том, что максимальный охват всей имеющейся литературы по теме не предусматривался: это технически невозможно из-за грандиозного объема публикаций. Предпринятая нами оценка перспективности тех или иных подходов к оптимизации D-витаминного статуса необходима для формирования общей стратегии борьбы с витаминной недостаточностью. Следующим шагом должно стать развитие каждого из направлений, которое потребует углубленного обзора и анализа публикаций в более узкой области.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ** Оптимизация D-витаминного статуса широких групп населения имеет важное практическое значение и может служить профилактикой достаточно большого ко-

личества алиментарно зависимых заболеваний, в первую очередь, связанных с нарушением минеральной плотности костной ткани.

Высокий полиморфизм медико-биологических (морфологических, генетических) детерминантов регуляции минерального обмена в кости за счёт действия эндогенного холекальциферола D<sub>3</sub> затрудняет выявление групп риска остеопороза. Для разработки подходов к профилактике остеопороза с позиций индивидуализированного питания требуется накопление данных о внутривнутрипопуляционной и межпопуляционной изменчивости аллелей, детерминирующих усвоение витамина D из разных источников.

На современном уровне основным направлением оптимизации витаминного статуса населения остаются меры, основанные на различных вариантах пищевых интервенций, включающих расширение спектра продуктов, исходно содержащих высокое содержание витамина D, а также обогащение пищевых продуктов эрго- и холекальциферолом.

Наибольший интерес представляют альтернативные и/или слабо используемые источники витамина D, в частности, продукция морского зверобойного промысла и оленеводства, а также различные виды растительной продукции: ряд высших растений, но в первую очередь водоросли, грибы и лишайники. Совершенствование способов обработки этой продукции и разработка новых пищевых продуктов и рационов – эффективный путь к оптимизации D-витаминного статуса широких слоев населения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chung, M. Vitamin D and calcium: a systematic review of health outcomes / M. Chung, E.M. Balk, M. Brendel, et al. // *Evid. Rep. Technol. Assess (Full Rep)*. – 2009. – Vol. 183. – P. 1-420.
2. Holick, M.F. Vitamin D and health: Evolution, biologic functions, and recommended dietary intakes for vitamin D / M.F. Holick // In: *Vitamin D Physiology, Molecular Biology, and Clinical Applications*. – 2013. – P. 3-33.
3. Каргина, И.Г. Современные представления о роли витамина D / И.Г. Каргина, В.А. Щербак // *Российский педиатрический журнал*. – 2016. – № 19 (2). – С. 103-105.
4. Reid, I.R. Calcium and/or vitamin D supplementation for the prevention of fragility fractures: who needs it? / I.R. Reid, M.J. Bolland // *Nutrients*. – 2020. – Vol. 12, №4. – P. 10-11.
5. Jain, A. Analysis of vitamin D level among asymptomatic and critically ill COVID-19 patients and its correlation with inflammatory markers / A. Jain, R. Chaurasia, N.S. Sengar, et al. // *Sci. Rep.* – 2020. – Vol. 10. Article ID 20191. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77093-z>
6. Jablonski, N.G. The colours of humanity: the evolution of pigmentation in the human lineage / N.G. Jablonski, G. Chaplin // *Phil. Trans. R. Soc. B*. – 2017. – Vol. 372. Article ID 20160349. Doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2016.0349>
7. Sturm R.A., Duffy D.L. Human pigmentation genes under environmental selection / R.A. Sturm, D.L. Duffy // *Genome Biol.* – 2012. – Vol. 13. – P.248. DOI: <https://doi.org/10.1186/gb-2012-13-9-248>
8. Bikle, D.D. Current controversies: are free vitamin metabolite levels a more accurate assessment of vitamin D status than total levels? / D.D. Bikle, S. Malmstroem, J. Schwartz // *Endocrinol. Metabol. Clin. North Amer.* – 2017. – Vol.46, №4. – P. 901-918.
9. Malik, S. Common variants of the vitamin D binding protein gene and adverse health outcomes / S. Malik, L. Fu, D.J. Juras, et al. // *Crit Rev Clin Lab Sci.* – 2013. – Vol. 50, №1. – P. 1-22.
10. Uitterlinden, A.G. Genetics and biology of vitamin D receptor polymorphisms: Review / A.G. Uitterlinden, Y. Fang, J.B.J. van Meurs, et al. // *Gene*. – 2004. – Vol. 338. – P. 143-156.
11. Zintzaras E., Rodopoulou P., Koukoulis G.N. BSMI, TAQI, APAI and FOKI polymorphisms in the vitamin D receptor (VDR) gene and the risk of osteoporosis: A meta-analysis / E. Zintzaras, P. Rodopoulou, G.N. Koukoulis // *Dis. Markers*. – 2006. – Vol 22. – P. 317-326.
12. Zhu, Z.H. Associations between vitamin D receptor gene polymorphisms and osteoarthritis: an updated meta-analysis / Z.H. Zhu, X.Z. Jin, W. Zhang, et al. // *Rheumatol. (Oxford)*. – 2014. – Vol. 53, №6. – P. 998-1008.
13. Козлов, А.И. Связь относительного содержания костной ткани с полиморфизмом гена рецептора витамина D / А.И. Козлов, Г.Г. Вершубская, М.А. Негашева // *Физиология человека*. – 2017. – Т. 43. № 3. – С. 96-101.
14. Nelson, D.A. Polymorphism in the vitamin D receptor gene and bone mass in African-American and white mothers and children: a preliminary report / D.A. Nelson, P.J. Vande Vord, P.H. Wooley // *Ann. Rheum. Dis.* – 2000. – Vol. 59, N 8. – P. 626-630.
15. Vupputuri, M.R. Prevalence and functional significance of 25-hydroxyvitamin D deficiency and vitamin D receptor gene polymorphisms in Asian Indians / M.R. Vupputuri, R. Goswami, N. Gupta, et al. // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2006. – Vol. 83. – P. 1411-1419.
16. Kozlov, A.I. Association of vitamin D receptor gene with anthropometric measures in Komi ethnic group / A.I. Kozlov, G.G. Vershubsky Yu.A., Ateeva, P. Orr, L. Larcombe // *Russ. J. Genet. Appl. Res.* – 2014. – Vol. 4, N 5. – P.397-404.
17. Hochberg, Z. Evolutionary perspective in skin color, vitamin D and its receptor / Z. Hochberg, A.R. Templeton // *Hormones*. – 2010. – Vol 9, N 4. – P. 307-311.



