

# МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В МЕДИЦИНЕ

TRACE ELEMENTS IN MEDICINE

---

Том 26

Март

March

Vol. 26

Вып. 1

2025

2025

No. 1

Москва • 2025 • Moscow

**Орган Российского общества медицинской элементологии  
и Института микроэлементов ЮНЕСКО**  
*Journal of the Russian Society of Trace Elements in Medicine  
and Trace Element - Institute for UNESCO*

**Журнал основан и издается при поддержке  
АНО «Центр биотической медицины»**  
*Founded and supported by  
ANO "Centre for Biotic Medicine"*

Номер выпущен в марте 2025  
*Published in March 2025*

Международный научно-практический рецензируемый журнал  
Издается с 2000 г. на русском и английском языках  
*The journal is peer-reviewing  
Issued since 2000 in Russian and English*

Журнал включен в перечень ВАК:

1.5.4. Биохимия (медицинские науки); 1.5.5. Физиология человека и животных (медицинские науки);  
1.5.8. Математическая биология, биоинформатика (медицинские науки); 1.5.24. Нейробиология (медицинские науки); 3.3.3. Патологическая физиология (биологические, медицинские науки); 3.3.5. Судебная медицина (медицинские науки); 3.3.6. Фармакология клиническая фармакология (биологические науки); 3.3.8. Клиническая лабораторная диагностика (биологические, медицинские науки)

*Journal is accredited by Supreme Attestation Commission  
of the Russian Federation:*

1.5.4. Biochemistry (medical sciences); 1.5.5. Physiology of humans and animals (medical sciences);  
1.5.8. Mathematical biology, bioinformatics (medical sciences); 1.5.24. Neurobiology (medical sciences); 3.3.3. Pathological physiology (biological, medical sciences); 3.3.5. Forensic medicine (medical sciences); 3.3.6. Pharmacology, clinical pharmacology (biological sciences); 3.3.8. Clinical laboratory diagnostics (biological, medical sciences)

Журнал выходит 4 раза в год  
*The journal is quarterly*

Адрес редакции:  
105064 Москва, ул. Земляной Вал, 46, АНО ЦБМ  
E-mail: journaltem@gmail.com  
Факс: (495)936-01-38

Address:  
105064 Moscow, Zemlyanoy Val str., 46, NGO CBM  
E-mail: journaltem@gmail.com  
Fax: (495)936-01-38

Подписано в печать 27.03.2025. Формат 60×90/8  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 6,75. Тираж 50 экз.

## ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

## МИКРОНУТРИЕНТЫ В ПИТАНИИ КОСМОНАВТОВ

Д.В. Рисник<sup>1</sup>, В.М. Коденцова<sup>2\*</sup><sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
Российская Федерация, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12<sup>2</sup> ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»  
Российская Федерация, Москва, Устьинский проезд, д. 2/14

**РЕЗЮМЕ.** Космическое питание (продукты и блюда, созданные специально для космонавтов) для обеспечения оптимального физиологического и психологического состояния должно удовлетворять ежедневную потребность организма космонавта не только в макронутриентах (белки, жиры, углеводы), но и в микронутриентах.

**Цель обзора** – оценка потребления и обеспеченности организма космонавтов микронутриентами во время длительных полетов и обоснование необходимости повышения микронутриентной ценности космического питания.

**Результаты.** Расчетные величины потребления железа, цинка, кальция и калия у космонавтов во время полета приближается к уровню их рекомендуемого суточного потребления, у отдельных членов экипажа потребление минеральных веществ может не достигать рекомендованных норм. Фактический рацион космонавтов, сбалансированный по основным пищевым веществам, не всегда удовлетворяет потребности организма космонавта в микронутриентах. Оценка обеспеченности витаминами и минеральными веществами по уровню в крови или моче показывает, что к концу длительного полета микронутриентный статус ухудшается. В крови уменьшается концентрация витаминов D, K, фолатов, калия, магния, повышается уровень биомаркеров деградации коллагена, снижается минеральная плотность костной ткани. В совокупности исследования свидетельствуют о неадекватности витаминного состава рациона космонавтов в предполетный период, и космического питания во время полета. Изменения микронутриентного статуса космонавтов, произошедшие во время полета, сохраняются в течение длительного времени или даже усугубляются после возвращения на Землю.

**Заключение.** В период предполетной подготовки обеспеченность микронутриентами членов экипажа должна быть доведена до оптимального уровня путем приема витаминно-минеральных комплексов (ВМК) с содержанием всех витаминов в дозе, соответствующей физиологической потребности, в течение длительного времени (несколько месяцев). Микронутриентная плотность ряда традиционных блюд и продуктов космического питания должна быть повышена путем их обогащения витаминами. Для восполнения недостаточного потребления микронутриентов с рационом во время длительного полета необходим ежедневный прием многокомпонентных ВМК, содержащих дефицитные микронутриенты. Необходима разработка технологий (например, инкапсуляция), обеспечивающих сохранность витаминов при обогащении ими блюд и пищевых продуктов космического питания.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** витамины, макро- и микроэлементы, космонавты, микронутриентная недостаточность, витаминно-минеральные комплексы.

**Для цитирования:** Рисник Д.В., Коденцова В.М. Микронутриенты в питании космонавтов. Микроэлементы в медицине. 2025;26(1):3–16. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-3-16.

**ВВЕДЕНИЕ**

Рацион питания космонавтов должен удовлетворять ряду обязательных требований. Содержание основных пищевых веществ должно быть сбалансированным, причем одновременно с высокой энергетической ценностью, а вес и объём космической еды должны быть минимальными. Космическое питание (продукты и блюда, созданные специально для космонавтов) должно быть не только разнообразным и приемлемым по

вкусовым качествам, соответствовать разным вкусам, но и удовлетворять суточную потребность организма человека в макронутриентах (белки, жиры, углеводы) и микронутриентах, что необходимо для обеспечения оптимального физиологического и психологического состояния в космосе.

Основными категориями космической еды являются консервы, сублимированные продукты, продукты с уменьшенной влажностью, нату-

---

\* Адрес для переписки:

Коденцова Вера Митрофановна

E-mail: kodentsova@ion.ru

---

© Микроэлементы в медицине/Trace elements in medicine, 2025

DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-3-16

ральные продукты, охлаждённые продукты, свежие продукты, облученные продукты и функциональные продукты (Tang et al., 2021). Во время космического полёта космонавты должны потреблять достаточное количество пищи, чтобы не только удовлетворять свои потребности в пищевых веществах, но и минимизировать неблагоприятное воздействие космического полёта на организм (радиация, ослабление иммунитета, окислительный стресс, потеря костной и мышечной массы) (Bergouignan et al., 2016). Увеличение продолжительности полётов и любые отклонения от оптимального питания могут негативно сказываться на большинстве физиологических систем организма.

**Ц е л ь о б з о р а** – оценка потребления и обеспеченности организма космонавтов во время

длительных полетов микронутриентами и обоснование необходимости повышения микронутриентной ценности космического питания.

Обзор доступной в открытой печати литературы по проблеме микронутриентного статуса космонавтов за последние годы осуществляли по базам данных РИНЦ, PubMed, а также в системах Google Scholar, ReserchGate по ключевым словам: «vitamin», «mineral», «astronaut», а также их русским аналогам.

### **ФАКТИЧЕСКОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ КОСМОНАВТОВ В МИКРОНУТРИЕНТАХ**

В табл. 1 и 2 представлены сведения о потреблении макро- и микроэлементов космонавтами.

**Таблица 1. Суточное потребление (мг) микронутриентов космонавтами (Burchkov et al., 2021)**

Микронутриент	РНП*	«Аполлон» (Apollo)	Скайлэб (Skylab)	«Спейс шаттл» (Space Shuttle)	МКС (E1-13)	МКС (E14-25)	МКС (E26-37)
Кальций	1000	774 ± 212	894 ± 142	826 ± 207	878 ± 274	944 ± 258	1074 ± 205
Фосфор	700	1122 ± 325	1760 ± 267	1216 ± 289	–	–	–
Магний	420	–	310 ± 58	294 ± 74	–	–	–
Железо	10 (м) 18 (ж)	–	–	15,0 ± 3,9	18 ± 5	18 ± 5	20 ± 5
Цинк	12	–	–	12,0 ± 2,9	–	–	–
Натрий	1300	3666 ± 890	5185 ± 948	3984 ± 853	4601 ± 1239	4658 ± 1593	3823 ± 785
Калий	3500	2039 ± 673	3854 ± 567	2391 ± 565	3315 ± 513	3214 ± 863	3559 ± 784

**П р и м е ч а н и е :** РНП – рекомендуемая норма потребления; \* – нормы физиологических потребностей в витаминах и минеральных веществах для мужчин (м) и женщин (ж) (МР 2.3.1.0253-21. 2.3.1.), МКС – Международная космическая станция.

**Таблица 2. Суточное потребление (мг) минеральных элементов членами экипажей МКС с 2006 по 2009 г. (Smith et al., 2012)**

Микронутриент	РНП*	iRED (n=8)	ARED (n=8)
Кальций	1000	912 ± 229	894 ± 142
Железо	10 (м) – 18 (ж)	24 ± 8-	19 ± 6
Натрий	1300	4159 ± 656	5327 ± 2617
Калий	3500	2980 ± 435	3465 ± 1435

**П р и м е ч а н и е :** \* – нормы физиологических потребностей в витаминах и минеральных веществах для мужчин (м) и женщин (ж) (МР 2.3.1.0253-21. 2.3.1.), МКС – Международная космическая станция.; iRED – временное резистивное устройство для упражнений; ARED – усовершенствованное резистивное устройство для упражнений.

С участием 17 космонавтов было проведено тестирование двух четырехдневных диет, составленных из доступных космических продуктов с высоким (1,0–1,3 г белка/мЭкв калия) и низким (0,3–0,6 г/мЭкв) соотношением животного белка. Результаты показали, что суточное потребление калия находилось в диапазоне от  $2895 \pm 300$  до  $5094 \pm 185$ , кальция – от  $1357 \pm 191$  до  $1516 \pm 259$  мг, натрия – от  $3726 \pm 114$  до  $4641 \pm 1239$  мг (Zwart et al., 2018).

Рационы питания экипажей Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (National Aeronautics and Space Administration, сокр. NASA (НАСА)) и Роскосмоса на практике очень похожи из-за обмена продуктами (Seidler et al., 2022). Анализ и сравнение данных табл. 1 и 2 показывает, что, хотя на Международной космической станции (МКС) в среднем потребление железа, цинка, кальция и калия приближается к рекомендуемому суточному уровню, у отдельных членов экипажа поступление минеральных веществ может не достигать рекомендуемых норм.

### **ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ КОСМОНАВТОВ МИКРОНУТРИЕНТАМИ**

В открытой литературе данные, касающиеся оценки обеспеченности космонавтов микронутриентами, единичны (Smith et al., 2005). Результаты одного такого уникального обследования представлены в табл. 3.

Исходное предполетное обследование, опубликованное в 2005 г. (Smith et al., 2005), показало, что у большинства космонавтов до полёта уровень в плазме крови транспортной формы витамина D – 25-гидроксивитамина D ( $25(\text{OH})\text{D}_3$ ) не достигал нормальных значений. Несмотря на то, что некоторые космонавты принимали добавки витамина D ( $5,7 \pm 4,0$  раза в неделю), концентрация  $25(\text{OH})\text{D}_3$  в сыворотке крови членов экипажа МКС после посадки уменьшилась примерно на 25% по сравнению с величиной до полета. Во время космического полета статус витамина К также ухудшился, уровень филлохинона (витамин  $\text{K}_1$ ) в сыворотке крови снизился на 42%. Обеспеченность витамином А (концентрация ретинола, ретинолсвязывающего белка, транстиретина), а также витамином Е ( $\alpha$ -токоферол) не изменилась. До полета уровень фолатов в эритроцитах большинства космонавтов находился на верхней границе нормы или был близок к ней, а после полета приблизился к нижней границе нормы. В сыворотке крови снизился уровень антиоксидантных микронутриентов (селена,  $\gamma$ -токоферола, который

не является витамином, но обладает антиоксидантными свойствами). Концентрации магния и фосфора в моче после приземления оказались примерно на 45% ниже, чем в предполетный период. В совокупности эти данные, свидетельствующие об ухудшении микронутриентного статуса организма, отражают неадекватность витаминного состава рациона космонавтов в предполетный период и космического питания во время полета.

Сделано заключение, что ключевым фактором, способствующим ухудшению витаминного статуса космонавтов, является недостаточное потребление пищи, а причиной ухудшения антиоксидантного статуса – радиационный/окислительный стресс. Ограниченное содержание фолатов в питании во время полёта приводит к снижению их уровня в эритроцитах.

В более позднем обследовании были определены маркеры метаболизма костей и кальция в крови до, во время и после длительного космического полета у 13 космонавтов.

Исследования крови и суточной мочи, проведенные до запуска, в день посадки и пятикратно на 15, 30, 60, 120 и 180-й дни полета на фоне силовых упражнений или без них показали, что концентрация в сыворотке крови остеокальцина и кальция не претерпевала изменений, концентрация  $25(\text{OH})\text{D}_3$  на 30-е сутки полета снизилась на 25–45% по сравнению с предполетной, но на момент приземления уже составляла 110–135% от исходной величины (Smith et al., 2012). Аналогичная динамика отмечена для 1,25-гидроксивитамина D ( $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ ). К 15-му дню пребывания на МКС суточная экскреция кальция повысилась примерно на 15% и оставалась на этом уровне до 60-го дня, а затем к 120-му дню пребывания на МКС снизилась до исходного уровня. Во все моменты сбора мочи биомаркеры деградации коллагена (N-телопептид, C-телопептид, пиридиниевые сшивки и др.) были повышены по сравнению с исходным уровнем примерно в 2 раза (Zheng et al., 2023). Измерение минеральной плотности костей в разных отделах скелета показало, что во время 4–6-месячных миссий на МКС в условиях микрогравитации адекватное потребление энергии и витамина D в сочетании с силовыми упражнениями могут поддерживать минеральную плотность костной ткани в большинстве областей без использования фармацевтических средств (Smith et al., 2012).

Изменения микронутриентного статуса, у космонавтов, произошедшие во время полета, сохраняются в течение длительного времени или даже усугубляются после возвращения на Землю (табл. 4).

Таблица 3. Концентрация ( $M \pm \sigma$ ) некоторых витаминов, макро- и микроэлементов в крови и суточной моче у космонавтов ( $n = 11$ ) до и после длительного (4–6 месяцев) космического полета (Smith et al., 2005)

Показатель	Предполетная подготовка	После полета	Норма
<i>Сыворотка крови</i>			
25(OH)D <sub>3</sub> , нмоль/л	<b>63,4 ± 15,8</b>	<b>47,7 ± 20,4*</b>	75–250
1,25(OH) <sub>2</sub> D <sub>3</sub> , нмоль/л	124,5 ± 37,3	121,1 ± 38,9	18–64 пг/мл-
Витамин К <sub>1</sub> (филлохинон), нмоль/л	<b>1,2 ± 0,6</b>	<b>0,7 ± 0,5*</b>	≈ 1,0
Ретинол, мкмоль/л	2,09 ± 0,57	2,07 ± 0,47	1,0–2,8
Ретинилпальмитат, нмоль/л	<b>30,1 ± 12,8</b>	<b>61,5 ± 33,6*</b>	–
β-Каротин, мкмоль/л	0,40 ± 0,42	0,45 ± 0,28	0,37–0,70
α-Токоферол, мкмоль/л	30,1 ± 8,4	32,5 ± 6,7	19–35
γ-Токоферол, мкмоль/л	<b>3,2 ± 1,9</b>	<b>1,6 ± 1,1*</b>	
Ретинолсвязывающий белок, мг/л	53,0 ± 10,4	50,7 ± 9,3	20–75 мг/л
Транстиретин, мг/л	290 ± 47	300 ± 36	–
Кальций, ммоль/л	2,34 ± 0,03	2,30 ± 0,10	2,15–2,5
Ионизированный кальций, ммоль/л	1,21 ± 0,02	1,17 ± 0,05	1,15–1,32
Селен, мкмоль/л	<b>2,29 ± 0,27</b>	<b>2,03 ± 0,22*</b>	> 1,37 (> 108 мкг/л)
Супероксиддисмутаза, Ед/г гемоглобина	1315 ± 101	1195 ± 132*	1200–2000
Фолаты в эритроцитах, нмоль/л	<b>1549 ± 403</b>	<b>1260 ± 423*</b>	<b>1200</b> (523–1257 нг/мл)
<i>Моча суточная</i>			
Йод, мкмоль	3,08 ± 2,04	3,29 ± 2,10	100–200 мкг/л
Магний, ммоль	<b>4,8 ± 1,8</b>	<b>2,7 ± 0,8*</b>	> 3,0
Фосфор, ммоль	<b>31,5 ± 8,4</b>	<b>16,9 ± 5,6*</b>	12,9–42,0

Примечание: \* – статистически значимое отличие, жирным шрифтом выделены показатели, претерпевшие статистически значимые изменения.

Таблица 4. Изменение уровня 25-ОНД и минеральных веществ в сыворотке крови и моче космонавтов ( $n = 27$ ) во время и после полета (Zheng et al., 2023)

Микронутриент	Во время полета	После полета
<i>Сыворотка крови</i>		
Цинк	↑	↓
Железо	↓↑	↓
25-ОНД	↓	↓↓
<i>Моча суточная</i>		
Натрий	↓↑	↓
Калий	↓	↓↓

Примечание: ↑ – увеличение уровня у всех; ↓↑ – у части космонавтов увеличение, у части снижение; ↓ – снижение уровня у всех; ↓↓ – сильное снижение уровня у всех.

## **ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ НЕДОСТАТКА МИКРОНУТРИЕНТОВ У КОСМОНАВТОВ**

Основной медицинской проблемой космических полётов является потеря массы тела космонавтами во время космических миссий, что обусловлено снижением потребления калорий примерно на 25–30% во время космического полёта (Bergouignan et al., 2016). Расчеты показывают, что даже идеально построенный рацион взрослых, рассчитанный на 2500 ккал в день, дефицитен по большинству витаминов, по крайней мере, на 20%.

Во время и после длительного (6 мес.) космического полета более чем у 50% космонавтов развивается комплекс изменений, нейроокулярный синдром – офтальмологические изменения, включая рефракционные изменения, отек диска зрительного нерва, уплощение глазного яблока, и др. (Macias et al., 2020; Cialdai et al., 2021). Помимо микрогравитации его развитию способствуют радиационное воздействие, генетическая предрасположенность, условия окружающей среды внутри космического корабля и продолжительность космических полетов (Mehare et al., 2024). Одним из предикторов выступает недостаточная обеспеченность витаминами группы В (Smith, Zwart, 2018).

## **СОХРАННОСТЬ ВИТАМИНОВ В ПРОДУКТАХ КОСМИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ**

Обработка и хранение влияют на сохранность большинства витаминов, но степень их разрушения зависит от состава продукта, способа обработки, упаковки, срока и условий хранения. Сохранность витаминов определена в 109 из 203 продуктов, доступных в настоящее время в стандартном меню МКС, которые были обработаны и упакованы в соответствии с текущими требованиями к космическим полётам, а затем хранились при температуре 21°C в течение 3 лет (Coore et al., 2017). Определение микронутриентов в космическом рационе показало, что содержание витаминов D и K, а также кальция и калия в свежеработанных продуктах не обеспечивает уровня рекомендуемого потребления. Содержание витаминов В<sub>1</sub> и С при хранении в космосе в течение 3 лет при температуре 21°C быстро снижалось, тогда как витамины А, В<sub>6</sub> и В<sub>12</sub> разрушались незначительно или продолжали оставаться в продуктах в количестве, достаточном для обеспечения потребности организма. Содержа-

ние витамина С после 3 лет хранения в большинстве фруктовых продуктов снизилось на 32–83%. Витамин С оказался более стабильным в сублимированных продуктах, которые защищены от окисления (продукты с соусами), а также в порошкообразных обогащенных напитках. В блюдах из курицы и говядины разрушение витамина В<sub>6</sub> составило 26 и 22% соответственно. Витамин В<sub>1</sub> был более стабилен в хлебобулочных изделиях, чем в мясных продуктах. Значительному разрушению подвергаются витамины В<sub>2</sub>, А и С (Dakkumadugula et al., 2023).

На основании сравнения сохранности витаминов при хранении пищевых продуктов в космосе и на Земле был сделан вывод, что основным фактором, приводящим к разрушению, является продолжительность хранения, а не космический полёт как таковой (Chaloulakou et al., 2022).

В качестве технологии, повышающей сохранность витаминов, предложено использовать инкапсулированные витамины. Так, в картофельном пюре (помещенном после термообработки в вакуумные упаковки из пленок различного вида), обогащенном инкапсулированной и не инкапсулированной аскорбиновой кислотой, при хранении при температуре 5 °С в течение 90 дней сохранность инкапсулированного витамина С была выше. Потери составили 13–31% против 12–76% при использовании обычного витамина С (Sonar et al., 2020). Совместное обогащение пюре витаминами А (пальмитат) и Е (ацетат) показало, что в инкапсулированном виде сохранность полная, а потери при использовании обычных витаминов составили 4–5%.