18. Lucock, M. Vitamin D: beyond metabolism / M. Lucock, P. Jones, C. Martin, et al. // *J. Evid. Based Compl. Alternat. Med.* – 2015. – Vol. 20, N4. – P. 310-322.
19. Hsu, S. Race, Ancestry, and Vitamin D Metabolism: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis / S. Hsu, A.N. Hoofnagle, D.K. Gupta, et al. // *J Clin Endocrinol Metab.* – 2020. – Vol.105, N12. Article ID 4337-50. Doi: 10.1210/clinem/dgaa612.
20. Hagenau, T. Global vitamin D levels in relation to age, gender, skin pigmentation and latitude: An ecologic meta-regression analysis / T. Hagenau, R. Vest, T.N. Gissel, et al. // *Osteopor. Int.* – 2009. – Vol 20, N 1. – P. 133-140.
21. Козлов, А.И. Сывороточный 25-гидроксивитамин D в различных группах населения России, Украины и Беларуси (систематический обзор с элементами мета-анализа) / А.И. Козлов, Г.Г. Вершубская // *Физиология человека.* – 2017. – Т.43, № 6. – С. 135-146.
22. Козлов, А.И. D-витаминный статус и персистенция лактазы в европейских популяциях (обзор литературы с элементами мета-анализа) / А.И. Козлов, Г.Г. Вершубская // *Вестник Московского университета «Серия XXIII Антропология».* – 2017. – № 3. – С. 68-75.
23. Anita, A. Cross-sectional study reveals a high prevalence of vitamin D deficiency among healthy school children in central Kerala, India / A. Anita, S.A. Poovathinal, V. Viswambharan, et al. // *Int. J. Contemp. Pediatr.* – 2019. – Vol 6, N 2. – P. 867-871.
24. Nizamutdinov, I. Allele frequency distribution of SNPs associated with levels of Vitamin D-binding protein and 25-hydroxyvitamin D / I. Nizamutdinov, Y. Popov, V. Ilinsky, A. Rakitko // *bioRxiv.* – 2019. Article ID 2019:564229. Doi: 10.1101/564229
25. Малярчук, Б.А. Полиморфизм гена GC, кодирующего витамин D-связывающий белок, у коренного населения Сибири / Б.А. Малярчук // *Экологическая генетика.* – 2020. – Т. 18, №2. – С. 243-250.
26. Brustad, M. Change in plasma levels of vitamin D after consumption of cod-liver and fresh codliver oil as part of the traditional North Norwegian fish dish «molje» / M. Brustad, T. Sandanger, T. Wilsgaard, L. Aksnes, E. Lund // *Intern. J. Circumpolar Health.* – 2003. – Vol 62, N 1. – P 40-53.
27. Johnson-Down, L. Adequate nutrient intakes are associated with traditional food consumption in Nunavut Inuit children aged 3-5 years / L. Johnson-Down, G.M. Egeland // *J. Nutr.* – 2010. Article ID 140: 1311-1316. Doi: 10.3945/jn.109.11788
28. Kozlov, A. Vitamin D status of northern indigenous people of Russia leading traditional and «modernized» way of life / A. Kozlov, Yu. Khabarova, G. Vershubsky, et al. // *Int. J. Circumpolar Health.* – 2014. – Vol. 73. Article ID 26038. Doi: <http://dx.doi.org/10.3402/ijch.v73.26038>
29. Козлов, А.И. Влияние «традиционного» и «вестернизированного» распределения продуктов «арктической кухни» на статус питания коренных северян / А.И. Козлов, Г.Г. Вершубская, М.А. Козлова, В.Г. Рыжаенков // *Этнографическое обозрение.* – 2017. – № 6. – С. 146-154.
30. Козлов, А.И. 25-гидроксивитамин D в различных группах населения Севера России / А.И. Козлов, Г.Г. Вершубская // *Физиология человека.* – 2019. – Т. 45, № 5. – С. 125-136.
31. Bell, J.G. Safe and nutritious aquaculture produce: benefits and risks of alternative sustainable aquafeeds / J.G. Bell, R. Waagbo // *Springer Verlag BV.* – 2008. – P. 185-225.
32. Ritu, G. Vitamin D deficiency in India: prevalence, causalities and interventions / G. Ritu, A. Gupta // *Nutrients.* – 2014. – Vol. 21, Article ID 6(2):729-75. Doi: 10.3390/nu6020729
33. Kenny, D.E. Vitamin D content in Alaskan arctic zooplankton, fishes, and marine mammals / D.E. Kenny, T.M. O'Hara, T.C. Chen, et al. // *Zoo Biology.* – 2004. – Vol.23. – P. 33-43.
34. Japelt, R.B. Vitamin D in plants: a review of occurrence, analysis, and biosynthesis / R.B. Japelt, J. Jakobsen // *Front. Plant. Sci.* – 2013. – Vol. 4. – P.136. Doi:10.3389/fpls.2013.00136
35. Keiver, K.M. Vitamin D Metabolism in the Hooded Seal (*Cystophora cristata*) / K.M. Keiver, H.H. Draper, K. Ronald // *J. Nutr.* – 1988. – Vol. 118, No 3. – P. 332-341.
36. Brustad, M. Vitamin D status in middle-aged women at 65-71 degrees north in relation to dietary intake and exposure to ultraviolet radiation / M. Brustad, E. Alsaker, O. Engelsen, et al. // *Public Health Nutr.* – 2004. – Vol. 2. – P. 327-335.
37. Kuhnlein, H.V. Vitamins A, D, and E in Canadian Arctic traditional food and adult diets / H.V. Kuhnlein, V. Barthelet, A. Farren, et al. // *J. Food Composit. Anal.* – 2006. – Vol. 19. – P. 495-506.
38. Keiver, K.M. Plasma-levels of vitamin-D and some metabolites in marine mammals / K.M. Keiver, R. Kugulanyi, H. Draper // *Canad. J. Zool.* – 2011. – Vol. 66, No 6. – P. 1297-1300.
39. Болтнев, А.И. Ресурсы морских млекопитающих и их промысел в 2013 г / А.И. Болтнев, А.И. Грачёв, К.А. Жариков и др. // *Труды ВНИРО.* – 2016. – Т.160. – С. 230-249.
40. Слапогузова, З.В. Морские млекопитающие как сырьё для производства пищевой продукции / З.В. Слапогузова, А.И. Болтнев, А.Г. Абдурахманов, Л.Х. Вафина // *Труды ВНИРО.* – 2016. – Т.159. – С. 87-94.
41. Козлов, А.И. Питание морских охотников Чукотки: традиции и современность. В кн.: Л.С. Богословская (ред.). «Тропюю Богораза». – М.: Институт Наследия, 2008. – С. 180-194.
42. Phillips, K.M. Survey of vitamin D and 25-hydroxyvitamin D in traditional native Alaskan meats, fish, and oils / K.M. Phillips, P.R. Pehrsson, K.Y. Patterson // *J. Food Compos. Anal.* – 2018. – Vol. 74. – P. 114-128.
43. Clausen, I. Vitamin D3 and 25-hydroxyvitamin D3 in raw and cooked pork cuts / I. Clausen, J. Jakobsen, T. Leth, L. Ovesen // *J. Food Composit. Analys.* – 2003. – Vol. 16, No 5. – P. 575-585.
44. Dunnigan, M.G. Meat consumption reduces the risk of nutritional rickets and osteomalacia / M.G. Dunnigan, J.B. Henderson, D.J. Hole, et al. // *Br. J. Nutr.* – 2005. – Vol. 94, No 6. – P. 983-991.

45. Hassan, A.A. Level of selected nutrients in meat, liver, tallow and bone marrow from semi-domesticated reindeer (*Rangifer t. tarandus* L.) / A.A. Hassan, T.M. Sandanger, M. Brustad // *Int. J. Circumpolar Health*. – 2012. – Vol. 71, No 1. Article ID 17997, Doi: 10.3402/ijch.v71i0.17997
46. Brustad, M. Seasonality of UV-radiation and vitamin D status at 69 degrees North / M. Brustad, K. Edvardsen, T. Wilsgaard, et al. // *Photochem. Photobiol. Sci.* – 2007. – Vol.8, No 6. – P. 903-908.
47. Wiklund, E. Water-holding capacity, color stability and sensory characteristics in meat (*M. longissimus dorsi*) from reindeer fed two different feeds / E. Wiklund, L. Johansson // *Rangifer*. – 2011. – Vol. 31, No 1. – P. 49-59.
48. Lin, Z. Biological adaptations in the Arctic cervid, the reindeer (*Rangifer tarandus*) / Z. Lin, L. Chen, X. Chen, et al. // *Science*. – 2019. – Vol. 364. Article ID eaav6312.
49. Weldenogodguad, M. Genome sequence and comparative analysis of reindeer (*Rangifer tarandus*) in northern Eurasia / M. Weldenogodguad, K. Pokharel, Y. Ming et al. // *Sci Rep*. – 2020. – Vol. 10. Article ID 8980. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65487-y>
50. Andersen, S.M. Vitamins and minerals in the traditional Greenland diet. NERI Tehnical Report, No. 528. National Environmental Research Institute, Denmark, 2005. – 44 pp.
51. Wiklund, E. Venison: Meat from red deer (*Cervus elaphus*) and reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) / E. Wiklund, M. Farouk, G. Finstad // *Animal Frontiers*. – 2014. – Vol. 4, №4. – P. 55-61.
52. Валь, О.М. Развитие оленеводства как важный фактор жизнеобеспечения населения Севера России / О.М. Валь, Е.Я. Федорова // *Теория и практика общественного развития*. – 2019. – №1 (131). – P. 55-60.
53. Максимов, А.А. Глубокая переработка продуктов оленеводства: возможности и направления развития / А.А. Максимов // *Сыктывкар. Известия Коми научного центра УрО РАН*. – 2019. – №4(40). – P. 110-118.
54. Гнедов, А.А. Перспективы заготовки и переработки продукции домашнего оленеводства и промысла дикого северного оленя / А.А. Гнедов, А.А. Кайзер, Е.В. Марцеха // *Достижения науки и техники АПК*. – 2013. – № 11. – P. 63-64.
55. Cashman, K.D. Dietary vitamin D2 – a potentially underestimated contributor to vitamin D nutritional status of adults? / K.D. Cashman, M. Kinsella, B.A. McNulty, et al. // *Brit. J. Nutr.* – 2014. – Vol. 112, No 2. – P. 193-202.
56. EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies). Scientific opinion on the safety of vitamin D-enriched UV-treated baker's yeast // *EFSA Journal*. – 2014. – Vol. 12, No 1. 3520. – pp. 19.
57. Bjorn, L.O. Vitamin D in an ecological context / L.O. Bjorn, T. Wang // *Int. J. Circumpolar Health*. – 2000. – Vol. 59, No 1. – P. 26-32.
58. Wang, T. Provitamins and vitamins D2 and D3 in *Cladina* spp. over a latitudinal gradient: possible correlation with UV levels / T. Wang, G. Bengtsson, I. Karnefelt, L.O. Bjorn // *J. Photochem. Photobiol. B*. – 2001. – Vol. 62. – P. 118-122.
59. Bjorn, L.O. Vitamin D: Photobiological and ecological aspects. In: L.O. Bjorn (ed.). *Photobiology – The science of life and light*, 2nd. ed. Springer, 2008. – P. 531-552.
60. Simon, R.R. Vitamin D in mushrooms: comparison of the composition of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) treated postharvest with UVB light or sunlight / R.R. Simon, K.M. Phillips, R.L. Horst, I.C. Munro // *J. Agric. Food. Chem.* – 2011. – Vol. 59. – P. 8724-8732.
61. Keegan, R.-J.H. Photobiology of vitamin D in mushrooms and its bioavailability in humans / R.-J.H. Keegan, Z. Lu, J.M. Bogusz, et al. // *Dermato-Endocrinol.* – 2013. – Vol. 5, №1. – P. 165-176.
62. Wacker, M. Vitamin D – effects on skeletal and extraskeletal health and the need for supplementation / M. Wacker, M.F. Holick // *Nutrients*. – 2013. – Vol 5, № 1. – P. 111-148.
63. Kamweru, P.K. Vitamin D and vitamin D from ultraviolet-irradiated mushrooms (Review) / P.K. Kamweru, E.L. Tindibale // *Int. J. Med. Mushrooms*. – 2016. – Vol.18, №3. – P. 205-214.
64. Cardwell, G. A review of mushrooms as a potential source of dietary vitamin D / G. Cardwell, J.F. Bornman, A.P. James, L.J. Black // *Nutrients*. – 2018. – Vol. 10, № 10. Article ID pii: E1498. Doi: 10.3390/nu10101498.
65. Won, D.J. Optimization of UV irradiation conditions for the vitamin D2-fortified shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) using response surface methodology / D.J. Won, S.Y. Kim, C.H. Jang, et al. // *Food Sci. Biotechnol.* – 2017. – Vol. 27, № 2. – P. 417-424.
66. Morales, D. Vitamin D-enriched extracts obtained from shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) by supercritical fluid extraction and UV-irradiation / D. Morales, A. Gil-Ramirez, F.R. Smiderle, et al. // *Innovat. Food Sci. Emerg. Technol.* – 2017. – Vol. 41. – P. 330-336.
67. Чернуха, И.М. Изучение биологических эффектов ягод годжи различного географического происхождения на крысах с моделью алиментарной гиперлипидемии / И.М. Чернуха, Е.А.Котенкова, Е.Р. Василевская и др. // *Вопр. питания*. – 2020. – Т. 89, №1. – С. 37-45.
68. Mattila, P. Sterol and vitamin D<sub>2</sub> contents in some wild and cultivated mushrooms / P. Mattila, A.-M. Lampi, R. Ronkainen, et al. // *Food Chemistry*. – 2002. – Vol.76, № 3. – P. 293-298.
69. Simon R.R., Borzelleca J.F., DeLuca H.F., Weaver C.M. Safety assessment of the post-harvest treatment of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) using ultraviolet light / R.R. Simon, J.F. Borzelleca, H.F. DeLuca, C.M. Weaver // *Food Chem. Toxicol.* – 2013. – Vol.56. – P. 278-289.
70. Aburjai, T. Vitamin D<sub>3</sub> and its metabolites in tomato, potato, eggplant and zucchini leaves / T. Aburjai, S. Ali-Khalil, M. Abuirjeie // *Phytochemistry*. – 1998. – Vol. 49, № 8. – P. 497-499.
71. Vinas, P. Dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of vitamins D and K in foods by liquid chromatography with diode-array and atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry detection / P. Vinas, M. Bravo-Bravo, I. Lopez-García, M. Hernandez-Cordoba // *Talanta*. – 2013. – Vol. 115. – P. 806-813.