## **НУТРИТИВНАЯ ПОДДЕРЖКА КОСМОНАВТОВ**

Хорошо зарекомендовавшим себя наземным аналогом изучения космических полетов является постельный режим с наклоном головы вниз, при котором здоровые участники прикованы к постели в положении с наклоном головы вниз на 6° (Gao, Chilibeck, 2020). Постельный режим с наклоном головы вниз используется для изучения физиологических адаптаций во время космического полета и изучения мер противодействия этим изменениям, поэтому такие исследования имеют непосредственное применение, а также актуальны для клинических условий на Земле. Постельный режим вызывает мультисистемные эффекты, аналогичные тем, которые часто наблюдаются во время космических полетов.

К ним относятся атрофия мышц, непереносимость глюкозы, повышенная резорбция костной ткани и снижение гидростатического градиента давления в сердечно-сосудистой системе (Gao, Chilibeck, 2020). Снижение нагрузки на скелет увеличивает резорбцию костной ткани и снижает образование костной ткани (Gao, Chilibeck, 2020; Zheng et al., 2023).

В зрелом возрасте скелет находится в равновесном состоянии по отношению к кальцию, поэтому для предотвращения потери костной массы жизненно важно потреблять достаточное количество этого элемента. Витамин D поддерживает гомеостаз кальция, увеличивая всасывание кальция из кишечника. В этом смысле диетические проблемы пациентов ортопедического профиля на Земле и у космонавтов в космосе имеют общие черты (Briguglio, 2021).

Считается, что одной из ключевых проблем для космических полётов и ограничений в системе питания является поддержание адекватного статуса витамина D. По данным С.М. Смита с соавт. (Smith et al., 2005) членам экипажа выдавались добавки витамина D (10 мкг или 400 МЕ в сут). Некоторые члены экипажа принимали поливитаминные комплексы по собственному усмотрению и/или по рекомендации врача.

Позже было доказано, что ежедневный прием витамина D в дозе 800 МЕ достаточен для поддержания уровня витамина D в условиях полного отсутствия ультрафиолетового облучения и небольшим количеством пищевых продуктов – источников витамина D (Smith et al., 2012). Показано, что во время 4–6-месячных миссий в условиях микрогравитации на МКС адекватное потребление энергии и витамина D в сочетании с силовыми упражнениями могут поддерживать минеральную плотность костной ткани в большинстве областей скелета (Smith et al., 20).

Измерение у 2 космонавтов-мужчин 39 и 40 лет перед полетом, во время и после полета длительностью 21 день, в ходе которого ежедневное потребление кальция составляло 800–1200 мг, а витамин К в рацион не добавлялся, и 180-дневного космического полета биохимические маркеры, отражающие ремоделирование костей (концентрация пропептида проколлагена I типа и активность костного изофермента щелочной фосфатазы), снизились уже через 8 дней после запуска. Процент недокарбоксилированного остеокальцина в сыворотке крови, свидетельствующего о недостатке витамина К в пище,

увеличился с 14,5% в предполетный период до 22,5% и оставался высоким во время обоих полетов (Caillot-Augusseau et al., 2000).

Остеокальцин представляет собой витамин D (транскрипция регулируется 1,25-дигидроксивитаминном D<sub>3</sub> [1,25(OH)D<sub>3</sub>]) и одновременно витамин К-зависимый белок, синтезируемый исключительно в кости в процессе ее формирования. Остеокальцин обнаруживается в сыворотке крови и используется в качестве биомаркера формирования кости. При дефиците витамина К в рационе питания уровень некарбоксилированной фракции ОС (ucOC) увеличивается, тогда как при увеличении потребления витамина К снижается. Уровень циркулирующего нефосфорилированного некарбоксилированного матриксного Gla белка оказался предиктором сердечно-сосудистого риска и смертности, в то время как уровень циркулирующего полностью некарбоксилированного матриксного Gla белка связан с распространенностью артериальной кальцификации (Shea et al., 2021; Wang, Ma, 2023).

Саплементация по 10 мг витамина К с 86 по 130 день во время длительного полета восстановила  $\gamma$ -карбоксилирование остеокальцина у космонавтов (Caillot-Augusseau et al., 2000), однако после отмены приема витамина К степень недокарбоксилированного остеокальцина вернулась к исходному уровню.

В экспериментах на крысах показано, что после воздействия  $\gamma$ -излучения однократная доза витамина С (400 мг на 1 кг массы тела) повышает выживаемость (Mortazavi et al., 2014). В качестве радиопротектора предлагается использование витамина С, однако дозы не обсуждаются (Sihver, Mortazavi, 2021). Во время длительных космических полётов природные антиоксиданты могут оказаться полезными, однако подчеркивается, что их следует принимать регулярно, а не одноразово или от случая к случаю, и не превышая верхний безопасный уровень потребления, поскольку антиоксиданты в высоких дозах и в присутствии ионов металлов могут оказывать прооксидантное действие (Gómez et al., 2021).

В рандомизированном, контролируемом, слепом исследовании прием добавки антиоксидантов, содержащей 741 мг полифенолов, 2,1 г омега-3 полиненасыщенных жирных кислот, 168 мг витамина Е и 80 мкг селена, не смягчил ухудшающее воздействие на минеральную плотность костной ткани добровольцев, находившихся в течение 60 сут на постельном режиме с наклоном головы вниз на 6° (Austermann et al., 2023).



Помимо витамина D, для восполнения недостатка витаминов космонавтам рекомендуют «Гексавит» – разработанный еще в СССР витаминный комплекс (в настоящее время выпускаемый разными фирмами), содержащий 6 витаминов (аскорбиновая кислота, никотинамид, рибофлавин, пиридоксина гидрохлорид, тиамин гидрохлорид, ретинола ацетат) в дозах около 100% от РНП.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Основной медицинской проблемой космических полётов является потеря массы тела космонавтами во время космических миссий, что обусловлено снижением потребления калорий примерно на 25–30% во время полёта. Показано, что рацион с энергетической ценностью менее 2000 ккал/сут ведет к обязательному параллельному снижению потребления микронутриентов и снижению уровня витаминов B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub> и β-каротина в крови при сохранении концентрации витаминов C, A и E на адекватном или оптимальном уровне. Исходя из того, что содержание основных пищевых веществ в рационе должно быть сбалансированным, а вес и объём космической еды должны быть минимальными, очевидно, что микронутриентная плотность должна быть повышена за счет технологического обогащения (фортификации) микронутриентами.

Еще одной из возможных причин развития недостаточности витаминов во время космических миссий является длительное хранение пищевых продуктов, в процессе которого уменьшается их витаминная ценность. Способствовать возникновению недостаточности может и нарушение всасывания витаминов в желудочно-кишечном тракте (нарушение секреции желчи, необходимой для всасывания жирорастворимых витаминов, нарушение усвоения пищевых веществ в результате стрессов). Развитие стресса вне зависимости от его природы (иммобилизация, воздействие вредных факторов окружающей среды, радиационное воздействие, алиментарный и др.) приводит к ухудшению витаминного статуса организма (витамины E, A, C) (Коденцова и др., 2013). Увеличенное зависимое от витамина C образование катехоламинов при стрессовых ситуациях сопровождается повышением потребности в этом витамине. Обеспеченность отдельными витаминами (B<sub>1</sub>, E, C, B<sub>6</sub>) оказывает влияние на антиоксидантный статус организма.

Изменения биохимических и иммунных показателей космонавтов связаны с неблагоприятными эффектами адаптации к микрогравитации, такими как резорбция костной ткани и нарушение функции почек, а также с дисрегуляцией иммунной системы. Изменения физиологических функций организма в длительных космических полётах (воспалительные реакции, метаболический стресс, усиление резорбции костной ткани, потеря мышечной массы, развитие инсулинорезистентности и др.) имеют сходство с процессами старения (Тосси et al., 2024). Причины потери костных минералов, обусловленные космическим полетом, до конца не изучены и носят многофакторный характер. Установлена ассоциация между недостаточной обеспеченностью организма витамином D и возникновением трех взаимовлияющих друг на друга процессов: окислительного стресса, воспаления и эндотелиальной дисфункции.

Необходимым условием осуществления витамином D своих функций является полноценное обеспечение организма человека всеми витаминами, необходимыми для образования гормонально активной формы витамина D и осуществления контролируемых ею многочисленных физиологических процессов, включая обмен кальция и остеогенез (Спиричев, Громова, 2012). Аскорбиновая кислота необходима для нормального осуществления процессов стероидогенеза, в том числе синтеза важнейшего предшественника витамина D – холестерина. Коферментные формы витамина B<sub>2</sub> входят в состав активного центра флавопротеиновых монооксигеназ, осуществляющих гидроксирование витамина D при его превращении в гормонально активную форму 1,25(OH)<sub>2</sub>D. Коферментная форма витамина B<sub>6</sub> – пиридоксальфосфат играет важную роль в модификации структуры белковых рецепторов стероидных гормонов, в том числе рецепторов (VDR) гормонально активной формы витамина D. Никотинамидные коферменты (производные витамина PP) необходимы в качестве источника восстановительных эквивалентов в процессах гидроксирования витамина D с образованием 1,25(OH)<sub>2</sub>D. Фолаты важны для поддержания пролиферативной способности клеток, в том числе клеток костной ткани в процессах ее обновления. Витамин E как антиоксидант выступает в качестве протектора микросомальных и митохондриальных гидроксилаз, в

том числе участвующих в синтезе гормонально активной формы витамина D. Витамин К участвует в посттрансляционной модификации кальцийсвязывающих белков, в том числе кальцийсвязывающего белка остеокальцина, синтез которого на генетическом уровне индуцирует гормонально активная форма витамина D.

В процессах остеогенеза задействованы и другие микронутриенты. Значение витаминов С и В<sub>6</sub> в остеогенезе определяется их ролью в синтезе и созревании коллагена – белка костной ткани, образующего соединительнотканное волокно, которые придают костям упругость при деформации, и формирующего центры нуклеации (зародышеобразования), облегчающие пространственно ориентированное, упорядоченное отложение кристаллов основного минерального вещества костей – гидроксиапатита. Аскорбиновая кислота непосредственно участвует в процессе созревания коллагена, катализируя гидроксилирование в молекуле коллагена остатков пролина в гидроксипролин. Дефицит витамина С, нарушая образование указанных форм витамина D, ведет к развитию вторичного, функционального D-гиповитаминоза, который выражается в гипокальциемии, снижении всасывания кальция в кишечнике, а также минеральной плотности скелета.

Таким образом, необходимым условием реализации витамином D его функции по поддержанию гомеостаза кальция и ремоделированию скелета является оптимальное обеспечение организма витаминами С и В<sub>2</sub>, принимающими непосредственное участие в образовании активных форм витамина D. Недостаток этих витаминов даже при нормальном снабжении организма кальцием и витамином D тормозит реализацию их функции по поддержанию нормальной структуры и минеральной насыщенности скелета. Улучшение обеспеченности одним витамином может способствовать эффективному превращению другого витамина в его активную форму. Ликвидировать недостаток витамина D невозможно без устранения недостаточности других витаминов (С, Е, К, группы В), участвующих в превращении витамина D в свою активную форму или процессах остеогенеза. То есть при недостаточной обеспеченности организма другими витаминами прием витамина D не всегда может скорректировать нарушения, причиной которых является недостаток активных форм витамина D (Коденцова, Рисник, 2020).

В связи с этим становится ясно, что для того, чтобы эффективно использовать витамин D для снижения риска нарушений, причиной которых является недостаток этого витамина, необходимо применять его в сочетании с полным набором всех необходимых для реализации его физиологических функций витаминов в дозах, соответствующих физиологической потребности организма.

В настоящее время разработано несколько надежных способов коррекции микронутриентной недостаточности, эффективность которых научно доказана.

Прежде всего, это технологическое обогащение пищевых (специализированных) продуктов, что подразумевает добавление витаминов и/или минеральных веществ к продукту в процессе его изготовления. В суточной порции обычного обогащенного продукта содержание добавленного микронутриента может составлять 15–50% от рекомендуемой нормы потребления (РНП), в специализированных пищевых продуктах содержание витаминов может достигать 300% от РНП.

Не менее надежным способом является прием сбалансированных витаминно-минеральных комплексов (ВМК), содержание отдельных микронутриентов в которых варьируется от 15 до 300% от РНП. Кроме того, в какой-то мере в условиях космоса может быть использована биофортификация – повышение микронутриентной ценности пищевой продукции путем агрономических приемов с применением удобрений или опрыскивания растений микроэлементами. В частности, выращивание зелени капусты *Brassica rapa* L., кориандра (*Coriandrum sativum* L.), зеленого и фиолетового базилика (*Ocimum basilicum* L.) на среде с повышенным содержанием йодида калия привело к повышению содержания йода и суммарного количества полифенольных соединений (Ritieni et al., 2023).

В настоящее время уже установлены основные принципы применения и требования к композиционному составу ВМК, обеспечивающие максимальную эффективность для поддержания оптимальной обеспеченности организма микронутриентами (Коденцова и др., 2024).

Для улучшения витаминного статуса требуется время, более длительное при приеме ВМК с низкими дозами, причем для каждого из витаминов время достижения оптимальных концентраций разное (Коденцова, Вржесинская, 2006). Для

оптимизации витаминного статуса организма при приеме ВМК, содержащих витамины в дозах, соответствующих 100% от рекомендуемого суточного потребления (РСП), требуется от 1,5 мес. для витаминов группы В до 3–5 мес. для витамина D. Курсового приема ВМК в течение 1 мес. может быть недостаточно для коррекции дефицита всех витаминов.

После начала приема ВМК, содержащих микронутриенты в дозировках, приблизительно соответствующих 100% РНП, наблюдается постепенное увеличение концентрации микронутриентов в крови, собранной натощак после ночного голодания. Для витаминов группы В пик концентрации достигается в интервале от 4 до 6 недель, тогда как для витамина D этот период составляет от 12 до 20 недель. Для достижения максимального уровня в плазме крови при приеме витамина К<sub>2</sub> в дозе 60 мкг требуется не менее 6 недель, после прекращения приема концентрация снижается до исходного уровня в течение 2 недель, поэтому важен постоянный, а не курсовой прием этого витамина в дозах, сопоставимых с физиологической потребностью (Кнарел et al., 2016).

Научно обоснованный выбор и режим приема ВМК, эффективных для поддержания оптимального микронутриентного статуса организма, должен базироваться на композиционном составе, дозах и формах микронутриентов, входящих в состав ВМК, а также рациональном режиме их применения.

#### ***Критерии выбора ВМК, эффективных для поддержания оптимального микронутриентного статуса организма***

1. ВМК должен быть многокомпонентным, включать основные микронутриенты, недостаток которых обнаруживается у обследуемых.

2. Доза витаминов должна соответствовать физиологической потребности, т.е. составлять около 100% от РНП.

3. Формы минеральных веществ и витаминов должны обладать максимальной биодоступностью.

4. Прием ВМК должен быть ежедневным, а не курсовым.

Прекращение приема ВМК приводит к процессу элиминации витаминов, который можно сравнить с движением санок с горки, имеющей различную степень уклона: для витаминов группы В процесс «вымывания» происходит в течение 1-2 недель, что ассоциируется со скатыванием с крутой горки, в то время как для витамина D

элиминация занимает до 12 недель, что больше похоже на пологий склон. В конце концов происходит возврат обеспеченности организма к исходному уровню, который обеспечивает основное питание. Таким образом, приема ВМК в течение одного месяца может оказаться недостаточно для полной коррекции дефицита всех витаминов, а прекращение приема ВМК немедленно ведет к возобновлению дефицита микронутриентов до исходного дефицитного уровня.

Применительно к обогащенным микронутриентами пищевым продуктам и БАД к пище эффективность в значительной степени эквивалентна биодоступности конкретных микронутриентов, входящих в их состав (Коденцова, Вржесинская, 2006). Биодоступность микронутриента – это его доля, которая всосалась в кишечнике и используется для осуществления физиологических функций. Иногда абсорбцию, то есть способность микронутриента всасываться в кишечнике или степень его абсорбции, используют как синоним биодоступности, однако хорошая абсорбция – это лишь одно из необходимых условий хорошей биодоступности. Биодоступность зависит не только от степени всасывания, но и от включения абсорбированного микронутриента в метаболические процессы (в частности железа – в эритропоэз, кальция – для минерализации костей, витамина К<sub>2</sub> для карбоксилирования остеокальцина и т.д.). Кроме того, усвоение микронутриента из добавки в конечном итоге отражает его биодоступность из всего рациона, а не только из обогащенного пищевого носителя микронутриента. В результате биодоступность микронутриентов из рациона зависит от баланса между содержащимися в пище ингибиторами и усилителями всасывания.

Биодоступность минеральных элементов зависит от используемого химического соединения, входящего в состав ВМК. Показано, что биодоступность железа, магния из хелатов выше, чем из солей металлов. Биодоступность железа из хелата с бисглицинатом, оцененная по включению в эритроциты, в 3-4 раза превышает таковую для используемого в качестве эталона сульфата железа. Как установлено с использованием радиоизотопного <sup>57</sup>Fe, улучшение гематологических показателей при приеме бисглицината железа, сопоставимого с биодоступностью гемового Fe, достигается при более низких дозах, чем при использовании сульфата железа (Коденцова и др., 2023). Прием холекальциферола более эф-

фективен для улучшения статуса витамина D (уровней общего 25(OH)D и 25(OH)D<sub>3</sub> в сыворотке крови) и регулирования уровня паратиреоидного гормона (ПТГ) по сравнению с эргокальциферолом (витамин D<sub>2</sub>).

Согласно данным метаанализов ежедневное, постоянное воздействие витамина D в дозах, сопоставимых с физиологической потребностью, предпочтительнее, чем прерывистое ежемесячное воздействие чрезвычайно высоких доз для улучшения статуса этого витамина и достижения максимальной пользы, а именно устранения нарушений, обусловленных недостатком этого витамина (Коденцова и др., 2024).

Вышесказанное свидетельствует о необходимости принятия дополнительных мер для предотвращения неблагоприятных последствий (остеопороза, образования камней в почках, реактивации вирусов), особенно при длительных полетах. Они могут включать в себя обогащенное микронутриентами питание или, при необходимости, биологически активные добавки – дополнительные источники микронутриентов.

Разработка сбалансированного рациона с контролируемым потреблением витаминов, биологически активных веществ и продуктов, обладающих радиопротекторными свойствами, должна значительно снизить риски, с которыми сталкиваются космонавты во время космических полетов, избежать ряда патофизиологических изменений, таких как канцерогенез, деминерализация костей, дисфункция иммунной системы, снижение умственной и физической работоспособности и космическое укачивание.

Космическая пища должна быть устойчивой к температурным и механическим воздействиям, иметь длительный срок хранения, что требует использования для обогащения пищевых продуктов и блюд форм витаминов, обладающих повышенной устойчивостью, обеспечивающих максимальную сохранность в течение длительного срока годности продукта.

До настоящего времени должного внимания влиянию питания на физиологические изменения в организме космонавтов не уделялось. Предпринимаются попытки предотвратить эти изменения путем обогащения рациона космонавтов витаминами и минеральными веществами (Gao, Chilibeck, 2020). Исследования, оценивающие эффективность дополнительного приема кальция и витамина D во время космического полета или при использовании модели постельного режима

имеют ограничения по дизайну и отличаются малыми размерами выборки. Кроме того, продолжительность дополнительного приема витамина D и кальция были кратковременными, что не позволило выявить эффект.

Технологическое обогащение продуктов питания в ходе их изготовления витаминами, микро- и макроэлементами, пробиотиками, а также биоактивными компонентами (антиоксидантными соединениями) для удовлетворения потребностей в пищевых веществах – стратегия, позволяющая удовлетворить метаболические потребности членов экипажа космического корабля.

В настоящее время признано, что адекватное потребление кальция и прием витамина D во время космических миссий являются обязательными. Учитывая, что для осуществления витамином D физиологических функций необходима адекватная обеспеченность другими микронутриентами (Коденцова и др., 2024), участвующими в превращении витамина D в свою активную форму или в процессах остеогенеза, питание должно быть обогащено и другими микронутриентами.

## **ВЫВОДЫ**

1. Адаптация космонавтов к микрогравитации связана с неблагоприятными эффектами, проявляющимися в изменениях биохимических и физиологических показателей, в том числе с ухудшением микронутриентного статуса (снижение обеспеченности организма витаминами D, K, рядом минеральных веществ).

2. Фактический рацион космонавтов, сбалансированный по основным пищевым веществам, не всегда покрывает потребности организма космонавта в микронутриентах.