72. Pokkanta, P. Simultaneous determination of tocopherols,  $\gamma$ -oryzanol, phytosterols, squalene, cholecalciferol and phyloquinone in rice bran and vegetable oil samples / P. Pokkanta, P. Sookwong, M. Tanang, et al. // Food Chemistry. – 2019. – Jan 15. – P. 630-638.

#### Уткина Александра Сергеевна

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова  
Аспирант кафедры товароведения и товарной экспертизы  
117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., 36, E-mail: ytkinaas@yandex.ru

#### Козлов Андрей Игоревич

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, НИИ и музей антропологии им. Д.Н. Анучина  
НИИ «Высшая школа экономики», Международная лаборатория исследований социальной интеграции  
Доктор биологических наук, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник  
125009, Россия, г. Москва, ул. Моховая, 11, стр. 1, E-mail: dr.kozlov@gmail.com

#### Никитин Игорь Алексеевич

Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского  
Доктор технических наук, заведующий кафедрой  
биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья  
109004, Россия, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73, E-mail: nikitinia@mgut.ru

#### Карагодин Василий Петрович

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова  
Доктор биологических наук, профессор кафедры товароведения и товарной экспертизы  
117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., 36, E-mail: vpka@mail.ru

A.S. UTKINA, A.I. KOZLOV, I.A. NIKITIN, V.P. KARAGODIN

## VITAMIN D: FOCUS ON RISK GROUPS AND ALTERNATIVE SOURCES

*Among the alternative or poorly used sources of vitamin D, the products of marine hunting and arctic reindeer husbandry are of particular interest. The promising nature of these sources of vitamin D is due to the fact that pinnipeds and cetaceans, staying at the top of food pyramids in marine biotopes, accumulate high concentrations of vitamin D and 25 (OH) D in their tissues. Reindeer tissue is rich in these nutrients thanks to natural foods including lichens and D<sub>2</sub>-producing fungi. The second promising direction for expanding the range of products with high vitamin D content is the use of various types of plant products, primarily algae, fungi and lichens. Improving the way these products are processed, developing new food products and diets and introducing them are an effective way to optimize D-vitamin status of the general population.*

**Keywords:** ergocalciferol D<sub>2</sub>, cholecalciferol D<sub>3</sub>, D-vitamin binding protein DBP, genes GC and VDR, marine mammals, reindeers, plants, mushrooms, lichens.

### BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Chung, M. Vitamin D and calcium: a systematic review of health outcomes / M. Chung, E.M. Balk, M. Brendel, et al. // Evid. Rep. Technol. Assess (Full Rep). – 2009. – Vol. 183. – P. 1-420.
2. Holick, M.F. Vitamin D and health: Evolution, biologic functions, and recommended dietary intakes for vitamin D / M.F. Holick // In: Vitamin D Physiology, Molecular Biology, and Clinical Applications. – 2013. – P. 3-33.
3. Kargina, I.G. Sovremennye predstavleniya o roli vitamina D / I.G. Kargina, V.A. SHCHerbak // Rossijskij pediatricheskij zhurnal. – 2016. – № 19 (2). – S. 103-105.
4. Reid, I.R. Calcium and/or vitamin D supplementation for the prevention of fragility fractures: who needs it? / I.R. Reid, M.J. Bolland // Nutrients. – 2020. – Vol. 12, №4. – P. 10-11.
5. Jain, A. Analysis of vitamin D level among asymptomatic and critically ill COVID-19 patients and its correlation with inflammatory markers / A. Jain, R. Chaurasia, N.S. Sengar, et al. // Sci. Rep. – 2020. – Vol. 10. Article ID 20191. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77093-z>
6. Jablonski, N.G. The colours of humanity: the evolution of pigmentation in the human lineage / N.G. Jablonski, G. Chaplin // Phil. Trans. R. Soc. B. – 2017. – Vol. 372. Article ID 20160349. Doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2016.0349>
7. Sturm R.A., Duffy D.L. Human pigmentation genes under environmental selection / R.A. Sturm, D.L. Duffy // Genome Biol. – 2012. – Vol. 13. – P.248. DOI: <https://doi.org/10.1186/gb-2012-13-9-248>
8. Bikle, D.D. Current controversies: are free vitamin metabolite levels a more accurate assessment of vitamin D status than total levels? / D.D. Bikle, S. Malmstroem, J. Schwartz // Endocrinol. Metabol. Clin. North Amer. – 2017. – Vol.46, №4. – P. 901-918.