3. Микронутриентная плотность ряда традиционных блюд и продуктов космического питания должна быть повышена путем их обогащения витаминами.

4. Для восполнения недостаточного потребления микронутриентов с рационом во время длительного полета необходим ежедневный прием многокомпонентных ВМК, содержащих полный набор витаминов, в том числе витамин D (в дозе 800–1000 МЕ), витамин K<sub>2</sub>, все 8 витаминов группы B, в дозе соответствующей рекомендуемому суточному потреблению, а также магний (100 мг) в виде цитрата или хелата, кальций, калий.

5. Необходима разработка технологий (например, инкапсуляция), обеспечивающих со-

хран-ность витаминов при обогащении ими блюд и пищевых продуктов космического питания, а также входящих в состав ВМК.

6. В период предполетной подготовки обеспеченность членов экипажа должна быть доведена до оптимального уровня путем приема многокомпонентного ВМК с содержанием всех витаминов в дозе, соответствующей физиологической потребности, в течение длительного

времени (несколько месяцев). Обязательно использовать йодированную соль.

7. Оптимальное питание, включая полноценный витаминно-минеральный компонент, имеет первостепенное значение и в сочетании с физической активностью играет ключевую роль в смягчении многих состояний, обусловленных длительным пребыванием в космосе, в том числе потери костной и мышечной массы.

#### Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

#### Conflict of interest

The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

## ЛИТЕРАТУРА

- Коденцова В. М., Рисник Д. В., Мойсеёнок А. Г. Алгоритм эффективного применения витаминно-минеральных комплексов. Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2024; 22(2): 177–184. <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2024-22-2-177-184>.
- Коденцова В.М., Вржесинская О.А. Витаминно-минеральные комплексы: соотношение доза – эффект. Вопросы питания. 2006; (1): 30–39.
- Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Мазо В.К. Витамины и окислительный стресс. Вопросы питания. 2013; 82(3): 11–18.
- Коденцова В.М., Рисник Д.В. Микронутриентные метаболические сети и множественный дефицит микронутриентов: обоснование преимуществ витаминно-минеральных комплексов. Микроэлементы в медицине. 2020. 21(4): 3–20. DOI: 10.19112/2413-6174-2020-21-4-3-20.
- Коденцова В.М., Рисник Д.В., Бессонов В.В. Соединения железа для обогащения пищевых продуктов: сравнительный анализ эффективности. Микроэлементы в медицине. 2023; 24(1): 10–19. DOI: 10.19112/2413-6174-2023-24-1-10-19.
- Коденцова В.М., Рисник Д.В., Шарафетдинов Х.Х. Биодоступность и эффективность витаминно-минеральных комплексов. Микроэлементы в медицине. 2024; 25(1): 3–15. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-1-3-15.
- Спиричев В.Б., Громова О.А. Витамин D и его синергисты. Земский врач. 2012; (2): 33–38.
- Austermann K, Baecker N, Zwart SR, Fimmers R, Stehle P, Smith SM, Heer M. Effects of antioxidant supplementation on bone mineral density, bone mineral content and bone structure in healthy men during 60 days of 6° head-down tilt bed rest: Results from a randomised controlled trial. *Nutr Bull.* 2023; 48(2): 256–266. doi: 10.1111/nbu.12619.
- Bergouignan A., Stein T.P., Habold C., Coxam V., Gorman D.O., Blanc S. Towards human exploration of space: The THESEUS review series on nutrition and metabolism research priorities. *NPJ Microgravity.* 2016; 2: 1–8. doi: 10.1038/npjmgrav.2016.29.
- Briguglio M. Nutritional Orthopedics and Space Nutrition as Two Sides of the Same Coin: A Scoping Review. *Nutrients.* 2021; 13(2): 483. doi: 10.3390/nu13020483.
- Bychkov A., Reshetnikova P., Bychkova E., Podgorbunskikh E., Koptev V. The current state and future trends of space nutrition from a perspective of astronauts' physiology. *International Journal of Gastronomy and Food Science.* 2021; 24. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100324>.
- Caillot-Augusseau A, Vico L, Heer M, Voroviev D, Souberbielle JC, Zitterman A, Alexandre C, Lafage-Proust MH. Space flight is associated with rapid decreases of undercarboxylated osteocalcin and increases of markers of bone resorption without changes in their circadian variation: observations in two cosmonauts. *Clin Chem.* 2000; 46(8 Pt 1): 1136–1143
- Chaloulakou S, Poulia KA, Karayiannis D. Physiological Alterations in Relation to Space Flight: The Role of Nutrition. *Nutrients.* 2022; 14(22): 4896. doi: 10.3390/nu14224896.
- Cialdai F, Bolognini D, Vignali L, Iannotti N, Cacchione S, Magi A, Balsamo M, Vukich M, Neri G, Donati A, Monici M, Capaccioli S, Lulli M. Effect of space flight on the behavior of human retinal pigment epithelial ARPE-19 cells and evaluation of coenzyme Q10 treatment. *Cell Mol Life Sci.* 2021; 78(23): 7795–7812. doi: 10.1007/s00018-021-03989-2.
- Cooper M., Perchonok M. Douglas G.L. Initial assessment of the nutritional quality of the space food system over three years of ambient storage. *NPJ Microgravity.* 2017; 17: 3. <https://doi.org/10.1038/s41526-017-0022-z>.
- Dakkumadugula A, Pankaj L, Alqahtani AS, Ullah R, Ercisli S, Murugan R. Space nutrition and the biochemical changes caused in Astronauts Health due to space flight: A review. *Food Chem X.* 2023; 20: 100875. doi: 10.1016/j.fochx.2023.100875.
- Gao R., Chilibeck P. D. Nutritional interventions during bed rest and spaceflight: prevention of muscle mass and strength loss, bone resorption, glucose intolerance, and cardiovascular problems. *Nutrition Research.* 2020; 82: 11–24 <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.07.001>.

Gómez X, Sanon S, Zambrano K, Asquel S, Bassantes M, Morales JE, Otáñez G, Pomaquero C, Villarroel S, Zurita A, Calvache C, Celi K, Contreras T, Corrales D, Naciph MB, Peña J, Caicedo A. Key points for the development of antioxidant cocktails to prevent cellular stress and damage caused by reactive oxygen species (ROS) during manned space missions. *NPJ Microgravity*. 2021; 7(1): 35. doi: 10.1038/s41526-021-00162-8.

Knapen M.H., Braam L.A., Teunissen K.J., Van't Hoofd C.M., Zwijsen R.M., van den Heuvel E.G., et al. Steady-state vitamin K2 (menaquinone-7) plasma concentrations after intake of dairy products and soft gel capsules. *Eur J Clin Nutr*. 2016; 70(7): 831–836. DOI: 10.1038/ejcn.2016.3.

Macias B.R., Patel N.B., Gibson C.R., Samuels B.C., Laurie S.S., Otto C., Ferguson C.R., Lee S.M.C., Ploutz-Snyder R., Kramer L.A., Mader T.H., Brunstetter T., Stenger M.B. Association of Long-Duration Spaceflight with Anterior and Posterior Ocular Structure Changes in Astronauts and Their Recovery. *JAMA Ophthalmol*. 2020; 138(5): 553–559. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2020.0673.

Mehare A., Chakole S., Wandile B. Navigating the Unknown: A Comprehensive Review of Spaceflight-Associated Neuro-Ocular Syndrome. *Cureus*. 2024; 16(2): e53380. doi: 10.7759/cureus.53380.

Mortazavi S.M.J., Sharif-Zadeh S, Mozdarani H., Foadi M., Haghani M., Sabet E. Future role of vitamin C in radiation mitigation and its possible applications in manned deep space missions: Survival study and the measurement of cell viability. *Physica Medica: European Journal of Medical Physics*. 2014; 3: e97. doi: 10.1016/j.ejmp.2014.07.278.

Ritieni A., Kyriacou M.C., Rouphael Y., De Pascale S. Iodine-biofortified microgreens as high nutraceutical value component of space mission crew diets and candidate for extraterrestrial cultivation. *Plants (Basel)*. 2023; 12(14): 2628. doi: 10.3390/plants12142628.

Seidler R.D., Stern C., Basner M., Stahn A.C., Wuyts F.L., Zu Eulenburg P. Future research directions to identify risks and mitigation strategies for neurostructural, ocular, and behavioral changes induced by human spaceflight: A NASA-ESA expert group consensus report. *Front Neural Circuits*. 2022; 16: 876789. doi: 10.3389/fncir.2022.876789.

Shea M.K., Berkner K.L., Ferland G., Fu X., Holden R.M., Booth S.L. Perspective: Evidence before Enthusiasm – A Critical Review of the Potential Cardiovascular Benefits of Vitamin K. *Adv Nutr*. 2021; 12(3): 632–646. doi: 10.1093/advances/nmab004.

Silver L., Mortazavi S.M.J. Biological Protection in Deep Space Missions. *J Biomed Phys Eng*. 2021; 11(6): 663–674. doi: 10.31661/jbpe.v0i0.1193.

Smith S.M., Heer M.A., Shackelford L.C., Sibonga J.D., Ploutz-Snyder L., Zwart S.R. Benefits for bone from resistance exercise and nutrition in long-duration spaceflight: Evidence from biochemistry and densitometry. *J Bone Miner Res*. 2012; 27(9): 1896–906. doi: 10.1002/jbmr.1647.

Smith S.M., Zwart S.R., Block G., Rice B.L., Davis-Street J.E. The nutritional status of astronauts is altered after long-term space flight aboard the International Space Station. *J Nutr*. 2005; 135(3): 437–443. doi: 10.1093/jn/135.3.437.

Smith SM, Zwart SR. Spaceflight-related ocular changes: the potential role of genetics, and the potential of B vitamins as a countermeasure. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2018; 21: 481–488. doi: 10.1097/MCO.0000000000000510.

Sonar C.R., Parhi A., Liu F., Patel J., Rasco B., Tang J., Sablani S.S. Investigating thermal and storage stability of vitamins in pasteurized mashed potatoes packed in barrier packaging films. *Food Packaging and Shelf Life*. 2020; 24: 100486.

Tang H., Rising H.H., Majji M., Brown R.D. Long-Term Space Nutrition: A Scoping Review. *Nutrients*. 2021; 14(1): 194. doi: 10.3390/nu14010194.

Tocci D., Ducai T., Stoute C.A.B., Hopkins G., Sabbir M.G., Beheshti A., Albensi B.C. Monitoring inflammatory, immune system mediators, and mitochondrial changes related to brain metabolism during space flight. *Front Immunol*. 2024; 15: 1422864. doi: 10.3389/fimmu.2024.1422864.

Wang H., Ma Y. The potential of vitamin K as a regulatory factor of bone metabolism. A review. *Nutrients*. 2023; 15(23): 4935. doi: 10.3390/nu15234935.

Zheng M., Charvat J., Zwart S.R., Mehta S.K., Crucian B.E., Smith S.M., He J., Piermarocchi C. and Mias G.I. Time-resolved molecular measurements reveal changes in astronauts during spaceflight. *Front. Physiol*. 2023; 14: 1219221. doi: 10.3389/fphys.2023.1219221.

Zwart S.R., Rice B.L., Dlouhy H., Shackelford L.C., Heer M., Koslovsky M.D., Smith S.M. Dietary acid load and bone turnover during long-duration spaceflight and bed rest. *Am J Clin Nutr*. 2018; 107(5): 834–844. DOI: 10.1093/ajcn/nqy029.

## MICRONUTRIENTS IN THE NUTRITION OF ASTRONAUTS

**D.V. Risnik<sup>1</sup>, V.M. Kodentsova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Moscow State University M.V. Lomonosov,  
Lenin Hills, d. 1, page 12, Moscow, 119234,

<sup>2</sup> Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety,  
Ustyinskiy proezd, d. 2/14, Moscow, 109240, Russian Federation

**ABSTRACT.** Space nutrition (products and dishes created specifically for astronauts) to ensure optimal physiological and psychological state must satisfy the daily needs of the astronaut's body not only in macronutrients (protein, fats, carbohydrates), but also in micronutrients.

**The objective** of the review is assessment of the consumption and sufficiency of astronauts with micronutrients during long-term space missions and justification of the need to increase the micronutrient value of space nutrition

**Results.** The calculation of the consumption of iron, zinc, calcium, potassium during the space missions is close to the recommended daily intake, while the consumption of minerals in some crew members may not reach the recommended norms. The actual diet of astronauts, balanced in terms of essential nutrients, does not always cover the astronaut's body's needs for micronutrients. An assessment of the sufficiency with vitamins and minerals by means of the blood or urine level shows that by the end of a long-duration spaceflight, the micronutrient status worsens. The blood concentration of vitamins D, K, folates, potassium, magnesium decreases, the level of biomarkers of collagen degradation increases, and the mineral density of bone tissue decreases. Taken together, the studies indicate that the vitamin composition of the astronauts' diet is inadequate, both in the pre-flight period and in space nutrition during the flight. Changes in the micronutrient status of astronauts that occurred during the flight persist for a long time or after returning to Earth even worsen.

**Conclusion.** During the preflight period, the micronutrient status of the crew members should be brought to the optimal level by taking vitamin-mineral supplement (VMS) containing all the vitamins in a dose corresponding to the physiological need for a long time (several months). The micronutrient density of traditional dishes and space food products should be increased by enriching them with vitamins. To compensate for the insufficient consumption of micronutrients with the diet during a long-term flight, daily intake of multicomponent VMS containing deficient micronutrients is necessary. It is necessary to develop technologies (for example, encapsulation) that ensure the preservation of vitamins when enriching dishes and food products for space nutrition.

**KEYWORDS:** vitamin, mineral, astronaut, micronutrient sufficiency, vitamin-mineral supplement.

**For citation:** Risnik D.V., Kodentsova V.M. Micronutrients in the nutrition of astronauts. Trace elements in medicine. 2025;26(1):3–16. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-3-16

## REFERENCES

- Kodentsova V.M., Risnik D.V., Moiseenok A.G. Algorithm for effective application of vitamin-mineral complexes. Journal of the Grodno State Medical University. 2024; 22(2): 177–184. <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2024-22-2-177-184> (In Russ.).
- Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A. Multivitamin-mineral complexes «dosa – effect» correlation. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2006; 75(1): 30–39 (In Russ.).
- Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Mazo V.K. Vitamins and oxidative stress. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2013; 82(3): 11–18 (In Russ.).
- Kodentsova V.M., Risnik D.V. Micronutrient metabolic networks and multiple micronutrient deficiency: a rationale for the advantages of vitamin-mineral supplements. Trace elements in medicine. 2020. 21(4): 3–20. DOI: 10.19112/2413-6174-2020-21-4-3-20 (In Russ.).
- Kodentsova V.M., Risnik D.V., Bessonov V.V. Iron compounds for food fortification: comparative analysis of efficiency. Trace elements in medicine. 2023; 24(1): 10–19. DOI: 10.19112/2413-6174-2023-24-1-10-19 (In Russ.).
- Kodentsova V.M., Risnik D.V., Sharafetdinov Kh.Kh. Bioavailability and effectiveness of vitamin-mineral supplements. Trace elements in medicine. 2024; 25(1):3– 15. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-1-3-15 (In Russ.).
- Spirichev V.B., Gromova O.A. Vitamin D and its synergists. Zemskij vrach. 2012; 2: 33–38 (In Russ.).
- Austermann K, Baecker N, Zwart SR, Fimmers R, Stehle P, Smith SM, Heer M. Effects of antioxidant supplementation on bone mineral density, bone mineral content and bone structure in healthy men during 60 days of 6° head-down tilt bed rest: Results from a randomised controlled trial. Nutr Bull. 2023; 48(2): 256–266. doi: 10.1111/nbu.12619.
- Bergouignan A., Stein T.P., Habold C., Coxam V., Gorman D.O., Blanc S. Towards human exploration of space: The THE-SEUS review series on nutrition and metabolism research priorities. NPJ Microgravity. 2016; 2: 1–8. doi: 10.1038/npjmgrav.2016.29.
- Briguglio M. Nutritional Orthopedics and Space Nutrition as Two Sides of the Same Coin: A Scoping Review. Nutrients. 2021; 13(2): 483. doi: 10.3390/nu13020483.
- Bychkov A., Reshetnikova P., Bychkova E., Podgorbunskikh E., Koptev V. The current state and future trends of space nutrition from a perspective of astronauts' physiology. International Journal of Gastronomy and Food Science. 2021; 24. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100324>.
- Caillot-Augusseau A, Vico L, Heer M, Voroviev D, Souberbielle JC, Zitterman A, Alexandre C, Lafage-Proust MH. Space flight is associated with rapid decreases of undercarboxylated osteocalcin and increases of markers of bone resorption without changes in their circadian variation: observations in two cosmonauts. Clin Chem. 2000; 46(8 Pt 1): 1136–1143
- Chaloulakou S, Poulia KA, Karayiannis D. Physiological Alterations in Relation to Space Flight: The Role of Nutrition. Nutrients. 2022; 14(22): 4896. doi: 10.3390/nu14224896.
- Cialdai F, Bolognini D, Vignali L, Iannotti N, Cacchione S, Magi A, Balsamo M, Vukich M, Neri G, Donati A, Monici M, Capaccioli S, Lulli M. Effect of space flight on the behavior of human retinal pigment epithelial ARPE-19 cells and evaluation of coenzyme Q10 treatment. Cell Mol Life Sci. 2021; 78(23): 7795–7812. doi: 10.1007/s00018-021-03989-2.

- Coope M., Perchonok M., Douglas G.L. Initial assessment of the nutritional quality of the space food system over three years of ambient storage. *NPJ Microgravity*. 2017; 17: 3. <https://doi.org/10.1038/s41526-017-0022-z>.
- Dakkumadugula A, Pankaj L, Alqahtani AS, Ullah R, Ercisli S, Murugan R. Space nutrition and the biochemical changes caused in Astronauts Health due to space flight: A review. *Food Chem X*. 2023; 20: 100875. doi: 10.1016/j.fochx.2023.100875.
- Gao R., Chilibeck P. D. Nutritional interventions during bed rest and spaceflight: prevention of muscle mass and strength loss, bone resorption, glucose intolerance, and cardiovascular problems. *Nutrition Research*. 2020; 82: 11–24. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.07.001>.
- Gómez X, Sanon S, Zambrano K, Asquel S, Bassantes M, Morales JE, Otáñez G, Pomaquero C, Villarroel S, Zurita A, Calvache C, Celi K, Contreras T, Corrales D, Naciph MB, Peña J, Caicedo A. Key points for the development of antioxidant cocktails to prevent cellular stress and damage caused by reactive oxygen species (ROS) during manned space missions. *NPJ Microgravity*. 2021; 7(1): 35. doi: 10.1038/s41526-021-00162-8.
- Knapen M.H., Braam L.A., Teunissen K.J., Van't Hoofd C.M., Zwijsen R.M., van den Heuvel E.G., et al. Steady-state vitamin K2 (menaquinone-7) plasma concentrations after intake of dairy products and soft gel capsules. *Eur J Clin Nutr*. 2016; 70(7): 831–836. DOI: 10.1038/ejcn.2016.3.
- Macias B.R., Patel N.B., Gibson C.R., Samuels B.C., Laurie S.S., Otto C., Ferguson C.R., Lee S.M.C., Ploutz-Snyder R., Kramer L.A., Mader T.H., Brunstetter T., Stenger M.B. Association of Long-Duration Spaceflight with Anterior and Posterior Ocular Structure Changes in Astronauts and Their Recovery. *JAMA Ophthalmol*. 2020; 138(5): 553–559. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2020.0673.
- Mehare A., Chakole S., Wandile B. Navigating the Unknown: A Comprehensive Review of Spaceflight-Associated Neuro-Ocular Syndrome. *Cureus*. 2024; 16(2): e53380. doi: 10.7759/cureus.53380.
- Mortazavi S.M.J., Sharif-Zadeh S, Mozdarani H., Foadi M., Haghani M., Sabet E. Future role of vitamin C in radiation mitigation and its possible applications in manned deep space missions: Survival study and the measurement of cell viability. *Physica Medica: European Journal of Medical Physics*. 2014; 3: e97. doi: 10.1016/j.ejmp.2014.07.278.
- Ritieni A., Kyriacou M.C., Rouphael Y., De Pascale S. Iodine-biofortified microgreens as high nutraceutical value component of space mission crew diets and candidate for extraterrestrial cultivation. *Plants (Basel)*. 2023; 12(14): 2628. doi: 10.3390/plants12142628.
- Seidler R.D., Stern C., Basner M., Stahn A.C, Wuyts F.L., Zu Eulenburg P. Future research directions to identify risks and mitigation strategies for neurostructural, ocular, and behavioral changes induced by human spaceflight: A NASA-ESA expert group consensus report. *Front Neural Circuits*. 2022; 16: 876789. doi: 10.3389/fncir.2022.876789.
- Shea M.K., Berkner K.L., Ferland G., Fu X., Holden R.M, Booth S.L. Perspective: Evidence before Enthusiasm – A Critical Review of the Potential Cardiovascular Benefits of Vitamin K. *Adv Nutr*. 2021; 12(3): 632–646. doi: 10.1093/advances/nmab004.
- Sihver L., Mortazavi S.M.J. Biological Protection in Deep Space Missions. *J Biomed Phys Eng*. 2021; 11(6): 663–674. doi: 10.31661/jbpe.v0i0.1193.
- Smith S.M., Heer M.A., Shackelford L.C., Sibonga J.D., Ploutz-Snyder L., Zwart S.R. Benefits for bone from resistance exercise and nutrition in long-duration spaceflight: Evidence from biochemistry and densitometry. *J Bone Miner Res*. 2012; 27(9): 1896–906. doi: 10.1002/jbmr.1647.
- Smith S.M., Zwart S.R., Block G., Rice B.L., Davis-Street J.E. The nutritional status of astronauts is altered after long-term space flight aboard the International Space Station. *J Nutr*. 2005; 135(3): 437–443. doi: 10.1093/jn/135.3.437.
- Smith SM, Zwart SR. Spaceflight-related ocular changes: the potential role of genetics, and the potential of B vitamins as a countermeasure. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2018; 21: 481–488. doi: 10.1097/MCO.0000000000000510.
- Sonar C.R., Parhi A., Liu F., Patel J., Rasco B., Tang J., Sablani S.S. Investigating thermal and storage stability of vitamins in pasteurized mashed potatoes packed in barrier packaging films. *Food Packaging and Shelf Life*. 2020; 24: 100486.
- Tang H., Rising H.H., Majji M., Brown R.D. Long-Term Space Nutrition: A Scoping Review. *Nutrients*. 2021; 14(1): 194. doi: 10.3390/nu14010194.
- Tocci D., Ducai T., Stoute C.A.B., Hopkins G., Sabbir M.G., Beheshti A., Albensi B.C. Monitoring inflammatory, immune system mediators, and mitochondrial changes related to brain metabolism during space flight. *Front Immunol*. 2024; 15: 1422864. doi: 10.3389/fimmu.2024.1422864.
- Wang H., Ma Y. The potential of vitamin K as a regulatory factor of bone metabolism. A review. *Nutrients*. 2023; 15(23): 4935. doi: 10.3390/nu15234935.
- Zheng M., Charvat J., Zwart S.R., Mehta S.K., Crucian B.E., Smith S.M., He J., Piermarocchi C. and Mias G.I. Time-resolved molecular measurements reveal changes in astronauts during spaceflight. *Front. Physiol*. 2023; 14: 1219221. doi: 10.3389/fphys.2023.1219221.
- Zwart S.R., Rice B.L., Dlouhy H., Shackelford L.C., Heer M., Koslovsky M.D., Smith S.M. Dietary acid load and bone turnover during long-duration spaceflight and bed rest. *Am J Clin Nutr*. 2018; 107(5): 834–844. DOI: 10.1093/ajcn/nqy029.



## ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

**ЭКОЛОГО-МЕДИЦИНСКИЕ ПРОБЛЕМЫ  
ДЕФИЦИТА И ИЗБЫТКА ЙОДА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)****А.Л. Горбачев**ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН,  
Российская Федерация, 163020, г. Архангельск, проспект Никольский, 20

**РЕЗЮМЕ.** Приведены данные литературы, освещающие эколого-медицинские проблемы дефицита и избытка йода. Показаны нормативы потребления йода, даны критерии йодного дефицита и приведены ассоциированные с ним заболевания. Рассмотрены проблемы избытка йода, которые является более частой причиной тиреоидной патологии, чем дефицит йода. Показаны возможные причины избыточного потребления йода и обозначены йодиндуцированные заболевания.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** йод, дефицит, избыток, патология щитовидной железы.

**Для цитирования:** Горбачев А.Л. Эколого-медицинские проблемы дефицита и избытка йода (обзор литературы). Микроэлементы в медицине. 2025;26(1):17–22. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-17-22.

*«Всё — яд, и всё — лекарство; то и другое определяет доза»  
Парацельс, 1538*

**ВВЕДЕНИЕ**

Из множества химических элементов наиболее дефицитными в биосфере являются железо, кальций, магний, йод, селен, цинк и медь. Случайно или закономерно, но дефицит в организме человека именно этих элементов является причиной наиболее значимых и распространенных заболеваний биогеохимической природы. Причем в основе подобных заболеваний лежат, как правило, полиэлементные нарушения, где один из элементов является ведущим фактором патологии. Хорошо известны такие эколого-обусловленные проблемы, как железодефицитная анемия (железо, магний, медь и другие элементы), йоддефицитные заболевания (йод, селен и др.), иммунодефицитные состояния (селен, цинк, йод), сердечно-сосудистые заболевания (калий, магний, селен, железо), заболевания опорно-двигательного аппарата (кальций, магний, стронций, кремний) и другие структурно-функциональные нарушения, связанные с дисбалансом биоэлементов.

Одной из распространенных нутрициологических проблем является дефицит железа – основная причина анемии примерно у 2 млрд человек (Алферова и др., 2019). В частности, среди жителей Севера высокая частота железодефицитных состо-

ятий является следствием повышенного метаболизма железа, связанного с нарастанием катаболических и анаболических процессов, обусловленных экстремальными условиями среды. В процессе хронического воздействия холода у человека снижается содержание гемоглобина и относительного объема эритроцитов. Это явление – «полярная анемия» или «холодовая болезнь» связывают с акклиматизационным дефицитом железа (Марачев, Жаворонков, 1987).

Несмотря на доказанность глобального масштаба железодефицита, научно-практическая медицина считает, что наиболее распространенной элементной патологией являются йоддефицитные заболевания. Действительно, йодный дефицит по-прежнему остается актуальной медико-социальной проблемой, которая не решена даже в странах, где отработаны и внедрены методы индивидуальной и коллективной профилактики йоддефицитных заболеваний (Zimmermann, Boelaert, 2015).

**ДЕФИЦИТ И ИЗБЫТОК ЙОДА  
И АССОЦИИРОВАННЫЕ  
С НИМ ЗАБОЛЕВАНИЯ**

**Дефицит йода.** Дефицит йода является естественным и всеобщим природным феноменом. Недостаток йода, как структурного элемен-

\* Адрес для переписки:

**Горбачев Анатолий Леонидович**

E-mail: gor000@mail.ru

та тиреоидных гормонов, приводит к функциональному напряжению щитовидной железы (ЩЖ), вызывая в организме человека комплекс патологических изменений, известных как йод-дефицитные заболевания. К ним относят эндемический и диффузный токсический зоб, тиреоидит, гипотиреоз, снижение иммунитета, репродуктивные нарушения (Алферова и др., 2019; Мельниченко и др., 2019).

Условием нормального обмена йода является его суточная доза, составляющая примерно 3 мкг на 1 кг массы тела, то есть не менее 150 мкг. Однако реальное потребление йода жителями России составляет 40–80 мкг в день (Дедов и др., 2006). При легком дефиците йода ЩЖ может адаптироваться и поддерживать выработку тиреоидных гормонов в пределах нормы. Однако долгосрочная адаптация к дефициту йода приводит к пролиферации фолликулярных клеток, автономному росту и дисфункции ЩЖ (Zhou et al., 2022).

Потребность в йоде зависит от возраста и физиологического состояния. Повышенные дозы йода необходимы в периоды роста, полового созревания, во время беременности и лактации. Наибольшую опасность недостаток йода представляет в период внутриутробного развития человека и в раннем детском возрасте. Изменения, вызванные дефицитом йода в эти периоды жизни, проявляются дефектами в физическом и интеллектуальном развитии детей. В условиях недостатка йода возникают врожденный гипотиреоз, умственная и физическая отсталость, аномалии развития нейронов, кретинизм (Мельниченко и др., 2019; Farebrother et al., 2019; Bailote et al., 2022).

Согласно данным биогеохимической лаборатории АН СССР (Ковальский, 1974), в России граница естественной распространенности йоддефицитного зоба проходит через реку Вычегду (Республика Коми, Архангельская обл.). Территории, расположенные к северу от реки Вычегды, считаются йодобеспеченными (Терпугова и др., 2004). Примером йоднасыщенной природной воды на севере России являются подземные воды Северодвинской впадины. Показано, что содержание йода в водоносном комплексе дельты Северной Двины составляет 5–30,5 мг/л (Малов, 2002), что позволило внедрить на этой территории технологию получения кристаллического йода.

Особое внимание проблеме йодного дефицита следует уделить жителям арктических территорий, биосфера которых характеризуется низкой доступностью многих эссенциальных

микроэлементов, включая и йод. Причем йодный дефицит характерен практически для всего российского севера, в том числе европейских, сибирских и азиатских территорий. Вследствие изменения структуры питания и снижения в рационе рыбы и морепродуктов, у коренного населения арктических регионов на всех этапах онтогенеза отмечается проявление йодного дефицита: отставание в физическом развитии, нарушение репродуктивной функции, иммунодефицитные состояния, раннее старение (Козлов и др., 2013).

**Избыток йода.** Как отмечено, нормальная функция ЩЖ осуществляется при суточном поступлении в организм 150–200 мкг йода. Но и более высокие дозы йода – до 1000 мкг (1 мг) в сутки также являются физиологическими и не приводят к развитию патологии у здорового человека. Однако дозы больше 1000 мкг считаются фармакологическими, и такие количества йода человек может получить, как правило, с лекарственными препаратами. Они на порядок отличаются от физиологических и составляют граммы йода. Доза элемента порядка 2–3 г, кроме блокирования функции ЩЖ, может вызвать поражение почек и сердечно-сосудистой системы. При этом следует отметить, что большинство взрослых людей с нормальной функцией ЩЖ, живущих в районах с достаточным количеством йода, могут без клинических проявлений переносить потребление йода до 2 г/день (Farebrother et al., 2019).

По литературным данным, поступление в организм высоких доз йода не является редким явлением. В мире насчитывается достаточно много стран с избыточным потреблением йода, где популяционная йодурия (контрольный уровень йода в моче) составляет более 300 мкг/л при интервале нормы 100–299 мкг/л. (Рекомендации..., 2018). В таких странах избыточное потребление жителями йода связано или с низким качеством йодирования соли (завышенное содержание йода), или с высокой долей в питании населения морепродуктов, особенно морских водорослей (Farebrother et al., 2019). В ряде стран (Япония, Южная Корея, США, Китай, Канада), население которых традиционно употребляет морепродукты, средняя диетическая норма йода значительно превышает норму и составляет от 500 мкг до 5 мг.

Кроме указанных факторов, причинами избытка в организме йода могут быть следующие.

1. Известно, что базовым методом коллективной профилактики йодного дефицита является

ся использование йодированной соли. При этом дополнительное употребление продуктов питания, обогащенных йодом (хлеб, молоко, масло, мука и др.) может привести к формированию в организме избытка йода, так как не везде налажен производственный контроль йодного обогащения продуктов с учетом регионального йодного статуса (Рекомендации..., 2018).

2. Аккумуляция йода у человека может быть связана с явной или скрытой рекламой, в которой навязывается необходимость потребления йода без учета истинной потребности. Высокие и небезопасные для здоровья концентрации йода могут быть достигнуты безрецептурным отпуском йодсодержащих препаратов (йодомарин, йод-актив и др.), домашними «лечебными» манипуляциями с использованием спиртовой настойки йода, раствора люголя. Например, 1 мл спиртовой настойки йода содержит 40 мг йода, достаточного на 200 дней поддержания функции ЩЖ. К провоцирующим факторам аккумуляции в организме йода следует отнести частое применение йодных полосканий, кожных аппликаций («йодные сетки»), обертывания морскими водорослями. Кроме этого, определенный вклад в формирование избытка йода вносит мода на японскую кухню (морепродукты, морские водоросли).

3. Сверхфизиологические дозы йода (более 1000 мкг в сутки) используют и в клинике, в частности, при проведении диагностических процедур с использованием рентгенконтрастных йодсодержащих веществ (компьютерная томография, коронароангиография). После окончания обследования в организме в течение нескольких недель сохраняется высокий уровень йода (Андрюков и др., 2016). Показано, что после проведения коронарографии у эутиреоидных пациентов отмечался йодизм и нарушение функции ЩЖ (Ozkan et al., 2013).

4. Избыток йода может быть вызван приемом некоторых фармакологических препаратов, в частности отхаркивающими средствами (йодид натрия и калия). Среди насыщенных йодом препаратов необходимо отметить амиодарон (амиокардин, кардиоарон), рекомендованный для лечения нарушений сердечного ритма. Так, одна таблетка (200 мг) амиодарона содержит 60–75 мг йода, что эквивалентно годовой физиологической потребности (!) в этом микроэлементе. Причем в зависимости от длительности приема амиодарон может спровоцировать как тиреотоксикоз, так и гипотиреоз (Bogazzi et al., 2012).

5. В некоторых местностях высокое потребление йода объясняется его концентрацией в питьевой воде. В зарубежной литературе последствия избыточного потребления йода, связанные с питьевой водой, наиболее детально изучены у населения провинции Хэбэй на востоке Китая, где йодурия находилась в диапазоне от 400 до 900 мкг/л, и на юго-западе Алжира, где йодурия составляла более 500 мкг/л (Henjum et al., 2010).

При анализе биогеохимических (йодных) провинций следует учитывать, что не все регионы России являются йоддефицитными. На территории России также существуют регионы с высоким содержанием в биосфере йода, что отмечается в некоторых природных водах. Высокая концентрация йода, например, в питьевой воде, обнаруживается в тех местностях, где нефте- и газоносные слои располагаются близко к водоносным слоям. Подземные воды этих районов, используемые для водоснабжения и орошения сельскохозяйственных культур, содержат высокие концентрации йода, позволяющие проводить его промышленную добычу.

**Йодиндуцированные заболевания.** Развитие заболеваний ЩЖ подчиняется U-образной кривой, которая демонстрирует отрицательный эффект как недостатка, так и избытка йода (Prete et al., 2015). Однако пороговое значение избытка или дефицита йода неоднозначно и не охватывает все части мира и все группы населения (Zhou et al., 2022). Причем избыток йода является более частой причиной гипотиреоза, чем его дефицит.

Отметим, что реакция ЩЖ на высокие дозы йода зависит от предыдущего йодного статуса, и риск тиреоидной патологии увеличивается в группах населения, ранее пострадавших от дефицита йода.

Передозировка йода приводит к развитию йодиндуцированных заболеваний, в частности к формированию диффузного зоба в результате гиперплазии ЩЖ. Йод-индуцированный зоб впервые был описан в Японии в 19 веке в прибрежных районах Хоккайдо, где население потребляло в среднем 20 мг йода в день, в основном из морских водорослей (Suzuki et al., 1965). В настоящее время ассоциированный с избытком йода зоб отмечен в Судане, Эфиопии, Алжире и Китае, что связано с высокой концентрацией йода в воде (Farebrother et al., 2019). Закономерным функциональным исходом избытка йода является гипотиреоз. Причем хроническое употребление больших доз йода приводит к трансформа-

ции субклинических форм гипотиреоза в его манифестные формы.

Чрезмерное потребление йода рассматривают как фактор риска развития аутоиммунных заболеваний ЩЖ (АИТ). Взаимосвязь между потреблением йода и аутоиммунитетом ЩЖ сложна и остается дискуссионной. Наличие антител к ЩЖ является важным сигналом аутоиммунитета ЩЖ и тесно связано с тяжестью инфильтрации щитовидными лимфоцитами (Zhou et al., 2022). Триггером для развития АИТ считается генетическая предрасположенность, которая реализуется на фоне негативных факторов окружающей среды, включая экологическое загрязнение, курение, стресс, облучение, инфекции, употребление йодсодержащих препаратов. При АИТ анти-тиреоидные антитела могут увеличить риск хронического воспаления ЩЖ с последующим формированием гипотиреоза (Андрюков и др., 2015). Заболеваемость АИТ неуклонно растет, составляя большую часть всех заболеваний ЩЖ (Yuqian et al., 2014; Рожко, 2019; Mincer, Jialal, 2023). Как правило, заболевают женщины молодого и среднего возрастов, что часто связано с использованием препаратов йода (тиреоидных гормонов) для коррекции массы тела (Строев, Чурилов, 2012; Рожко, 2019).

Избыток йода усиливает тиреоидную функцию, вызывая йодиндуцированный гипертиреоз (автономные рост и функционирование кластеров тироцитов), известный как эффект Джода–Базедова (Ozturk et al., 2021). Йодиндуцированный гипертиреоз чаще всего наблюдается после увеличения потребления йода населением, проживающим в йоддефицитных районах, и где существовал риск формирования узлового зоба. Это может способствовать автономному росту и функционированию кластеров тироцитов.

Эксперименты на животных и эпидемиологические исследования показали связь между потреблением йода и раком ЩЖ (Zhou et al., 2022). Это наиболее распространенное злокачественное заболевание эндокринной систем. Заболеваемость раком ЩЖ резко возросла, однако это может быть частично связано с прогрессом его

ранней диагностики. Онкопатологию объясняют избыточным поступлением в организм йода, оказывающим токсическое воздействие на ткань ЩЖ. Кроме этого, синтез тиреоидных гормонов связан не только с йодом, но и с высокой концентрацией перекиси водорода, которая является основным источником свободных радикалов или активных форм кислорода, вызывающих потенциальное повреждение клеток ЩЖ.

Развитие рака ЩЖ наблюдается как в регионах с избыточным поступлением йода, так и в регионах с его дефицитом (Prete et al., 2015). Однако увеличение коэффициента дифференцированного папиллярного рака к фолликулярному в регионах с избытком йода выше по сравнению с регионами с умеренной обеспеченностью и дефицитом йода (Dijkstra et al., 2007; Скальная, 2018).

Йодиндуцированная патология формируется не только у взрослых, но и у детей, которым для повышения умственных способностей практикуют давать «умный йод» (Строев, Чурилов, 2012). Следствием «ментальной терапии» может быть развитие у детей нетоксического зоба и аутоиммунных заболеваний уже в дошкольном возрасте (Kawashima et al., 2013).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптимальное поступление йода в организм является необходимым условием для поддержания нормальной функции ЩЖ. Следует отметить, что использование йода в терапии тиреоидной патологии является «обоюдоострым оружием», и проблема адекватности дозы йода подчиняется универсальному закону гомеопатии: «Все яд и все лекарство, дело в дозе». С целью профилактики и лечения йоддефицитных состояний необходимо использовать только физиологические дозы йода (100–200 мкг), которые содержатся в йодированной соли, а также в соответствующих лекарственных препаратах и минерально-витаминных комплексах.

Использование с этой целью биологически активных добавок (БАД) не рекомендуется в связи с отсутствием достоверной информации о содержании в них йода.

## ЛИТЕРАТУРА

- Алферова В.И., Мустафина С.В., Рымар О.Д. Йодная обеспеченность в России и мире: что мы имеем на 2019 год? Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2019; 15(2): 73–82. <https://doi.org/10.14341/ket10353>.
- Андрюков Б.Г., Гвозденко Т.А., Демьяненко Н.Б. Избыток йода в организме – экологический фактор риска развития аутоиммунных заболеваний щитовидной железы? Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2015; 2(60): 6–16.
- Дедов И.И., Мельниченко Г.А., Трошина Е.А. и др. Дефицит йода – угроза здоровью и развитию детей России. Пути решения проблемы: Национальный доклад. М. 2006; 36 с.
- Ковальский В.В. Геохимическая экология эндемического зоба. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. С.214–229.

- Козлов А.И., Козлова М.А., Вершубская Г.Г., Шилов А.Б. Здоровье коренного населения Севера РФ: на грани веков и культур: монография. Пермь: ОТ и ДО. 2013; 205 с.
- Малов А.И. Подземные воды Европейского Севера. География Европейского Севера. Проблемы природопользования, социально-экономические, экологические: Сб. научных трудов / Отв. ред. Н.М. Бызова. Архангельск: Поморский государственный университет им. М.В. Ломоносова. 2002: 59–69.
- Марачев А.Г., Жаворонков А.А. Акклиматизационный дефицит железа. Физиология человека. 1987; 13(4): 640–646.
- Мельниченко Г.А., Трошина Е.А., Платонова Н.М. и др. Йододефицитные заболевания щитовидной железы в Российской Федерации: современное состояние проблемы. Аналитический обзор публикаций и данных официальной государственной статистики (Росстат). *Consilium Medicum*. 2019; 21(4): 14–20; <https://doi.org/10.26442/20751753.2019.4.190337>.
- Рекомендации по мониторингу программ йодирования соли и оценке статуса йодной обеспеченности населения. Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2018; 14(2): 100–112. DOI: 10.14341/ket9734.
- Рожко В.А. Современное состояние проблемы аутоиммунного тиреоидита. Проблемы здоровья и экологии. 2019; 60(2): 4–13.
- Скальная М.Г. Йод: биологическая роль и значение для медицинской практик. Микроэлементы в медицине. 2018; 19(2): 3–11. DOI: 10.19112/2413-6174-2018-19-2-3-11.
- Строев Ю.И., Чурилов Л.П. Самый тяжелый элемент жизни (К 200-летию открытия йода). Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2012; 4(3): 313–342.
- Терпугова О.В., Селятицкая В.Г., Калмыкова А.И. и др. Региональные особенности йодообеспеченности пищевых цепей в очагах эндемического зоба на примере гг. Ярославля и Ухты. Роль пробиотиков в повышении биологической усвояемости йода в условиях техногенного пресса. Материалы 1-го съезда РОСМЭМ. Микроэлементы в медицине. 2004; 5(4): 142–144.
- Bailote H.B., Linhares D., Carvalho C. et al. Iodine Intake and Related Cognitive Function Impairments in Elementary School-children. *Biology* 2022; 11: 1507; <https://doi.org/10.3390/biology11101507>.
- Bogazzi F., Tomisti L., Bartalena L., Aghini-Lombardi F., Martino E. Amiodarone and the thyroid: a 2012 update. *J Endocrinol Invest*. 2012; 35(3): 340–348.
- Dijkstra B., Prichard R.S., Lee A., Kelly L.M., Smyth P.P., Crotty T., McDermott E.W., Hill A.D., O'Higgins N. Changing patterns of thyroid carcinoma. *Ir J Med Sci*. 2007; 176(2): 87–90.
- Farebrother J., Zimmermann M. B., Andersson M. Excess iodine intake: sources, assessment, and effects on thyroid function. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2019 Jun; 1446(1): 44–65. DOI: 10.1111/nyas.14041.
- Henjum S., Barikmo I., Gjerlaug A.K. et al. Endemic goitre and excessive iodine in urine and drinking water among Saharawi refugee children. *Public Health Nutr.* 2010; 13(9): 1472–1477. DOI: 10.1017/S1368980010000650.
- Kawashima A., Yamazaki K., Hara T. et al. Demonstration of innate immune responses in the thyroid gland: Potential to sense danger and a possible trigger for autoimmune reactions. *Thyroid*. 2013; 23: 477–487.
- Mincer D.L., Jialal I. Hashimoto Thyroiditis. [Updated 2023 Jul 29]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459262/>.
- Ozkan S., Oysu A.S., Kayatas K. et al. Thyroid functions after contrast agent administration for coronary angiography: A prospective observational study in euthyroid patients. *Anadolu Kardiol. Derg.*, 2013; 13: 363–369.
- Ozturk T., Sengul D., Sengul I. Jod-basedow phenomenon: phenominal thyrotoxicosis? *Sanamed*. 2021; 16(3): 221–226. DOI: 10.24125/sanamed.v16i3.531.
- Prete A., Paragliola R.M., Corsello S.M. Iodine Supplementation: Usage "with a Grain of Salt". *Int J Endocrinol*. 2015; 2015: 312305. DOI: 10.1155/2015/312305.
- Suzuki H., Higuchi T., Sawa K. et al. "Endemic coast goiter" in Hokkaido, Japan. *Acta Endocrinol*. 1965; 50: 161–176.
- Yuqian Luo, Akira Kawashima, Yuko Ishido, Aya Yoshihara, Kenzaburo Oda et al. Review Iodine Excess as an Environmental Risk Factor for Autoimmune Thyroid Disease. *Int. J. Mol. Sci.* 2014; 15: 12895–12912. DOI:10.3390/ijms150712895.
- Zhou Q., Xue S., Zhang L., Chen G. Trace elements and the thyroid. *Front. Endocrinol*. 2022; 13: 904889. DOI: 10.3389/fendo.2022.904889.
- Zimmermann M.B., Boelaert K. Iodine deficiency and thyroid disorders. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2015 Apr; 3(4): 286–295. DOI: 10.1016/S2213-8587(14)70225-6.

## ECOLOGICAL AND MEDICAL PROBLEMS OF IODINE DEFICIENCY AND EXCESS (LITERATURE REVIEW)

**A.L. Gorbachev**

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research  
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Nikolsky Avenue, 20, Arkhangelsk, 163020, Russian Federation

**ABSTRACT.** The article presents literature data covering the ecological and medical problems of iodine deficiency and excess. It shows iodine consumption standards, provides criteria for iodine deficiency, and lists associated diseases. It examines the problems of iodine excess, which is a more common cause of thyroid pathology than iodine deficiency. It shows possible causes of excessive iodine consumption and identifies iodine-induced diseases.

**KEYWORDS:** iodine, deficiency, excess, thyroid pathology.

**For citation:** Gorbachev A.L. Ecological and medical problems of iodine deficiency and excess (Literature review). *Trace elements in medicine*. 2025;26(1):17–22. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-17-22

## REFERENCES

- Alferova V.I., Mustafina S.V., Ry'mar O.D. Jodnaya obespechennost' v Rossii i mire: chto my` imeem na 2019 god? *Klinicheskaya i e'ksperimental'naya tireoidologiya*. 2019; 15 (2): S. 73-82. (In Russ.); <https://doi.org/10.14341/ket10353>.
- Andryukov B.G., Gvozdenko T.A., Dem'yanenko N.B. Izbytok joda v organizme – ekologicheskij faktor riska razvitiya autoimmunnyh zabolevanij shchitovidnoj zhelezy? *Zdorov'e. Medicinskaya ekologiya. Nauka*. 2015; 2(60): 6–16. (In Russ.).
- Dedov I.I., Mel'nichenko G.A., Troshina E.A. i dr. Deficit joda – ugroza zdorov'yu i razvitiyu detej Rossii. Puti resheniya problemy: Nacional'nyj doklad. M. 2006; 36 s. (In Russ.).
- Koval'skij V.V. Geohimicheskaya ekologiya endemicheskogo zoba. *Geohimicheskaya ekologiya*. M.: Nauka, 1974. S.214-229. (In Russ.).
- Kozlov A.I., Kozlova M.A., Vershubskaya G.G., Shilov A.B. Zdorov'e korennoho naseleniya Severa RF: na grani vekov i kul'tur: monografiya. Perm': OT i DO. 2013; 205 s. (In Russ.).
- Malov A.I. Podzemny'e vody Evropejskogo Severa. *Geografiya Evropejskogo Severa. Problemy` prirodopol'zovaniya, social'no-e'konomicheskie, e'kologicheskie: Sb. nauchny'x trudov / Otv. red. N.M. By'zova*. Arxangel'sk: Pomorskij gosudarstvennyj universitet im. M.V. Lomonosova. 2002: 59–69. (In Russ.).
- Marachev A.G., Zhavoronkov A.A. Akklimatizacionnyj deficit zheleza. *Fiziol.cheloveka*. 1987; 13(4): 640–646. (In Russ.).
- Mel'nichenko G.A., Troshina E.A., Platonova N.M. i dr. Jododeficitny'e zabolevaniya shchitovidnoj zhelezy` v Rossijskoj Federacii: sovremennoe sostoyanie problemy`. Analiticheskij obzor publikacij i danny'x oficial'noj gosudarstvennoj statistiki (Rosstat). *Consilium Medicum*. 2019; 21(4): 14–20. (In Russ.); <https://doi.org/10.26442/20751753.2019.4.190337>
- Rekomendacii po monitoringu programm jodirovaniya soli i ocenke statusa jodnoj obespechennosti naseleniya // *Klinicheskaya i e'ksperimental'naya tireoidologiya*. 2018; 14(2): 100–112. (In Russ.). DOI: 10.14341/ket9734.
- Rozhko V.A. Sovremennoe sostoyanie problemy` autoimmunnogo tireoidita. *Problemy` zdorov'ya i e'kologii*. 2019; 60(2): 4-13. (In Russ.).
- Skalnaya M.G. Jod: biologicheskaya rol' i znachenie dlya medicinskoj praktik. *Mikroe'lementy` v medicine*. 2018; 19(2): 3–11. DOI: 10.19112/2413-6174-2018-19-2-3-11(In Russ.).
- Stroev Yu.I., Churilov L.P. Samy`j tyazhelyj e'lement zhizni (K 200-letiyu otkry'tiya joda). *Mezhdisciplinarnyj nauchnyj i prikladnoj zhurnal «Biosfera»*. 2012; 4(3): 313–342. (In Russ.).
- Terpugova O.V., Selyaticzkaya V.G., Kalmy'kova A.I. i dr. Regional'ny'e osobennosti jodoobespechennosti pishhevny'x cepej v ochagax e'ndemicheskogo zoba na primere gg. Yaroslavl'ya i Uxty`. Rol' probiotikov v povy'shenii biologicheskoy usvoyaemosti joda v usloviyax texnogennoho pressa. *Materialy` 1-go s'e'zda ROSME`M. Mikroe'lementy` v medicine*. 2004; 5(4): 142–144. (In Russ.).
- Bailote H.B., Linhares D., Carvalho C. et al. Iodine Intake and Related Cognitive Function Impairments in Elementary School-children. *Biology* 2022; 11: 1507; <https://doi.org/10.3390/biology11101507>.
- Bogazzi F., Tomisti L., Bartalena L., Aghini-Lombardi F., Martino E. Amiodarone and the thyroid: a 2012 update. *J Endocrinol Invest*. 2012; 35(3): 340–348.
- Dijkstra B., Prichard R.S., Lee A., Kelly L.M., Smyth P.P., Crotty T., McDermott E.W., Hill A.D., O'Higgins N. Changing patterns of thyroid carcinoma. *Ir J Med Sci*. 2007; 176(2): 87–90.
- Farebrother J., Zimmermann M. B., Andersson M. Excess iodine intake: sources, assessment, and effects on thyroid function. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2019 Jun; 1446(1): 44–65. DOI: 10.1111/nyas.14041.
- Henjum S., Barikmo I., Gjerlaug A.K. et al. Endemic goitre and excessive iodine in urine and drinking water among Saharawi refugee children. *Public Health Nutr*. 2010; 13(9): 1472–1477. DOI: 10.1017/S1368980010000650.
- Kawashima A., Yamazaki K., Hara T. et al. Demonstration of innate immune responses in the thyroid gland: Potential to sense danger and a possible trigger for autoimmune reactions. *Thyroid*. 2013; 23: 477–487.
- Mincer D.L., Jialal I. Hashimoto Thyroiditis. [Updated 2023 Jul 29]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459262/>.
- Ozkan S., Oysu A.S., Kayatas K. et al. Thyroid functions after contrast agent administration for coronary angiography: A prospective observational study in euthyroid patients. *Anadolu Kardiol. Derg.*, 2013; 13: 363–369.
- Ozturk T., Sengul D., Sengul I. Jod-basedow phenomenon: phenomonal thyrotoxicosis? *Sanamed*. 2021; 16(3): 221–226. DOI: 10.24125/sanamed.v16i3.531.
- Prete A., Paragliola R.M., Corsello S.M. Iodine Supplementation: Usage "with a Grain of Salt". *Int J Endocrinol*. 2015; 2015: 312305. DOI: 10.1155/2015/312305.
- Suzuki H., Higuchi T., Sawa K. et al. "Endemic coast goiter" in Hokkaido, Japan. *Acta Endocrinol*. 1965; 50: 161–176.
- Yuqian Luo, Akira Kawashima, Yuko Ishido, Aya Yoshihara, Kenzaburo Oda et al. Review Iodine Excess as an Environmental Risk Factor for Autoimmune Thyroid Disease. *Int. J. Mol. Sci*. 2014; 15: 12895–12912. DOI:10.3390/ijms150712895.
- Zhou Q., Xue S., Zhang L., Chen G. Trace elements and the thyroid. *Front. Endocrinol*. 2022; 13: 904889. DOI: 10.3389/fendo.2022.904889.
- Zimmermann M.B., Boelaert K. Iodine deficiency and thyroid disorders. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2015 Apr; 3(4): 286–295. DOI: 10.1016/S2213-8587(14)70225-6.

Поступила 23 ноября 2024 года  
Принята к публикации 20 января 2025 года

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ ЖЕНЩИН ФЕРТИЛЬНОГО ВОЗРАСТА, ПРОЖИВАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЗОБНОЙ ЭНДЕМИИ****Е.М. Степанова**НИЦ «Арктика» ДВО РАН,  
Российская Федерация, 685000, г. Магадан, пр-кт Карла Маркса, д. 24

**РЕЗЮМЕ.** Женщины фертильного (детородного) возраста, как и дети младших возрастов, – основной демографический потенциал страны и в то же время наиболее уязвимые группы населения. Актуальность изучения элементного статуса женщин фертильного возраста обусловлена важностью проблемы формирования здорового поколения страны.

**Цель исследования** – изучение содержания химических элементов в волосах у женщин фертильного возраста, проживающих в г. Магадане, в сравнении с аналогичными показателями Тюменской области и референтными значениями.

**Материалы и методы.** Методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой определены концентрации 25 химических элементов (Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, Zn) у 25 условно здоровых женщин, находящихся в возрасте наивысшей репродуктивной активности 20–34 лет (средний возраст  $27,28 \pm 0,23$  года).

**Результаты.** Выявлен выраженный дефицит тиреоспецифических элементов: меди (72%), кальция (40%), магния и цинка (по 24%), кобальта и марганца (по 20%), йода и селена (по 12%). Избыток химических элементов выражен слабо, что говорит об относительном экологическом благополучии региона и подтверждает тезис о формировании у жителей «северного дефицита» химических элементов в организме. Такие химические элементы, как мышьяк, кадмий, ртуть, свинец, калий, литий, никель и свинец не имели отклонений от границ нормы.

**Выводы.** Для предупреждения формирования патологических состояний щитовидной железы с сопутствующим нарушением репродуктивной функции у молодых женщин, проживающих в северных регионах России, рекомендуется превентивно проходить обследование на содержание в организме эссенциальных макро- и микроэлементов. В случае выявленного дисбаланса необходимо адресно корректировать элементный статус с помощью добавок макро- и микроэлементов и обогащенных ими пищевых продуктов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** макро- и микроэлементы, дисбаланс, зобная эндемия, женщины, север.

**Для цитирования:** Степанова Е.М. Сравнительный анализ содержания химических элементов в волосах женщин фертильного возраста, проживающих в условиях зобной эндемии. Микроэлементы в медицине. 2025;26(1):23–30. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-23-30.

**ВВЕДЕНИЕ**

Женщины фертильного (детородного) возраста, как и дети младших возрастов, – основной демографический потенциал страны и в то же время наиболее уязвимые группы населения (Авцын, 1990; Сенькевич и др., 2007). Мероприятия по сохранению здоровья женского населения в северных регионах, которые в силу своей природно-климатической специфики классифицируются как средне- и малоблагоприятные для жизнедеятельности человека, требуют особого внимания (Вершубская и др., 2009).

Актуальной проблемой на территории Магаданской области является зобная эндемия (Горбачев и др., 2004; Максимов и др., 2005), которая рассматривается как проявление региональных биогеохимических дезадаптаций, где основная роль в развитии гиперплазии отводится воздействию экологических струмогенов и дисбалансу макро- и микроэлементов (Терещенко и др., 2004; Фархутдинова и др., 2006; Серикбаева и др., 2019).

Избыток или дефицит некоторых эссенциальных микроэлементов: селена, кобальта, меди,

\* Адрес для переписки:  
**Степанова Евгения Михайловна**  
E-mail: at-evgenia@mail.ru

марганца, железа, цинка, препятствует усвоению йода, что приводит к нарушению синтеза и обмена тиреоидных гормонов (Santos et al., 2018; Серикбаева и др., 2019; Rayman et al., 2019; Ihnatowicz et al., 2020; Шарипова и др., 2022; Köhrle et al., 2023; Wróblewski et al., 2023). В свою очередь, дефицит тиреоидных гормонов приводит к выраженным изменениям синтеза, транспорта и периферических эффектов половых гормонов. При длительном дефиците гормонов щитовидной железы повышается уровень пролактина, что впоследствии приводит к бесплодию, обусловленному хронической ановуляцией, нарушаются процессы метаболизма эстрогенов, в частности переход эстрадиола в эстрон. Все это может вызывать изменения менструального цикла, бесплодие, прерывание беременности (Семенова, 2004). В этой связи актуальность изучения элементного статуса женщин фертильного возраста обусловлена важностью проблемы формирования здорового поколения страны (Онищенко, 2016; Корчина и др., 2021).

Цель работы – определение и анализ содержания макро- и микроэлементов в волосах у женщин фертильного возраста, проживающих в северных зобноэндемичных регионах.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Группа обследуемых лиц была сформирована по принципу «максимального соматического здоровья», и включала в себя 25 женщин фертильного возраста, проживающих в г. Магадане, согласно современной классификации возрастных категорий (Рахматова и др., 2018), находящихся в возрасте наивысшей репродуктивной активности 20–34 лет (средний возраст  $27,28 \pm 0,23$  года).

Критериями исключения из исследования являлись: эндокринные и гинекологические заболевания, обострение хронических заболеваний, прием гормональных контрацептивов, лекарственных средств, влияющих на функцию щитовидной железы, моно- или комплексных биологически активных добавок к пище с содержанием макро- и/или микроэлементов.

Протокол обследования одобрен комиссией по биоэтике ФГБУН «Институт биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН» (этический протокол № 001/020). Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации (2013), Федеральным законом от 21.11.2011 г. № 323–ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федера-

ции», Федеральным законом от 27.07.2006 г. № 152–ФЗ «О персональных данных». У всех обследуемых получено письменное информированное добровольное согласие на участие в исследовании.

Взятие волос осуществляли на базе Научно-исследовательского центра «Арктика» Дальневосточного отделения РАН. Волосы состригали с затылочной части головы на всю длину в количестве не менее 0,1 г. В образцах волос оценивали содержание 25 макро- и микроэлементов: алюминия (Al), мышьяка (As), бериллия (Be), кальция (Ca), кадмия (Cd), кобальта (Co), хрома (Cr), меди (Cu), железа (Fe), ртути (Hg), йода (I), калия (K), лития (Li), магния (Mg), марганца (Mn), молибдена (Mo), натрия (Na), никеля (Ni), фосфора (P), свинца (Pb), селена (Se), кремния (Si), олова (Sn), ванадия (V), цинка (Zn). Аналитическое исследование проводили методами атомной эмиссионной спектроскопии (АЭС-ИСП) и масс-спектрометрии (МС-ИСП) с индуктивно связанной аргонной плазмой, согласно МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03, на приборах «Optima 2000 DV» и «NexION 300D» (Perkin Elmer, США) в ООО «Микронутриенты» (Москва).

Статистическую обработку полученных данных выполняли с использованием IBMSPSS Statistics 21.0 (США). Параметры описательной статистики для количественных показателей приведены в виде средней арифметической вариационной величины ряда ( $M$ ) и ошибки средней ( $m$ ), медианы ( $Me$ ); в качестве мер рассеивания величин применяли 25-й и 75-й процентиля; критический уровень значимости ( $p$ ) при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05.

При оценке полученных величин содержания макро- и микроэлементов в волосах использовали диапазоны, предлагаемые А.В. Скальным и соавт., как соответствующие средним значениям концентрации химических элементов в популяции (референтным значениям) в качестве верхней и нижней границ физиологической нормы (Скальный, 2003; Skalny et al., 2015), и региональные показатели содержания макро- и микроэлементов в организме жителей г. Магадана (Луговая и др., 2019). Полученные данные о содержании в волосах Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Se, Zn сравнивали с сопоставимыми значениями концентраций элементов в волосах у женщин фертильного возраста, проживающих на севере Тюменской области (Корчина и др., 2021).



### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Статистические показатели содержания химических элементов в волосах женщин фертильного возраста, проживающих в г. Магадане, представлены в таблице.

Анализ полученных значений концентраций позволил выявить в организме молодых женщин элементный дисбаланс «северного» типа с выраженным дефицитом основных эссенциальных элементов – Ca, Co, Mg, Se. Медиана концентрации в волосах Ca, Mg, Na оказалась ниже среднероссийских референтных значений concentra-

ций химических элементов в волосах (Скальный, 2003; Skalny et al., 2015), но соответствовала региональным показателям в организме женщин сопоставимого возраста, проживающих в г. Магадане (Луговая и др., 2019).

Содержание эссенциальных микроэлементов Co, Cr, V отличалось от среднероссийских и региональных показателей в сторону более низких медианных величин концентраций, Se – ниже 25-го перцентиля среднероссийского нормативного диапазона концентраций и на верхней границе 75-го перцентиля регионального диапазона.