9. Malik, S. Common variants of the vitamin D binding protein gene and adverse health outcomes / S. Malik, L. Fu, D.J. Juras, et al. // *Crit Rev Clin Lab Sci.* – 2013. – Vol. 50, №1. – P. 1-22.
10. Uitterlinden, A.G. Genetics and biology of vitamin D receptor polymorphisms: Review / A.G. Uitterlinden, Y. Fang, J.B.J. van Meurs, et al. // *Gene.* – 2004. – Vol. 338. – P. 143-156.
11. Zintzaras E., Rodopoulou P., Koukoulis G.N. BSMI, TAQI, APAI and FOKI polymorphisms in the vitamin D receptor (VDR) gene and the risk of osteoporosis: A meta-analysis / E. Zintzaras, P. Rodopoulou, G.N. Koukoulis // *Dis. Markers.* – 2006. – Vol 22. – P. 317-326.
12. Zhu, Z.H. Associations between vitamin D receptor gene polymorphisms and osteoarthritis: an updated meta-analysis / Z.H. Zhu, X.Z. Jin, W. Zhang, et al. // *Rheumatol. (Oxford).* – 2014. – Vol. 53, №6. – P. 998-1008.
13. Kozlov, A.I. Svyaz' otnositel'nogo sodержaniya kostnoj tkani s polimorfizmom gena receptora vitamina D / A.I. Kozlov, G.G. Vershubskaya, M.A. Negasheva // *Fiziologiya cheloveka.* – 2017. – T. 43. № 3. – S. 96-101.
14. Nelson, D.A. Polymorphism in the vitamin D receptor gene and bone mass in African-American and white mothers and children: a preliminary report / D.A. Nelson, P.J. Vande Vord, P.H. Wooley // *Ann. Rheum. Dis.* – 2000. – Vol. 59, N 8. – P. 626-630.
15. Vupputuri, M.R. Prevalence and functional significance of 25-hydroxyvitamin D deficiency and vitamin D receptor gene polymorphisms in Asian Indians / M.R. Vupputuri, R. Goswami, N. Gupta, et al. // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2006. – Vol. 83. – P. 1411-1419.
16. Kozlov, A.I. Association of vitamin D receptor gene with anthropometric measures in Komi ethnic group / A.I. Kozlov, G.G. Vershubsky Yu.A., Ateeva, P. Orr, L. Larcombe // *Russ. J. Genet. Appl. Res.* – 2014. – Vol. 4, №5. – P.397-404.
17. Hochberg, Z. Evolutionary perspective in skin color, vitamin D and its receptor / Z. Hochberg, A.R. Templeton // *Hormones.* – 2010. – Vol 9, N 4. – P. 307-311.
18. Lucock, M. Vitamin D: beyond metabolism / M. Lucock, P. Jones, C. Martin, et al. // *J. Evid. Based Compl. Alternat. Med.* – 2015. – Vol. 20, N4. – P. 310-322.
19. Hsu, S. Race, Ancestry, and Vitamin D Metabolism: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis / S. Hsu, A.N. Hoofnagle, D.K. Gupta, et al. // *J Clin Endocrinol Metab.* – 2020. – Vol.105, N12. Article ID 4337-50. Doi: 10.1210/clinem/dgaa612.
20. Hagenau, T. Global vitamin D levels in relation to age, gender, skin pigmentation and latitude: An ecologic meta-regression analysis / T. Hagenau, R. Vest, T.N. Gissel, et al. // *Osteopor. Int.* – 2009. – Vol 20, N 1. – P. 133-140.
21. Kozlov, A.I. Syvorotochnyj 25-gidroksivitamin D v razlichnyh gruppah naseleniya Rossii, Ukrainy i Belarusi (sistemateskij obzor s elementami meta-analiza) / A.I. Kozlov, G.G. Vershubskaya // *Fiziologiya cheloveka.* – 2017. – T.43, № 6. – C. 135-146.
22. Kozlov, A.I. D-vitaminnyj status i persistenciya laktazy v evropejskih populyacijah (obzor literatury s elementami meta-analiza) / A.I. Kozlov, G.G. Vershubskaya // *Vestnik Moskovskogo universiteta «Seriya XXIII Antropologiya».* – 2017. – № 3. – S. 68-75.
23. Anita, A. Cross-sectional study reveals a high prevalence of vitamin D deficiency among healthy school children in central Kerala, India / A. Anita, S.A. Poovathinal, V. Viswambharan, et al. // *Int. J. Contemp. Pediatr.* – 2019. – Vol 6, N 2. – P. 867-871.
24. Nizamutdinov, I. Allele frequency distribution of SNPs associated with levels of Vitamin D-binding protein and 25-hydroxyvitamin D / I. Nizamutdinov, Y. Popov, V. Ilinsky, A. Rakitko // *bioRxiv.* – 2019. Article ID 2019:564229. Doi: 10.1101/564229
25. Malyarchuk, B.A. Polimorfizm gena GC, kodiruyushchego vitamin D-svyazyvayushchij belok, u korenogo naseleniya Sibiri / B.A. Malyarchuk // *Ekologicheskaya genetika.* – 2020. – T. 18, №2. – C. 243-250.
26. Brustad, M. Change in plasma levels of vitamin D after consumption of cod-liver and fresh codliver oil as part of the traditional North Norwegian fish dish «molje» / M. Brustad, T. Sandanger, T. Wilsgaard, L. Aksnes, E. Lund // *Intern. J. Circumpolar Health.* – 2003. – Vol 62, N 1. – P 40-53.
27. Johnson-Down, L. Adequate nutrient intakes are associated with traditional food consumption in Nunavut Inuit children aged 3-5 years / L. Johnson-Down, G.M. Egeland // *J. Nutr.* – 2010. Article ID 140: 1311-1316. Doi: 10.3945/jn.109.11788
28. Kozlov, A. Vitamin D status of northern indigenous people of Russia leading traditional and «modernized» way of life / A. Kozlov, Yu. Khabarova, G. Vershubsky, et al. // *Int. J. Circumpolar Health.* – 2014. – Vol. 73. Article ID 26038. Doi: <http://dx.doi.org/10.3402/ijch.v73.26038>
29. Kozlov, A.I. Vliyanie «tradicionnogo» i «vesternizirovannogo» raspredeleniya produktov «arktcheskoj kuhni» na status pitaniya korennyh severyan / A.I. Kozlov, G.G. Vershubskaya, M.A. Kozlova, V.G. Ryzhaenkov // *Etnograficheskoe obozrenie.* – 2017. – № 6. – S. 146-154.
30. Kozlov, A.I. 25-gidroksivitamin D v razlichnyh gruppah naseleniya Severa Rossii / A.I. Kozlov, G.G. Vershubskaya // *Fiziologiya cheloveka.* – 2019. – T. 45, № 5. – S. 125-136.
31. Bell, J.G. Safe and nutritious aquaculture produce: benefits and risks of alternative sustainable aquafeeds / J.G. Bell, R. Waagbo // *Springer Verlag BV.* – 2008. – P. 185-225.
32. Ritu, G. Vitamin D deficiency in India: prevalence, causalities and interventions / G. Ritu, A. Gupta // *Nutrients.* – 2014. – Vol. 21, Article ID 6(2):729-75. Doi: 10.3390/nu6020729
33. Kenny, D.E. Vitamin D content in Alaskan arctic zooplankton, fishes, and marine mammals / D.E. Kenny, T.M. O'Hara, T.C. Chen, et al. // *Zoo Biology.* – 2004. – Vol.23. – P. 33-43.
34. Japelt, R.B. Vitamin D in plants: a review of occurrence, analysis, and biosynthesis / R.B. Japelt, J. Jakobsen // *Front. Plant. Sci.* – 2013. – Vol. 4. – P.136. Doi:10.3389/fpls.2013.00136

35. Keiver, K.M. Vitamin D Metabolism in the Hooded Seal (*Cystophora cristata*) / K.M. Keiver, H.H. Draper, K. Ronald // *J. Nutr.* – 1988. – Vol. 118, No 3. – P. 332-341.
36. Brustad, M. Vitamin D status in middle-aged women at 65-71 degrees north in relation to dietary intake and exposure to ultraviolet radiation / M. Brustad, E. Alsaker, O. Engelsen, et al. // *Public Health Nutr.* – 2004. – Vol. 2. – P. 327-335.
37. Kuhnlein, H.V. Vitamins A, D, and E in Canadian Arctic traditional food and adult diets / H.V. Kuhnlein, V. Barthelet, A. Farren, et al. // *J. Food Compos. Anal.* – 2006. – Vol. 19. – P. 495-506.
38. Keiver, K.M. Plasma-levels of vitamin-D and some metabolites in marine mammals / K.M. Keiver, R. Kyagulanyi, H. Draper // *Canad. J. Zool.* – 2011. – Vol. 66, No 6. – P. 1297-1300.
39. Boltnev, A.I. Resursy morskikh mlekopitayushchih i ih promysel v 2013 g / A.I. Boltnev, A.I. Grachyov, K.A. Zharikov i dr. // *Trudy VNIRO.* – 2016. – T.160. – C. 230-249.
40. Slapoguzova, Z.V. Morskie mlekopitayushchie kak syr'yo dlya proizvodstva pishchevoj produkcii / Z.V. Slapoguzova, A.I. Boltnev, A.G. Abdurahmanov, L.H. Vafina // *Trudy VNIRO.* – 2016. – T.159. – S. 87-94.
41. Kozlov, A.I. Pitaniye morskikh ohotnikov CHukotki: tradicii i sovremennost'. V kn.: L.S. Bogoslovskaya (red.). «Tropoyu Bogoraza». – M.: Institut Naslediya, 2008. – S. 180-194.
42. Phillips, K.M. Survey of vitamin D and 25-hydroxyvitamin D in traditional native Alaskan meats, fish, and oils / K.M. Phillips, P.R. Pehrsson, K.Y. Patterson // *J. Food Compos. Anal.* – 2018. – Vol. 74. – P. 114-128.
43. Clausen, I. Vitamin D3 and 25-hydroxyvitamin D3 in raw and cooked pork cuts / I. Clausen, J. Jakobsen, T. Leth, L. Ovesen // *J. Food Compos. Anal.* – 2003. – Vol. 16, No 5. – P. 575-585.
44. Dunnigan, M.G. Meat consumption reduces the risk of nutritional rickets and osteomalacia / M.G. Dunnigan, J.B. Henderson, D.J. Hole, et al. // *Br. J. Nutr.* – 2005. – Vol. 94, No 6. – P. 983-991.
45. Hassan, A.A. Level of selected nutrients in meat, liver, tallow and bone marrow from semi-domesticated reindeer (*Rangifer t. tarandus* L.) / A.A. Hassan, T.M. Sandanger, M. Brustad // *Int. J. Circumpolar Health.* – 2012. – Vol. 71, No 1. Article ID 17997, Doi: 10.3402/ijch.v71i0.17997
46. Brustad, M. Seasonality of UV-radiation and vitamin D status at 69 degrees North / M. Brustad, K. Edvardsen, T. Wilsgaard, et al. // *Photochem. Photobiol. Sci.* – 2007. – Vol.8, No 6. – P. 903-908.
47. Wiklund, E. Water-holding capacity, color stability and sensory characteristics in meat (*M. longissimus dorsi*) from reindeer fed two different feeds / E. Wiklund, L. Johansson // *Rangifer.* – 2011. – Vol. 31, No 1. – P. 49-59.
48. Lin, Z. Biological adaptations in the Arctic cervid, the reindeer (*Rangifer tarandus*) / Z. Lin, L. Chen, X. Chen, et al. // *Science.* – 2019. – Vol. 364. Article ID eaav6312.
49. Weldenogodguad, M. Genome sequence and comparative analysis of reindeer (*Rangifer tarandus*) in northern Eurasia / M. Weldenogodguad, K. Pokharel, Y. Ming et al. // *Sci Rep.* – 2020. – Vol. 10. Article ID 8980. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65487-y>