**Таблица. Содержание химических элементов в волосах женщин фертильного возраста, проживающих в г. Магадане в сравнении с аналогичными показателями у женщин Тюменской области (Корчина и др., 2021), мкг/г**

Элемент	Референтные значения (p25; p75)		Наши данные			Данные Корчиной с соавт., 2021			
	Скальный	Региональный диапазон	M±m	Me	p25; p75	ЯНО		ХМАО	
						Me	p25; p75	Me	p25; p75
<i>Макроэлементы</i>									
Ca	494; 1619	257,36; 761,49	621,68±168,47	272,0	174; 594	689	268; 1156	862	354; 1312
K	29; 159	17,09; 76,84	332,16±32,64	300	212; 413	Нет данных			
Mg	39; 137	21,34; 68,27	77,04±20,32	37	28; 65	127	59; 398	163	65; 431
Na	73; 331	40,65; 184,43	139,04±30,98	59	39; 168	Нет данных			
P	135; 181	137,35; 165,73	170,88±7,04	170	146; 192	Нет данных			
<i>Эссенциальные и условно эссенциальные микроэлементы</i>									
As	0,00; 0,56	0,04; 0,06	0,13±0,01	0,13	0,10; 0,16	Нет данных			
Be	0,00; 0,01	0,00; 0,00	0,0011±0,0002	0,0007	0,0005; 0,0012	Нет данных			
Co	0,04; 0,16	0,01; 0,02	0,011±0,003	0,005	0,004; 0,012	Нет данных			
Cu	9; 14	8,46; 11,55	9,10±0,56	9,20	7,80; 11,00	17,6	7,6; 28,5	19,6	8,2; 35,1
Cr	0,32; 0,96	0,23; 0,53	0,12±0,03	0,09	0,07; 0,11	Нет данных			
Fe	11; 24	14,21; 29,69	34,47±52,07	17	13; 26	23,5	18,7; 59,2	18,7	15,5; 48,7
I	Нет данных	0,30; 1,05	0,93±0,16	0,69	0,26; 1,26	Нет данных			
Li	0,00; 0,02	0,01; 0,02	0,024±0,003	0,020	0,014; 0,031	Нет данных			
Mn	0,32; 1,13	0,43; 1,66	0,81±0,16	0,42	0,31; 1,14	1,8	0,7; 3,8	1,7	0,6; 2,9
Mo	Нет данных	Нет данных	0,031±0,002	0,028	0,025; 0,038	Нет данных			
Ni	0,14; 0,53	0,11; 0,31	0,21±0,03	0,15	0,12; 0,25	Нет данных			
Se	0,69; 2,20	0,26; 0,48	0,45±0,04	0,45	0,32; 0,57	0,4	0,099; 0,7	0,42	0,14; 0,92
Si	11; 37	17,40; 46,15	18,76±0,50	18	18; 20	Нет данных			
V	Нет данных	0,02; 0,08	0,014±0,003	0,010	0,008; 0,013	Нет данных			
Zn	155; 206	154,52; 211,68	234,80±37,25	183	153; 225	194	147; 259	257	165; 382
<i>Токсичные элементы</i>									
Al	6; 18	4,37; 13,82	5,95±1,65	3,90	2,80; 5,40	Нет данных			
Cd	0,02; 0,12	0,00; 0,02	0,004±0,001	0,003	0,002; 0,005	Нет данных			
Hg	Нет данных	0,30; 0,67	0,32±0,05	0,21	0,15; 0,39	Нет данных			
Sn	Нет данных	0,04; 0,20	0,19±0,06	0,05	0,02; 0,11	Нет данных			
Pb	0,38; 1,40	0,09; 0,33	0,08±0,02	0,04	0,03; 0,09	Нет данных			

Медиана концентрации токсичных элементов Al, Cd, Pb была значительно ниже 25-го перцентиля среднероссийского процентильного коридора, что может свидетельствовать об экологическом благополучии региона.

Важнейшими химическими элементами в процессах функционирования щитовидной железы, биосинтезе и секреции йодсодержащих гормонов являются I, Se, Fe, Ca, Co, Cu, Zn, Mg, Mn (Contempre et al., 1992; Zimmermann, 2006; Zimmermann et al., 2015; Veltri et al., 2016; El-Fadeli et al., 2016; Теплова и др., 2017; Chaker et al., 2017; Santos et al., 2018; Rayman et al., 2019; Ihnatowicz et al., 2020; Шарипов и др., 2022; Qing Zhou et al., 2022).

У населения Севера отмечается выраженный дефицит минеральных веществ, в первую очередь Ca, дефицит которого достигает на отдельных северных территориях 100%. Данная ситуация обусловлена с одной стороны употреблением ультрапресной питьевой воды с низким содержанием доступного кальция, с другой стороны – нарушением процессов его обмена в организме из-за гипоинсоляционного дефицита витамина D (Ананьева и др., 1990; Тутельян, 1996; Горбачев, 2006; Горбачев и др., 2007; Корчина, 2008; Горбачев и др., 2012; Луговая и др., 2016; Громова и др., 2017; Holick, 2017; Fischer et al., 2018; Серикбаева и др., 2019; Корчина и др., 2021; Степанова и др., 2023). Дефицит Ca выявлен в волосах у 40% женщин, что в 3,4 раза больше частоты дефицита этого элемента у женщин Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), и в 6,5 раза больше частоты дефицита у женщин Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО). Концентрация Ca по величине среднего арифметического в волосах женщин г. Магадана оказалась ниже в 1,4 раза, по значению медианы – в 2,5 раза по сравнению с женщинами ЯНАО, в 1,6 и 3,2 раза соответственно по сравнению с женщинами ХМАО.

Дефицит Mg отмечен в волосах у 24% женщин, что в 2,6 раза больше частоты дефицита у женщин ЯНАО и в 5,2 раза – у женщин ХМАО. По величине среднего арифметического и медианы показатель по г. Магадану оказался ниже соответственно в 2 и 3,4 раза, чем в ЯНАО, в 2,3 и 4,4 раза, чем в ХМАО.

У 72% женщин выявлен дефицит Cu разной степени выраженности, что в 5 раза больше частоты выявленного дефицита этого элемента у женщин из ЯНАО и в 48 раз – чем в ХМАО. Зна-

чение среднего арифметического концентрации элемента в волосах у женщин г. Магадана меньше аналогичного значения в ЯНАО в 2,2 раза, в ХМАО – 2,6 раза, медианное значение – в 1,9 и 2,1 раза соответственно.

Дефицит Fe не выявлен. Статистические показатели содержания элемента в волосах жительниц г. Магадана отличались от показателей у женщин на Тюменском севере в большую сторону. Так, среднее значение по выборке из г. Магадана в 1,2 раза больше, чем у женщин ЯНАО и в 1,5 раза – по сравнению с женщинами из ХМАО, однако медианное значение, напротив, ниже в 1,4 и 1,1 раза соответственно.

У 20% женщин обнаружен дефицит Mn, в волосах женщин ЯНАО и ХМАО дефицита элемента выявлено не было. Среднее арифметическое концентрации элемента в волосах у женщин г. Магадана ниже аналогичного значения в ЯНАО в 2,3 раза, в ХМАО – 2,2 раза, значение медианы – в 4,3 и 4 раза соответственно.

В волосах у 12% женщин выявлен дефицит Se, что отличается от частоты выявленного дефицита на Тюменском севере: в 2,7 раза меньше, чем в ЯНАО и схож с частотой дефицита элемента у женщин в ХМАО. Значения среднего арифметического и медианы концентрации элемента соотносимы у женщин г. Магадана, ЯНАО и ХМАО.

Дефицит Zn обнаружен в волосах у 24% женщин, что больше аналогичного показателя в группе женщин из ЯНАО в 1,3 раза, из ХМАО – в 3,1 раза. Среднее арифметическое концентрации элемента в волосах у женщин г. Магадана выше аналогичного значения в ЯНАО в 1,1 раза, и ниже, чем в ХМАО – в 1,2 раза, значение медианы – ниже в 1,1 и 1,4 раза соответственно.

Дефицит Co и I выявлен у 20 и 12% женщин г. Магадана соответственно. При этом среднее арифметическое и медиана концентрации I соответствовали региональным показателям содержания макро- и микроэлементов в организме жителей г. Магадана, Co – ниже нижней границы среднероссийского и регионального референсного диапазона.

## **ВЫВОДЫ**

1. Элементный «портрет» обследованных женщин характеризуется дефицитом эссенциальных Ca, Co, Mg, Se, что отражает в целом региональную северную «норму». Данные элементы являются тиреоспецифическими, что определяет

их ключевую роль в формировании зубной эндемии на территории Магаданской области.

2. Сравнение полученных данных о содержании в волосах молодых женщин Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Se, Zn с аналогичными данными в северных регионах Тюменской области позволяют заключить, что частоты выявленного дефицита выше у женщин г. Магадана;

3. Для предупреждения формирования в среде молодых женщин, проживающих в северных регионах России, патологических состояний щитовидной железы с сопутствующим нарушением репродуктивной функции рекомендуется профилактически превентивно проходить обследование на содержание в организме эссенциаль-

ных макро- и микроэлементов, и в случае выявленных дефицитов адресно корректировать элементный статус с помощью добавок макро- и микроэлементов, и обогащенных ими пищевых продуктов.

### **Источник финансирования**

Исследование выполнено в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Арктика» ДВО РАН.

### **Funding**

The study was carried out within the framework of the state assignment of the Arctic Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- Авцын А.П. Недостаточность эссенциальных микроэлементов и ее проявление в патологии. Архив патологии. 1990; 52(3): 3–6.
- Ананьева Г.В., Остроушко А.Г., Поступаев В.В. Социально-экономическое развитие и здоровье малочисленных народов Севера. 1990; 9–11.
- Вершубская Г.Г., Козлов А.И., Козловская А.В., Шкарабурова Е.Д., Бойко Е.Р. Репродуктивное поведение женщин и размеры тела новорожденных Европейского Севера, Урала и Сибири. Экология человека. 2009; 4: 35–40.
- Горбачев А.Л. Элементный статус населения в связи с химическим составом питьевой воды. Микроэлементы в медицине. 2006; 7(2): 11–24.
- Горбачев А.Л., Добродеева Л.К., Теддер Ю.Р., Шацова Е.Н. Биогеохимическая характеристика северных регионов. Микроэлементный статус населения Архангельской области и прогноз развития эндемических заболеваний. Экология человека. 2007; 1: 4–11.
- Горбачев А.Л., Ефимова А.В., Луговая Е.А. Эндемический зоб у детей г. Магадана. Эпидемиология, экологические факторы. Магадан: Изд-во СМУ. 2004: 106.
- Горбачев А.Л., Луговая Е.А., Атласова Е.М. Химический состав питьевой воды г. Магадана и здоровье населения. Научный медицинский вестник Югры. 2012; 1-2: 201–203.
- Громова О.А., Торшин И.Ю. Витамин D – смена парадигмы. Под ред. акад. РАН Е.И. Гусева, проф. И.Н. Захаровой. ГЭОТАР-Медиа. 2017: 576.
- Корчина Т.Я. Корреляционные связи между концентрацией химических элементов в волосах аборигенов Тюменского севера и их содержанием в природных водах региона. Вестник восстановительной медицины. 2008; (5): 38–41.
- Корчина Т.Я., Корчин В.И., Лапенко В.В. Элементный статус женщин фертильного возраста, проживающих на севере Тюменской области. Микроэлементы в медицине. 2021; 22(5): 50–58. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-22-2-50-58.
- Луговая Е.А., Степанова Е.М. Особенности состава питьевой воды г. Магадана и здоровье населения. Гигиена и санитария. 2016; 95(3): 241–246.
- Луговая Е.А., Степанова Е.М. Региональные показатели содержания макро- и микроэлементов в организме жителей г. Магадана: научно-практические рекомендации. НИЦ «Арктика» ДВО РАН. Магадан: Типография «Экспресс-полиграфия»: ИП Чингилян, 2019: 27.
- Максимов А.Л., Горбачев А.Л., Ефимова А.В., Курьянов А.В. Инварианты морфометрической нормы щитовидной железы у взрослого населения Магаданского региона. Науч.-практ. рекомендации. Магадан: МНИЦ «Арктика» СВНЦ ДВО РАН. 2000: 51.
- Онищенко Г.Г. Государственная политика по укреплению здоровья российской нации. Экология человека 2016; 11: 59–64.
- Рахматова Д., Кароматов И.Д. Фитотерапия в профилактике и лечении предменструального синдрома. Биология и интегративная медицина. 2018; 11(28): 93–104.
- Семенова И.Н. Функциональное значение щитовидной железы. Успехи физиологических наук. 2004; 32(2): 41–56.

Сенькевич О.А., Сиротина З.В., Ковальский Ю.Г., Цыганова И.В., Бердников Н.В., Авдеев Д.В., Зазулина В.Е. Содержание эссенциальных микроэлементов в волосах здоровых новорожденных детей и их матерей. Дальневосточный медицинский журнал. 2007; 1: 69–72.

Серикбаева А.А., Турмухамбетова А.А., Досмагамбетова Р.С., Щербаква Л.В., Рымар О.Д. Комплексная оценка элементного статуса у женщин репродуктивного возраста с гипотиреозом, проживающих в зонах Приаралья Республики Казахстан. Медицинский Совет. 2019; 21: 260–266. DOI: 10.21518/2079-701X-2019-21-260-266

Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС. Микроэлементы в медицине. 2003; 4 (1): 55–56.

Степанова Е.М., Луговая Е.А. Содержание химических элементов в водопроводной воде и воде из родниковых питьевых источников разных районов Магаданской области. Химия в интересах устойчивого развития. 2023; 31: 118–125. DOI: 10.15372/KhUR2023446

Теплова Л.В., Еремеева А.В., Байкова О.А., Суворова Н.А. Ревматические проявления гипотиреоза. Современная ревматология. 2017; 11(2): 47–53. DOI: 10.14412/1996-7012-2017-2-47-53

Терещенко И.В., Голдырева Т.П., Бронников В.И. Микроэлементы и эндемический зоб. Клиническая медицина. 2004; 82(1): 62–69.

Тутельян В.А. Питание и здоровье на Севере: приоритетные направления. Медицина труда. 1996; (6): 16.

Фархутдинова Л.М., Никуличева В.И., Сперанский В.В. Клинико-патогенетическая роль микроэлементов в развитии тиреоидной патологии. Пермский медицинский журнал. 2006; 23(2): 6–13.

Шарипова М.М., Ивкина М.В., Архангельская А.Н., Гуревич К.Г. Роль микроэлементов в развитии эндокринной патологии. Экология человека. 2022; 29(11): 753–760. DOI: 10.17816/humeco72102.

Chaker L., Bianco A.C., Jonklaas J., Peeters R.P. Hypothyroidism. Lancet. 2017; 390(10101): 1550–1562. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30703-1.

Contempré B., Duale N.L., Dumont J.E., et al. Effect of selenium supplementation on thyroid hormone metabolism in an iodine and selenium deficient population. Clin Endocrinol (Oxf). 1992; 36(6): 579–583. DOI: 10.1111/j.1365-2265.1992.tb02268.x.

El-Fadeli S, Bouhouch S, Skalny AV, Barkouch Y, Pineau A, Cherkaoui M, et al. Effects of imbalance in trace element on thyroid gland from Moroccan children. Biol Trace Elem Res. 2016; 170(2): 288–293. DOI: 10.1007/s12011-015-0485-2.

Fischer V., Haffner-Luntzer M., Amling M. Calcium and vitamin D in bone fracture healing and post-traumatic bone turnover. Eur. Cell. Mater. 2018; 35: 365–385. DOI: 10.22203/eCM.v035a25.

Holick M.F. The vitamin D deficiency pandemic: approaches for diagnosis, treatment and prevention. Rev. Endocr. Metab. Disord. 2017; 18: 153–165. DOI: 10.1007/s11154-017-9424-1.

Innatowicz P., Drywień M., Wątor P., Wojsiat J. The importance of nutritional factors and dietary management of Hashimoto's thyroiditis. Ann Agric Environ Med. 2020; 27(2): 184–193. DOI: 10.26444/aaem/112331.

Köhrle J. Selenium, iodine and iron-essential trace elements for thyroid hormone synthesis and metabolism. Int J Mol Sci. 2023; 24(4): 3393. DOI: 10.3390/ijms24043393.

Rayman M.P. Multiple nutritional factors and thyroid disease, with particular reference to autoimmune thyroid disease. Proc Nutr Soc. 2019; 78(1): 34–44. DOI: 10.1017/S0029665118001192.

Santos L.R., Neves C., Melo M., Soares P. Selenium and selenoproteins in immune mediated thyroid disorders. Diagnostics (Basel). 2018; 8(4): 70. DOI: 10.3390/diagnostics8040070.

Skalny A.V., Tinkov A.A., Skalnaya M.G., Demidov V.A. Hair concentration of essential trace elements in adult non-exposed Russian population. Environmental monitoring and assessment. 2015; 187(11): 1–8.

Veltri F, Decaillet S, Kleynen P, Grabczan L, Belhomme J, Rozenberg S, et al. Prevalence of thyroid autoimmunity and dysfunction in women with iron deficiency during early pregnancy: is it altered? Eur J Endocrinol. 2016; 175(3): 191–199. DOI: 10.1530/EJE-16-0288.

Wróblewski M, Wróblewska J, Nuszkievicz J, et al. The role of selected trace elements in oxidoreductive homeostasis in patients with thyroid diseases. Int J Mol Sci. 2023; 24(5): 4840. DOI: 10.3390/ijms24054840.

Zhou Qing, Xue Shuai, Zhang Li, Chen Guang Trace elements and the thyroid. Frontiers in Endocrinology. 2022; 13. DOI: 10.3389/fendo.2022.904889.

Zimmermann M.B. The influence of iron status on iodine utilization and thyroid function. Annu Rev Nutr. 2006; 26: 367–389. DOI: 10.1146/annurev.nutr.26.061505.111236.

Zimmermann M.B., Boelaert K. Iodine deficiency and thyroid disorders. Lancet Diabetes Endocrinol. 2015; 3(4): 286–295. DOI: 10.1016/S2213-8587(14)70225-6.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE HAIR OF REPRODUCTIVE WOMEN LIVING IN CONDITIONS OF GOITER ENDEMICIA

**E.M. Stepanova**

SRC "Arktika" FEB RAS  
24 Karl Marks Street, Magadan, 685000, Russian Federation

**ABSTRACT.** Women of fertile (childbearing) age, as well as young children, are the main demographic potential of the country and at the same time the most vulnerable groups of the population. The relevance of studying the elemental status of women of fertile age is due to the importance of the problem of forming a healthy generation of the country.

The study assessed the contents of the hair samples biochemistry in women of childbearing age living in the city of Magadan.

**Materials and Methods.** Twenty-five conditionally healthy women at the age of 20–34 as highest reproductive activity (mean age  $27.28 \pm 0.23$  years) participated in the survey. The inductively coupled plasma atomic emission spectrometry/mass spectrometry method was used to measure concentrations of the following twenty-five chemicals: Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, and Zn.

**Results.** A pronounced deficiency of thyroid-specific elements was revealed: copper (72%), calcium (40%), magnesium and zinc (24% each), cobalt and manganese (20% each), iodine and selenium (12% each). The excess of chemical elements was mild that demonstrated the environmental well-being of the region and confirmed the thesis about the formation of "northern deficiency" of elements in the body of residents. Such chemicals as arsenic, cadmium, mercury, lead, potassium, lithium, nickel and lead had no deviations from the norm.

**Conclusion.** To prevent the development of pathological conditions of the thyroid gland accompanied by impaired reproductive function in young women living in the northern regions of Russia, it is recommended to proactively undergo screening for the content of essential macro- and microelements in the body. In case of an identified imbalance, it is necessary to specifically adjust the elemental status using macro- and microelement supplements, as well as food products enriched with them.

**KEYWORDS:** macro- and microelements, imbalance, goiter endemia, women, North.

**For citation:** Stepanova E.M. Comparative analysis of the content of chemical elements in the hair of reproductive women living in conditions of goiter endemia. Trace elements in medicine. 2025;26(1):23–30. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-23-30

### REFERENCES

- Avtsyn A.P. An insufficiency of essential trace elements and its manifestations in pathology. 1990; 52(3): 3–6. (In Russ.).
- Ananyeva G.V., Ostroushko A.G., Postupayev V.V. Social and economic development and health of the small peoples of the North. 1990; 9–11. (In Russ.).
- Vershubskaya G.G., Kozlov A.I., Kozlovskaya A.V., Shkaraburova E.D., Boyko E.R. Reproductive behavior of women and body size of newborns of the European North, the Urals and Siberia. Human ecology. 2009; 4: 35–40. (In Russ.).
- Gorbachev A.L. Elemental status of population in connection with chemistry of drinking water. Microelements in medicine. 2006; 7(2): 11–24. (In Russ.).
- Gorbachev A.L., Dobrodeeva L.K., Tedder Y.R., Shatsova E.N. Biogeochemical description of northern regions. Microelement status of Arkhangelsk Region population and prediction of endemic diseases development. Human ecology. 2007; 1: 4–11. (In Russ.).
- Gorbachev A.L., Efimova A.V., Lugovaya E.A. E'ndemicheskij zob u detej g. Magadana. E'pidemiologiya, e'kologicheskie faktory'. Magadan: Izd-vo SMU. 2004: 106. (In Russ.).
- Gorbachev A.L., Lugovaya E.A., Atlasova E.M. Drinking water chemical contents and the population health observed in Magadan town. Scientific medical bulletin of Yugra. 2012; 1-2: 201–203. (In Russ.).
- Gromova, O.A. Torshin I.Yu. Vitamin D - a paradigm shift. Eds. acad. RAS E.I. Gusev, prof. I.N. Zakharova. GEOTARMedia. 2017: 576. (In Russ.).
- Korchina T.Y. Correlations between the concentration of chemicals in the hair of indigenous people of the Tyumen North and their amounts in natural waters of the region. Bulletin of restoration medicine. 2008; 5: 38–41. (in Russ.).
- Lugovaya E.A., Stepanova E.M. Features of the content of drinking water in the city of Magadan and population health. Hygiene and sanitation. 2016; 95(3): 241–246. (in Russ.).
- Lugovaya E.A., Stepanova E.M. Regional variables of the content of macro- and trace minerals in the body of residents of Magadan: Scientific and practical recommendations / SRC "Arktika" FEB RAS. Magadan: Printing house "Express-polygraph": IE Chingilyan, 2019. 27 p. (In Russ.).
- Maksimov A.L., Gorbachev A.L., Efimova A.V., Kur'yanov A.V. Invarianty' morfometricheskoj normy' shhitovidnoj zhelezy' u vzroslogo naseleniya Magadanskogo regiona. Nauch.-prakt. rekomendacii. Magadan: MNICz «Arktika» SVNCz DVO RAN. 2000: 51. (In Russ.).
- Onishchenko G.G. State policy on promoting health of the Russian nation. Human Ecology. 2016; 11: 59–64. (In Russ.).