50. Andersen, S.M. Vitamins and minerals in the traditional Greenland diet. NERI Tehnical Report, No. 528. National Environmental Research Institute, Denmark, 2005. – 44 pp.
51. Wiklund, E. Venison: Meat from red deer (*Cervus elaphus*) and reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) / E. Wiklund, M. Farouk, G. Finstad // *Animal Frontiers.* – 2014. – Vol. 4, №4. – P. 55-61.
52. Val', O.M. Razvitie olenevodstva kak vazhnyy faktor zhizneobespecheniya naseleniya Severa Rossii / O.M. Val', E.YA. Fedorova // *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya.* – 2019. – №1 (131). – P. 55-60.
53. Maksimov, A.A. Glubokaya pererabotka produktov olenevodstva: vozmozhnosti i napravleniya razvitiya / A.A. Maksimov // *Sytktyvkar. Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN.* – 2019. – №4(40). – P. 110-118.
54. Gnedov, A.A. Perspektivy zagotovki i pererabotki produkcii domashnego olenevodstva i promysla dikogo severnogo olenya / A.A. Gnedov, A.A. Kajzer, E.V. Marcekhа // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK.* – 2013. – № 11. – P. 63-64.
55. Cashman, K.D. Dietary vitamin D2 – a potentially underestimated contributor to vitamin D nutritional status of adults? / K.D. Cashman, M. Kinsella, B.A. McNulty, et al. // *Brit. J. Nutr.* – 2014. – Vol. 112, No 2. – P. 193-202.
56. EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies). Scientific opinion on the safety of vitamin D-enriched UV-treated baker's yeast // *EFSA Journal.* – 2014. – Vol. 12, No 1. 3520. – pp. 19.
57. Bjorn, L.O. Vitamin D in an ecological context / L.O. Bjorn, T. Wang // *Int. J. Circumpolar Health.* – 2000. – Vol. 59, No 1. – P. 26-32.
58. Wang, T. Provitamins and vitamins D2 and D3 in *Cladina* spp. over a latitudinal gradient: possible correlation with UV levels / T. Wang, G. Bengtsson, I. Karnefelt, L.O. Bjorn // *J. Photochem. Photobiol. B.* – 2001. – Vol. 62. – P. 118-122.
59. Bjorn, L.O. Vitamin D: Photobiological and ecological aspects. In: L.O. Bjorn (ed.). *Photobiology – The science of life and light*, 2nd. ed. Springer, 2008. – P. 531-552.
60. Simon, R.R. Vitamin D in mushrooms: comparison of the composition of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) treated postharvest with UVB light or sunlight / R.R. Simon, K.M. Phillips, R.L. Horst, I.C. Munro // *J. Agric. Food. Chem.* – 2011. – Vol. 59. – P. 8724-8732.
61. Keegan, R.-J.H. Photobiology of vitamin D in mushrooms and its bioavailability in humans / R.-J.H. Keegan, Z. Lu, J.M. Bogusz, et al. // *Dermato-Endocrinol.* – 2013. – Vol. 5, №1. – P. 165-176.
62. Wacker, M. Vitamin D – effects on skeletal and extraskeletal health and the need for supplementation / M. Wacker, M.F. Holick // *Nutrients.* – 2013. – Vol 5, № 1. – P. 111-148.
63. Kamweru, P.K. Vitamin D and vitamin D from ultraviolet-irradiated mushrooms (Review) / P.K. Kamweru, E.L. Tindibale // *Int. J. Med. Mushrooms.* – 2016. – Vol.18, №3. – P. 205-214.
64. Cardwell, G. A review of mushrooms as a potential source of dietary vitamin D / G. Cardwell, J.F. Bornman, A.P. James, L.J. Black // *Nutrients.* – 2018. – Vol. 10, № 10. Article ID pii: E1498. Doi: 10.3390/nu10101498.

65. Won, D.J. Optimization of UV irradiation conditions for the vitamin D<sub>2</sub>-fortified shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) using response surface methodology / D.J. Won, S.Y. Kim, C.H. Jang, et al. // *Food Sci. Biotechnol.* – 2017. – Vol. 27, № 2. – P. 417-424.
66. Morales, D. Vitamin D-enriched extracts obtained from shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) by supercritical fluid extraction and UV-irradiation / D. Morales, A. Gil-Ramirez, F.R. Smiderle, et al. // *Innovat. Food Sci. Emerg. Technol.* – 2017. – Vol. 41. – P. 330-336.
67. CHernuha, I.M. Izuchenie biologicheskikh effektov yagod godzhi razlichnogo geograficheskogo proiskhozhdeniya na kryсах s model'yu alimentarnoj giperlipidemii / I.M. CHernuha, E.A.Kotenkova, E.R. Vasilevskaya i dr. // *Vopr. pitaniya.* – 2020. – T. 89, №1. – S. 37-45.
68. Mattila, P. Sterol and vitamin D<sub>2</sub> contents in some wild and cultivated mushrooms / P. Mattila, A.-M. Lampi, R. Ronkainen, et al. // *Food Chemistry.* – 2002. – Vol.76, № 3. – P. 293-298.
69. Simon R.R., Borzelleca J.F., DeLuca H.F., Weaver C.M. Safety assessment of the post-harvest treatment of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) using ultraviolet light / R.R. Simon, J.F. Borzelleca, H.F. DeLuca, C.M. Weaver // *Food Chem. Toxicol.* – 2013. – Vol.56. – P. 278-289.
70. Aburjai, T. Vitamin D<sub>3</sub> and its metabolites in tomato, potato, eggplant and zucchini leaves / T. Aburjai, S. Ali-Khalil, M. Abuirjeie // *Phytochemistry.* – 1998. – Vol. 49, № 8. – P. 497-499.
71. Vinas, P. Dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of vitamins D and K in foods by liquid chromatography with diode-array and atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry detection / P. Vinas, M. Bravo-Bravo, I. Lopez-García, M. Hernandez-Cordoba // *Talanta.* – 2013. – Vol. 115. – P. 806-813.
72. Pokkanta, P. Simultaneous determination of tocopherols,  $\gamma$ -oryzanol, phytosterols, squalene, cholecalciferol and phyloquinone in rice bran and vegetable oil samples / P. Pokkanta, P. Sookwong, M. Tanang, et al. // *Food Chemistry.* – 2019. – Jan 15. – P. 630-638.

**Utkina Aleksandra Sergeevna**

Plekhanov Russian University of Economics

Graduate student at the department of Commodity Science and Commodity Expertise  
117997, Russia, Moscow, Stremyanny per., 36, E-mail: ytkinaas@yandex.ru

**Kozlov Andrej Igorevich**

Lomonosov Moscow State University, Research Institute and Museum of Anthropology D.N. Anuchina

HSE University, International Laboratory for Social Integration Research

Doctor of biological sciences, candidate of medical sciences, leading researcher

125009, Russia, Moscow, st. Mokhovaya, 11, building 1, E-mail: dr.kozlov@gmail.com

**Nikitin Igor' Alekseevich**

K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management

Doctor of technical sciences, head of the department of

Biotechnology of Food Products from Plant and Animal Raw Materials

109004, Russia, Moscow, st. Zemlyanoy Val, 73, E-mail: nikitinia@mgutm.ru

**Karagodin Vasily Petrovich**

Plekhanov Russian University of Economics

Doctor of biological sciences, professor at the department of Commodity Science and Commodity Expertise

117997, Russia, Moscow, Stremyanny per., 36, E-mail: vpka@mail.ru