- Raxmatova D., Karomatov I.D. Phytotherapy in prevention and treatment of the premenstrual syndrome. *Biology and Integrative Medicine*. 2018; 11 (28): 93–104. (In Russ.).
- Semeneya I.N. Functional Significance of the Thyroid Gland. *Phys. Usp*. 2004; 32(2): 41–56. (In Russ.).
- Senkevich O.A., Sirotnina Z.V., Kovalski Yu.G., Cyganova I.V., Berdnikov N.V., Avdeev D.V., Zazulina V.Ye. Content of the essential micro-elements in hair of newborns and their mothers. *Far Eastern medical journal*. 2007; 1: 69–72. (In Russ.).
- Serikbayeva A.A., Turmukhambetova A.A., Dosmagambetova R.S., Shcherbakova L.V., Rymar O.D. The integrated assessment of elemental status in women of reproductive age with hypothyroidism from the Aral Sea zone of the Republic of Kazakhstan. *Medical Council*. 2019; 21:260–266. (In Russ.) DOI: 10.21518/2079-701X-2019-21-260-266.
- Skalny A.V. Reference values of the concentration of chemical elements in the hair obtained by the ISP-AES (ANO CBM). *Trace elements in medicine*. 2003; 4(1): 55–56 (in Russ.).
- Stepanova E.M., Lugovaya E.A. Chemical Elements in Drinkable Water from Central Supply and Spring Sources in Different Areas of the Magadan Region. *Chemistry for Sustainable Development*. 2023; 31: 118–125. (In Russ). DOI: 10.15372/KhUR2023446.
- Teplova L.V., Ereemeeva A.V., Baykova O.A., Suvorova N.A. Rheumatic manifestations of hypothyroidism. *Modern rheumatology journal*. 2017; 11(2): 47–53. (In Russ). DOI: 10.14412/1996-7012-2017-2-47-53.
- Tereshchenko I.V., Goldyreva T.P., Bronnikov V.I. Microelements and endemic goiter. *Clinical medicine*. 2004; 82(1): 62–69. (In Russ).
- Tutelyan V.A. Nutrition and health in the North: priority areas. *Occupational medicine*. 1996; (6): 16. (In Russ).
- Farkhutdinova L.M., Nikulicheva V.I., Speranskiy V.V. Clinicopathogenetic significance of microelements in development of thyroid gland pathology. *Perm medical journal*. 2006; 23(2): 6–13. (In Russ).
- Sharipova M.M., Ivkina M.V., Arkhangelskaya A.N., Gurevich K.G. Role of microelements in the development of endocrine pathology. *Human Ecology*. 2022; 29(11): 753–760. (In Russ). DOI: 10.17816/humeco72102.
- Chaker L., Bianco A.C., Jonklaas J., Peeters R.P. Hypothyroidism. *Lancet*. 2017; 390(10101): 1550–1562. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30703-1.
- Contempré B., Duale N.L., Dumont J.E., et al. Effect of selenium supplementation on thyroid hormone metabolism in an iodine and selenium deficient population. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 1992; 36(6): 579–583. DOI: 10.1111/j.1365-2265.1992.tb02268.x.
- El-Fadeli S., Bouhouch S., Skalny A.V., Barkouch Y., Pineau A., Cherkaoui M., et al. Effects of imbalance in trace element on thyroid gland from Moroccan children. *Biol Trace Elem Res*. 2016; 170(2): 288–293. DOI: 10.1007/s12011-015-0485-2.
- Fischer V., Haffner-Luntzer M., Amling M. Calcium and vitamin D in bone fracture healing and post-traumatic bone turnover. *Eur. Cell. Mater*. 2018; 35: 365–385. DOI: 10.22203/eCM.v035a25
- Holick M.F. The vitamin D deficiency pandemic: approaches for diagnosis, treatment and prevention. *Rev. Endocr. Metab. Disord*. 2017; 18: 153–165. DOI: 10.1007/s11154-017-9424-1.
- Ihnatowicz P., Drywień M., Wątor P., Wojsiat J. The importance of nutritional factors and dietary management of Hashimoto's thyroiditis. *Ann Agric Environ Med*. 2020; 27(2): 184–193. DOI: 10.26444/aaem/112331.
- Köhrle J. Selenium, iodine and iron-essential trace elements for thyroid hormone synthesis and metabolism. *Int J Mol Sci*. 2023; 24(4): 3393. DOI: 10.3390/ijms24043393.
- Rayman M.P. Multiple nutritional factors and thyroid disease, with particular reference to autoimmune thyroid disease. *Proc Nutr Soc*. 2019; 78(1): 34–44. DOI: 10.1017/S0029665118001192.
- Santos L.R., Neves C., Melo M., Soares P. Selenium and selenoproteins in immune mediated thyroid disorders. *Diagnostics (Basel)*. 2018; 8(4): 70. DOI: 10.3390/diagnostics8040070.
- Skalny A.V., Tinkov A.A., Skalnaya M.G., Demidov V.A. Hair concentration of essential trace elements in adult non-exposed Russian population. *Environmental monitoring and assessment*. 2015; 187(11): 1–8.
- Veltri F., Decaillet S., Kleynen P., Grabczan L., Belhomme J., Rozenberg S., et al. Prevalence of thyroid autoimmunity and dysfunction in women with iron deficiency during early pregnancy: is it altered? *Eur J Endocrinol*. 2016; 175(3): 191–199. DOI: 10.1530/EJE-16-0288.
- Wróblewski M., Wróblewska J., Nuszkiewicz J., et al. The role of selected trace elements in oxidoreductive homeostasis in patients with thyroid diseases. *Int J Mol Sci*. 2023; 24(5): 4840. DOI: 10.3390/ijms24054840.
- Zhou Qing, Xue Shuai, Zhang Li, Chen Guang Trace elements and the thyroid. *Frontiers in Endocrinology*. 2022; 13. DOI: 10.3389/fendo.2022.904889.
- Zimmermann M.B. The influence of iron status on iodine utilization and thyroid function. *Annu Rev Nutr*. 2006; 26: 367–389. DOI: 10.1146/annurev.nutr.26.061505.111236.
- Zimmermann M.B., Boelaert K. Iodine deficiency and thyroid disorders. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2015; 3(4): 286–295. DOI: 10.1016/S2213-8587(14)70225-6.

Поступила 14 октября 2024 года  
Принята к публикации 26 декабря 2024 года

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

**ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЙОДОМ И ОТДЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ТЕЛА ПОЖИЛЫХ ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)**

**Н.А. Бекетова<sup>1</sup>, О.В. Кошелева<sup>1</sup>, У.М. Лебедева<sup>2</sup>,  
Н.В. Жилинская<sup>1\*</sup>, Г.П. Михайлова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Российская Федерация, 109240, г. Москва, Устьинский проезд, дом 2/14

<sup>2</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Российская Федерация, 677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Белинского, д. 58

<sup>3</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Российская Федерация, 677980, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Петровского, д. 2

**РЕЗЮМЕ.** Цель исследования – оценка йодного статуса и выявление его возможной связи с показателями компонентного состава тела у пожилых лиц коренного этноса Якутии.

**Материалы и методы.** Оценка обеспеченности йодом (по его концентрации в суточной моче) и её связь с отдельными показателями компонентного состава тела устанавливали у 53 лиц (46 женщин и 7 мужчин) в возрасте от 61 года до 95 лет – коренных жителей Республики Саха (Якутия). Содержание йода в моче определяли методом инверсионной вольтамперометрии, компонентный состав тела – с помощью биоимпедансного анализа.

**Результаты.** Результаты исследования показали, что медиана концентрации йода в моче (39,0 мкг/л) находилась в диапазоне недостатка микроэлемента средней тяжести. У более 90% обследованных лиц имелся недостаток йода разной степени выраженности: средней степени – у 50,9%, легкой степени – у 41,1%; лишь 7,5% пожилых лиц были адекватно обеспечены йодом; тяжелый дефицит йода не выявлен. Концентрация йода в суточной моче положительно коррелировала ( $p < 0,05$ ) с массой тощей ткани, минерального компонента (МК) тела и МК костной ткани. У пожилых лиц, имеющих недостаток йода средней степени, масса тощей ткани, общая масса МК тела, содержание МК в костной ткани были статистически значимо ниже ( $p < 0,01$ ), чем у лиц адекватно обеспеченных йодом или имеющих недостаток йода легкой степени.

**Заключение.** Исследование обосновывает необходимость организации профилактических мероприятий для устранения дефицита йода у пожилого коренного населения Якутии.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** йод, концентрация йода в суточной моче, пожилые люди, коренные жители Республики Саха (Якутия), показатели компонентного состава тела.

**Для цитирования:** Бекетова Н.А., Кошелева О.В., Лебедева У.М., Жилинская Н.В., Михайлова Г.П. Обеспеченность йодом и отдельные показатели компонентного состава тела пожилых лиц, проживающих в Республике Саха (Якутия). Микроэлементы в медицине. 2025;26(1):31–36. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-31-36.

**ВВЕДЕНИЕ**

Рост относительной численности населения пожилого возраста – современная демографическая тенденция. В Якутии доля мужчин и женщин старше 60 лет за последние два десятилетия увеличилась примерно на 85% (Статистический ежегодник Республика Саха (Якутия), 2022). Оп-

тимизация питания пожилых людей, в частности витаминно-минерального статуса, рассматривается как одно из направлений поддержания здорового долголетия и профилактики преждевременного старения (Пузин и др., 2018). Питание в пожилом и старческом возрасте должно соответствовать повышенной потребности организма в

\* Адрес для переписки:

**Жилинская Наталия Викторовна**  
E-mail: tashenka13@inbox.ru

витаминах и минеральных веществах, усвоение которых снижается в силу возрастных изменений в работе органов и систем; причем последнее влияет также на состав тела (снижение тощей массы и минеральной плотности костной ткани). Микронутриенты, в том числе йод, участвуют в формировании адаптационного потенциала организма в условиях полярного стресса, связанного с резко континентальным климатом Якутии, – коротким летом и продолжительной зимой с экстремально низкими температурами. Недостаточное поступление йода, входящего в состав молекул гормонов щитовидной железы (тироксина и трийодтиронина) у взрослых приводит к эндемическому зобу с гипотиреозом и замедлению обмена веществ, артериальной гипотензии. Согласно результатам эпидемиологических исследований йодурии, Республика Саха (Якутия) относится к территориям, на которых обнаружен выраженный йодный дефицит (Дедов и др., 2000). По справочным данным, основными источниками йода в рационе являются морепродукты, особенно морские водоросли и рыбий жир. Содержание йода в пищевых продуктах массового потребления (молоко, яйца, мясо, зерновые, овощи и др.) зависит от уровня йода в почве и в воде, поэтому в йоддефицитных районах они не могут служить источником достаточного поступления этого микроэлемента в организм (Дедов и др., 2000). При изучении рациона и привычек питания выявлено, что основными продуктами питания у якутов являются животные жиры. Так, говядину, жеребятину и оленину с жиром они употребляли до 6-7 раз в неделю; из молочных продуктов предпочтение отдавали молоку и сметане; сливочное масло (с хлебобулочными продуктами, кашей, картофелем), сыр, майонез, яйца, овощи они употребляют редко (Попова и др., 2015). В питании коренного населения, проживающего в Арктической зоне Якутии, отмечался дефицит эссенциальных микроэлементов (йод, фтор, хром) (Олесова и др., 2019). Репрезентативное обследование фактического питания населения Якутии выявило более глубокий дефицит минеральных веществ у коренных жителей относительно такового у некоренных; причем выявляемый дефицит был более выражен у лиц старше 70 лет (Иванов и др., 2005).

**Ц е л ь р а б о т ы** – у пожилых лиц коренного этноса в Якутии оценить йодный статус, выявить его возможную связь с показателями

компонентного состава тела, а именно, с тощей нежировой массой, общей массой минерального компонента тела и массой минерального компонента в костной ткани.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В осенний период проведено одномоментное обследование йодного статуса коренных жителей (якутов) Республики Саха (Якутия): из них 46 женщин и 7 мужчин в возрасте от 61 года до 95 лет (медиана – 75 лет), поступивших в санаторно-курортное учреждение из различных регионов по путевке в целях профилактики основных заболеваний. Критерии исключения: возраст моложе 60 лет, наличие ВИЧ-инфекции, вирусного гепатита В или С, заболеваний органов желудочно-кишечного тракта в стадии обострения. От всех участников исследования было получено письменное информированное согласие. Клиническое состояние пожилых людей характеризовалось полиморбидностью патологии: наиболее часто отмечались артериальная гипертензия и гипертоническая болезнь 1–3-й степени, заболевания опорно-двигательной системы – у 2/3 обследованных; сахарный диабет 2-го типа и заболевания органов желудочно-кишечного тракта (в стадии ремиссии) – у 15% пожилых.

Концентрацию йода в суточной моче (объединенной пробе мочи, собранной за 24 часа) определяли методом инверсионной вольтамперометрии (МУ 31-07/04).

Лиц с концентрацией йода в моче <100 мкг/л считали недостаточно обеспеченными; с содержанием микроэлемента в диапазонах 50–99 мкг/л, 20–49 мкг/л и <20 мкг/л – имеющими недостаток йода легкой, средней и тяжелой степени соответственно; с уровнем микроэлемента 100–199 мкг/л – адекватно обеспеченными (Абдулхарибова и др., 2021).

Компонентный состав тела оценивали методом биоимпедансометрии с помощью портативного тетраполярного биоимпедансного анализатора InBody S10 (Inbody Co. Ltd, Южная Корея).

Статистическую обработку данных проводили с помощью SPSS Statistics 20.0 (IBM, США). Полученные данные представляли в виде Me [Q1–Q3] (медиана [межквартильный размах]). Достоверность различий между процентными долями двух выборок оценивали по критерию Фишера. Статистическую значимость различий выборок рассчитывали с помощью непараметрического



U-критерия Манна–Уитни для независимых переменных. Различия между анализируемыми показателями считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Индекс массы тела (ИМТ) мужчин и женщин статистически значимо не различался; медиана показателя – 28,6 кг/м<sup>2</sup> находилась в диапазоне избыточной массы тела (25,0–29,9 кг/м<sup>2</sup>). У каждого пятого обследуемого выявлено ожирение II степени (35,0–39,9 кг/м<sup>2</sup>); у трех женщин ожирение соответствовало III степени ( $\geq 40$  кг/м<sup>2</sup>).

Указанные критерии Всемирной организации здравоохранения популяционной оценки обеспеченности йодом основаны на изучении его концентрации в разовой порции мочи, которая варьирует в течение дня, но в то же время коррелирует с уровнем йода в суточной моче и отражает поступление йода в организм непосредственно на момент исследования (Абдулхарибова и др., 2021). Кроме того, было обосновано, что измерение концентрации йода в объединенной пробе мочи, собранной за 24 часа, хотя и повышает трудоемкость сбора, транспортировки и хранения большего объема образцов, является более надежным и воспроизводимым методом оценки индивидуального йодного статуса (Perrine et al., 2014). В связи с этим для изучения обеспеченности йодом определяли концентрацию микроэлемента в суточной моче.

Результаты исследования показали, что глубокий дефицит йода (уровень в моче  $< 20$  мкг/дл), а также превышение концентрации йода верхней границы адекватной обеспеченности у пожилых лиц отсутствуют (табл. 1).

Результаты исследования показали, что глубокий дефицит йода (уровень в моче  $< 20$  мкг/дл), а также превышение концентрации йода верхней границы адекватной обеспеченности у пожилых лиц отсутствуют (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика обеспеченности йодом пожилых мужчин и женщин – коренных жителей Якутии

Группа (число обследованных, n)	Концентрация йода в суточной моче, мкг/л		Количество лиц, n/%		
			Степень выраженности недостатка йода		Адекватная обеспеченность
	Me	Q1–Q3	средняя	легкая	
Все обследуемые (53)	39,0	26,0–50,0	27/50,9	22/41,5	4/7,5
Мужчины (7)	34,0	26,0–39,0	6/85,7	1/14,3	0/0,0
Женщины (46)	39,0	27,5–51,8	21/45,7	21/45,7	4/8,7

Как видно из данных табл. 1, медиана содержания йода в моче у обследуемых мужчин и женщин находилась в диапазоне недостатка микроэлемента средней тяжести (20–49 мкг/дл). Оптимально обеспечены йодом были лишь 7,5% лиц. У каждого второго пожилого человека выявлялся недостаток йода средней степени, у каждого второго-третьего – легкой степени. Обеспеченность йодом пожилых мужчин и женщин не имела статистически значимых различий. Высокая частота выявления недостатка йода у пожилых лиц согласуется с результатами исследования йодурии у коренных этносов (около 200 человек), проживающих в континентальных районах двух северных регионов России (Магаданская и Архангельская области): дефицит йода выявлялся у 75–76% (Горбачев, 2015).

Несмотря на то, что городское население традиционно чаще потребляет привозные продукты, а рацион сельских жителей включает в основном

пищевую продукцию местного происхождения, которая содержит недостаточно этого микроэлемента, обеспеченность йодом пожилых людей, проживающих на различных территориях в Якутии (арктической, сельскохозяйственной и промышленной) достоверно не различалась. В зависимости от территории частота выявления недостатка йода средней степени колебалась в диапазонах 66–100%, легкой степени – в интервале 0–25%, а с адекватной обеспеченностью – в диапазоне 0–9%.

Для выявления возможной взаимосвязи йодурии и показателей состава тела пожилых лиц анализировали данные в группах обследуемых с концентрацией йода в суточной моче, соответствующей классам недостатка йода средней и тяжелой степени (экскреция  $< 50$  мкг/дл; 6 мужчин и 32 женщины), и с оптимальной обеспеченностью и с недостатком йода легкой степени (уровень йода в моче  $\geq 50$  мкг/дл; 1 мужчина и 14 женщин) (табл. 2).

Таблица 2. **Взаимосвязь обеспеченности йодом пожилых лиц и показателей состава тела пожилых коренных жителей Якутии**

Показатель	Диапазон концентрации йода в суточной моче				Значимость, <i>p</i>
	< 50 мкг/л		≥ 50 мкг/л		
	Me	Q1–Q3	Me	Q1–Q3	
Концентрация йода в моче, мкг/л	29,5	24,0–39,0	66,0	51,0–100,0	<0,001
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	28,1	24,0–31,0	29,0	27,0–32,0	>0,05
<i>Компонентный состав тела</i>					
Тощая нежировая масса, кг	32,0	30,2–35,1	38,5	35,8–43,3	0,003
Общая масса минерального компонента тела, кг	2,5	2,3–2,6	2,9	2,6–3,0	0,004
Масса минерального компонента в костной ткани, кг	2,1	1,9–2,2	2,3	2,2–2,5	0,003

Как видно из данных табл. 2, у пожилых лиц с уровнем микронутриента в суточной моче  $\geq 50$  мкг/дл медиана таких показателей состава тела, как тощая нежировая масса (ТНМ), общая масса минерального компонента тела (ОМКТ), масса минерального компонента в костной ткани (МКК) была статистически значимо выше соответственно на 20,3, 16,0 и 9,5%, чем у обследованных с более низким содержанием йода в моче ( $< 50$  мкг/дл); при этом индекс массы тела в указанных группах статистически значимо не различался. Коэффициенты корреляции ( $\rho$  – по Спирмена) между йодурией и ТНМ, ОМКТ и МКК составили 0,461 ( $p=0,003$ ), 0,387 ( $p=0,016$ ) и 0,351 ( $p=0,031$ ).

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют, что ухудшение обеспеченности йодом у лиц старше трудоспособного возраста ассоциируется со снижением тощей нежировой массы и массы минерального компонента (общей и в костях). Полученные данные согласуются с результатами исследования, проведенного среди 200 долгожителей 90–106 лет с ишемической болезнью сердца, которые показали, что отдельные индикаторы состава тела (в частности содержание тощей ткани) статистически значимо коррелировали с выраженностью старческой астении (Тополянская и др., 2021). Выявление механизмов положительной связи показателей йодурии и компонентного состава тела у лиц пожилого и старческого возраста является

самостоятельной научно-практической задачей геронтологии.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вне зависимости от гендерного признака и территории проживания обследованных пожилых лиц коренного этноса Якутии, недостаток йода средней степени выявлен у 50,9% лиц, легкой степени – у 41,1%. Несмотря на отсутствие глубокого дефицита йода, адекватно обеспечены йодом были лишь 7,5% взрослых пожилого и старческого возраста. У обследованных пожилых лиц с адекватной обеспеченностью йодом или с его недостатком легкой степени такие показатели состава тела, как тощая нежировая масса, общая масса минерального компонента тела, содержание минералов в костной ткани были статистически значимо выше ( $p<0,01$ ), чем у лиц с недостатком йода средней степени.

В целом полученные данные обосновывают необходимость разработки мер, направленных на профилактику йодного дефицита в популяции коренного пожилого населения Якутии, которые наряду с приемом фармакологических средств, содержащих физиологическую дозу йодида калия, должны включать введение в рацион обогащенных йодом пищевых продуктов массового потребления, включая йодированную соль.

Поисково-аналитическая работа по подготовке рукописи проведена в рамках государственного задания по теме № FGMF-2025-0013.

### Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

### Conflict of interest

The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

## ЛИТЕРАТУРА

- Абдулхабирова Ф.М., Безлепкина О.Б., Бровин Д.Н., Вагина Т.А., Мельниченко Г.А., Нагаева Е.В., Никанкина Л.В., Петеркова В.А., Платонова Н.М., Рыбакова А.А., Солдатова Т.В., Трошина Е.А., Ширяева Т.Ю. Клинические рекомендации «Заболевания и состояния, связанные с дефицитом йода». Проблемы эндокринологии. 2021; 67(3): 10–25.
- Горбачёв А.Л. Методологические подходы к исследованию йодного дефицита населения. Вестник Северо-Восточного государственного университета. 2015; 23: 48–50.
- Дедов И.И., Свириденко Н.Ю., Герасимов Г.А., Петеркова В.А., Мищенко Б.П., Арбузова М.И., Шишкина А.А., Безлепкина О.Б., Красноперов Р.А., Герасимов А.Н., Мельниченко Г.А., Велданова М.В. Оценка йодной недостаточности в отдельных регионах России. Проблемы Эндокринологии. 2000; 46(6): 3–7.
- Иванов К.И., Шадрин О.В., Алексеева Е.Ю., Кривошапкин В.Г., Батулин А.К. Особенности фактического питания населения Республики Саха (Якутия). Дальневосточный медицинский журнал. 2005; 2: 72–74.
- МУ 31-07/04 «МВИ содержания йода в пищевых продуктах, продовольственном сырье, кормах и продуктах их переработки, лекарственных препаратах, витаминах, БАДах, биологических объектах (моча) методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА». ФР.1.31.2004.01166.
- Олесова Л.Д., Семенова Е.И., Кривошапкина З.Н., Ефремова С.Д., Егорова А.Г., Софронова С.И., Яковлева А.И. Питание коренного населения, проживающего в Арктической зоне Якутии. Профилактическая медицина. 2019; 22(2): 76–81.
- Попова Е.К., Архипова Н.С. Характеристика питания и связь с липидным профилем крови у больных 60 лет и старше с артериальной гипертензией в зависимости от этнической принадлежности и стажа проживания на Севере. Вопросы питания. 2015; 84(S3): 157.
- Пузин С.Н., Погожева А.В., Потапов В.Н. Оптимизация питания пожилых людей как средство профилактики преждевременного старения. Вопросы питания. 2018; 87(4): 69–77.
- Статистический ежегодник Республика Саха (Якутия). Якутск: Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по республике Саха (Якутия), 2022. 542 с.
- Тополянская С.В., Елисева Т.А., Балясникова Н.А., Вакуленко О.Н., Привалова Е.А., Дворецкий Л.И. Состав тела и функциональные способности долгожителей с ишемической болезнью сердца. Клиническая геронтология. 2021. Т. 27, № 7-8. С. 5–12.
- Perrine C.G., Cogswell M.E., Swanson C.A., Sullivan K.M., Chen T.C., Carriquiry A.L., Dodd K.W., Caldwell K.L., Wang C.Y. Comparison of population iodine estimates from 24-hour urine and timed-spot urine samples. *Thyroid Off. J. Am. Thyroid Assoc.* 2014; 24(4): 748–757. DOI: 10.1089/thy.2013.0404.

## IODINE STATUS AND BODY COMPOSITION INDICATORS OF OLDER PERSONS LIVING IN REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

*N.A. Beketova<sup>1</sup>, O.V. Kosheleva<sup>1</sup>, U.M. Lebedeva<sup>2</sup>, N.V. Zhilinskaya<sup>1</sup>, G.P. Mikhailova<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety»; Ustinsky pr., 2/14, Moscow, 109240, Russian Federation

<sup>2</sup> M.K. Ammosov North-Eastern Federal University; str. Belinsky, 58, Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), 677000, Russian Federation

<sup>3</sup> Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; str. Petrovsky, 2, Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), 677980, Russian Federation

**ABSTRACT.** The aim of the study is to assess the iodine status and identify its possible connection with the indicators of body component composition in elderly individuals of the indigenous ethnic group of Yakutia.

**Materials and Methods.** The iodine status (based on the concentration in daily urine) and its relationship with indicators of body component composition were assessed in 53 persons (46 women and 7 men) aged 61 to 95 years - indigenous residents of the Republic of Sakha (Yakutia). The iodine content in urine was determined by stripping voltammetric analysis, and the body composition was determined by using bioimpedance analysis.

**Results.** The results of the study showed that the median urinary iodine concentration (39.0 µg/L) was in the range of moderate micronutrient deficiency. More than 90% of the examined persons had iodine deficiency of varying degrees of severity: moderate – 50.9%, mild – 41.1%; only 7.5% of elderly individuals were adequately supplied with iodine; severe iodine deficiency was not detected. The concentration of iodine in daily urine was positively correlated ( $p < 0.05$ ) with the mass of lean tissue, body mineral component (BMC) and MC in bone tissue. In elderly individuals with moderate iodine deficiency, mass of lean tissue, BMC, and MC content in bone tissue were statistically significantly lower ( $p < 0.01$ ) than in individuals with adequate iodine supply or with mild iodine deficiency.

**Conclusion.** The study substantiates the need to organize preventive measures to eliminate iodine deficiency in the elderly indigenous population of Yakutia.

**KEYWORDS:** iodine, iodine concentration in daily urine, elderly people, indigenous residents of the Republic of Sakha (Yakutia), body composition indicators.

**For citation:** Beketova N.A., Kosheleva O.V., Lebedeva U.M., Zhilinskaya N.V., Mikhailova G.P. Iodine status and body composition indicators of older persons living in Republic of Sakha (Yakutia). *Trace elements in medicine*. 2025;26(1):31–36. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-31-36

## REFERENCES

- Abdulkhabirova F.M., Bezlepkina O.B., Brovin D.N., Vadina T.A., Mel'nicenko G.A., Nagaeva E.V., Nikankina L.V., Peterkova V.A., Platonova N.M., Rybakova A.A., Soldatova T.V., Troshina E.A., Shiryayeva T.Yu. Clinical recommendations «Diseases and conditions associated with iodine deficiency». *Problemy Endokrinologii*. 2021; 67(3): 10–25. (In Russ.).
- Gorbachev A.L. Methodological approaches to the study of iodine deficiency in the population. *Vestnik Severo-Vostochnogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2015; 23: 48–50. (In Russ.).
- Dedov I.I., Sviridenko N.Yu., Gerasimov G.A., Peterkova V.A., Mitshenko B.P., Arbusova M.I., Shishkina A.A., Bezlepkina O.B., Krasnoperov R.A., Gerasimov A.N., Mel'nicenko G.A., Veldanova M.V. [Assessment of iodine deficiency in certain regions of Russia]. *Problemy Endokrinologii*. 2000; 46(6): 3–7. (In Russ.).
- Ivanov K.I., Shadrina O.V., Alekseeva E.Yu., Krivoschapkin V.G., Baturin A.K. Features of the actual nutrition of the population of the Republic of Sakha (Yakutia). *Dal'nevostochniy Meditsinskiy Zhurnal*. 2005; 2: 72–74. (In Russ.).
- MU 31-07/04 «MVI sodержaniya joda v pishhevyykh produktakh, prodovol'stvennom syr'e, kormakh i produktakh ikh pererabotki, lekarstvennykh preparatakh, vitaminakh, BADakh, biologicheskikh ob'ektakh (mocha) metodom inversionnoj vol'tamperometrii na analizatorakh tipa TA». [MU 31-07/04 “Methodology for Measuring iodine content in food products, food raw materials, feed and processed products, medicines, vitamins, dietary supplements, biological objects (urine) by stripping voltammetric method on TA type analyzers”]. FR.1.31.2004.0116. (In Russ.).
- Olesova L.D., Semenova E.I., Krivoschapkina Z.N., Efremova S.D., Egorova A.G., Sofronofa S.I., Yakovleva A.I. Nutrition of the indigenous population living in the Arctic zone of Yakutia. *Profilakticheskaya Medetsina*. 2019; 22(2): 76–81. (In Russ.).
- Popova E.K., Arkhipova N.S. Nutrition characteristics and relationship with blood lipid profile in patients 60 years and older with hypertension, depending on ethnicity and length of residence in the North. *Voprosy Pitaniya*. 2015; 84(S3): 157. (In Russ.).
- Puzin S.N., Pogozheva A.V., Potapov V.N. [Optimizing the nutrition of the elderly as a means of preventing premature aging]. *Voprosy Pitaniya*. 2018; 87(4): 69–77. (In Russ.).
- Statistical Yearbook of the Republic of Sakha (Yakutia). Yakutsk: Territorial organization of the Federal State Statistics Service for the Republic of Sakha (Yakutia). 2022: 542. (In Russ.).
- Topolyanskaya S.V., Eliseeva T.A., Balyasnikova N.A., Vakulenko O.N., Privalova E.A., Dvoretzkiy L.I. Body composition and functional abilities of centenarians with coronary heart disease. *Klinicheskaya Gerontologiya*. 2021; 27(7-8): 5–12. (In Russ.).
- Perrine C.G., Cogswell M.E., Swanson C.A., Sullivan K.M., Chen T.C., Carriquiry A.L., Dodd K.W., Caldwell K.L., Wang C.Y. Comparison of population iodine estimates from 24-hour urine and timed-spot urine samples. *Thyroid Off. J. Am. Thyroid Assoc.* 2014; 24(4): 748–757. DOI: 10.1089/thy.2013.0404.

Поступила 11 октября 2024 года  
Принята к публикации 23 декабря 2024 года

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

# ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕМЕНТНОГО ГОМЕОСТАЗА И МЕТАБОЛИЗМА КОСТНОЙ ТКАНИ У ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЯМИ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА ПЕРЕД ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ

М.К. Молчанов<sup>1,2\*</sup>, С.В. Нотова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,  
Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13

<sup>2</sup> ООО «МаксиДент»,  
Российская Федерация, 460040, г. Оренбург, ул. Геннадия Донковцева, 5

**РЕЗЮМЕ.** Несмотря на значительные достижения в области науки и медицины, проблема гипергликемии продолжает оставаться актуальной. Пациенты с различным уровнем нарушений углеводного обмена имеют повышенный риск развития ряда других сопутствующих заболеваний, в частности, патологий костной ткани. Это в свою очередь приводит к увеличению вероятности осложнений при протезировании зубов с использованием дентальных имплантатов.

**Цель исследования** – изучить показатели элементного гомеостаза, метаболизма костной ткани у пациентов в норме и при нарушениях углеводного обмена перед дентальной имплантацией.

**Материалы и методы.** В исследование включено 90 мужчин, которым была запланирована дентальная имплантация. В ходе исследования сформированы три группы: контроль – условно здоровые пациенты, уровень глюкозы натощак < 5,5 ммоль/л; основная 1 – пациенты с ранними нарушениями углеводного обмена, уровень глюкозы 5,6–6,5 ммоль/л; основная 2 – пациенты с сахарным диабетом 2-го типа, уровень глюкозы 6,5–10 ммоль/л. У всех обследованных пациентов производился забор крови для оценки показателей метаболизма костной ткани и элементного статуса.

**Результаты.** Степень проявления нарушений углеводного обмена оказывает влияние на показатели метаболизма костной ткани (более высокая активность щелочной фосфатазы и более высокие значения паратиреоидного гормона на фоне более низких значений кальцитонина и витамина D) и приводит к дисбалансу химических элементов. Установлена обратная взаимосвязь между уровнями кальция и цинка с показателями углеводного обмена (глюкоза натощак и гликированный гемоглобин) в сыворотке крови.

**Выводы.** Полученные данные показывают необходимость комплексного подхода к изучению химических элементов у пациентов с нарушениями углеводного обмена, с акцентом на уровни цинка и кальция, с целью раннего выявления и коррекции элементного дисбаланса для снижения рисков дентальной имплантации.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** микроэлементы, костная ткань, углеводный обмен, сахарный диабет 2-го типа, дентальная имплантация.

**Для цитирования:** Молчанов М.К., Нотова С.В. Показатели элементного гомеостаза и метаболизма костной ткани у пациентов с нарушениями углеводного обмена перед дентальной имплантацией. Микроэлементы в медицине. 2025; 26(1): 37–44. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-37-44.

## ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на значительные достижения в области науки и медицины, проблема гипергликемии продолжает оставаться актуальной. Согласно многочисленным исследованиям, у людей с наличием ранних нарушений углеводного обмена в 70% случаев в течение жизни развивается сахарный диабет 2-го типа (Tabak et al., 2012;

Hostalek et al., 2019; Мамедов и др., 2023). Кроме того, пациенты с различным уровнем нарушений углеводного обмена имеют повышенный риск развития ряда других сопутствующих заболеваний, в частности, патологий костной ткани, что связано с накоплением конечных продуктов гликирования и гипергомоцистеинемии, которые увеличивают апоптоз остецитов, уменьшают

\* Адрес для переписки:

Максим Константинович Молчанов  
E-mail: mk\_molchanov@rambler.ru

костеобразование и замедляют костное ремоделирование (Нуруллина, Ахмадуллина, 2017; Sheu et al., 2022; Qiu et al., 2023). По этой причине для пациентов с гипергликемией протезирование зубов с опорой на дентальные имплантаты небезопасно, так как увеличивается риск развития в послеоперационном периоде инфекционно-воспалительных осложнений с оголением конструктивных элементов имплантов и угрозой их отторжения. Кроме того, пациенты с диабетом также имеют повышенный риск развития таких заболеваний, как гингивит и пародонтит (Mauri-Obradors et al., 2017). Согласно современным представлениям, существует тесная связь между уровнем гликемии, метаболизмом костной ткани и изменениями в содержании ряда макро- и микроэлементов в организме (Chen et al., 2024; Jia, Chen, 2024). Это обусловлено тем, что физиологические и биохимические функции химических элементов являются плеiotропными, что свидетельствует об их значительной роли в функционировании организма и поддержании нормальной жизнедеятельности (Ruan et al., 2023).

Цель исследования – изучить показатели элементного гомеостаза, метаболизма костной ткани у пациентов в норме и при нарушениях углеводного обмена.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Клиническое исследование включало в себя проведение обследования условно здоровых пациентов и пациентов с различным уровнем нарушений углеводного обмена. Отбор клинического материала (сыворотка крови) производили на базе стоматологической клиники «Максидент» (г. Оренбург). В исследование включено 90 мужчин, которым была запланирована дентальная имплантация. От всех обследованных пациентов получено информированное согласие на забор биологического материала перед имплантацией и его использование для научно-исследовательских целей. Возраст пациентов варьировал от 45 до 60 лет. В ходе исследования были сформированы три группы: контроль – условно здоровые пациенты, уровень глюкозы натощак < 5,5 ммоль/л; основная 1 – пациенты с ранними нарушениями углеводного обмена, уровень глюкозы 5,6–6,5 ммоль/л; основная 2 – пациенты с сахарным диабетом 2-го типа, уровень глюкозы 6,5–10 ммоль/л. Все участники исследования не принимали витаминно-минеральные

добавки и проживали на территории Оренбургской области более 5 лет. Критериями исключения из исследования являлись хронические декомпенсированные заболевания и стаж сахарного диабета не более 5 лет.

Биохимический анализ крови и показатели костного обмена (щелочная фосфатаза, кальцитонин, паратиреоидный гормон и витамина D) у исследуемых пациентов проводили натощак в аккредитованной лаборатории «Моя наука» (г. Оренбург). Анализ общего содержания химических элементов в образцах сыворотки крови выполняли в аккредитованной лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (г. Москва).

Полученные данные обрабатывали при помощи методов вариационной статистики с применением статистического пакета STATISTICA 10 (StatSoft Inc., США). Гипотеза о принадлежности данных нормальному распределению была отклонена во всех случаях с вероятностью 95%, что обосновало применение непараметрического U-критерия Манна–Уитни. Взаимосвязи между параметрами оценивали при помощи метода ранговых корреляций Спирмена. Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости ( $p$ ), при этом критическим уровнем значимости принимали  $p \leq 0,05$ .

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

У пациентов основных групп 1 и 2 чаще встречалась склонность к кровотечениям при удалении зубов, кровоточивость десен, наличие костных операций в анамнезе, высыпаний на слизистой рта и воспалений в челюстной-лицевой области. Основной причиной потери зубов у пациентов с нарушениями углеводного обмена был пародонтит.

При оценке биохимического анализа крови у пациентов основных групп 1 и 2 установлена атерогенная дислипидемия (табл. 1). Данное состояние выражалось в увеличении уровня триглицеридов и липопротеидов низкой плотности на фоне снижения липопротеидов высокой плотности, что привело к увеличению коэффициента атерогенности. Такие нарушения в липидном обмене часто связаны с резистентностью к инсулину, которая может влиять на активность липопротеинлипазы, белка-переносчика эфиров холестерина, белка-переносчика фосфолипидов, эндотелиальной липазы и липазы печени (Charman et al., 2011; Athyros et al., 2018).

Таблица 1. Показатели биохимического анализа крови у пациентов в норме и при нарушениях углеводного обмена

Показатель	Группа		
	Контроль	Основная 1	Основная 2
Общий белок, г/л	73,6 (72,5–74,9)	76,1 (74,9–76,8) <sup>a</sup>	76,9 (75,9–77,9) <sup>b, cc</sup>
Триглицериды, ммоль/л	1,2 (1,03–1,58)	2,21 (2–2,49) <sup>aa</sup>	2,56 (2,2–3,2) <sup>bb, cc</sup>
Холестерин, ммоль/л	5 (4,79–5,4)	5,94 (5,57–6,21) <sup>aa</sup>	5,82 (5,45–6,04) <sup>bb</sup>
Липопротеиды высокой плотности, ммоль/л	1,24 (1,2–1,35)	1,1 (1,07–1,19) <sup>aa</sup>	1,05 (0,97–1,13) <sup>bb, c</sup>
Липопротеиды низкой плотности, ммоль/л	2,72 (2,3–3,08)	3,1 (2,72–3,56) <sup>a</sup>	3,46 (3,21–3,61) <sup>bb</sup>
Коэффициент атерогенности, %	3,06 (2,66–3,34)	4,5 (3,97–5,01) <sup>aa</sup>	4,65 (4,39–4,75) <sup>bb</sup>
Глюкоза, ммоль/л	4,73 (4,48–4,96)	5,8 (5,79–5,97) <sup>aa</sup>	8,39 (8,09–8,79) <sup>bb, cc</sup>
Гликированный гемоглобин, %	5,39 (5,27–5,59)	6,05 (5,84–6,21) <sup>aa</sup>	7,57 (7,03–8,12) <sup>bb, cc</sup>

Примечание: а, аа – статистически значимая разница между основной 1 и контрольной группами при  $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,01$ ; b, bb – статистически значимая разница между основной 2 и контрольной группами при  $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,01$ ; c, cc – статистически значимая разница между основными группами 1 и 2 при  $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,01$ .

Таблица 2. Показатели маркеров метаболизма костной ткани у пациентов в норме и при нарушениях углеводного обмена

Показатель	Группа		
	Контроль	Основная 1	Основная 2
Щелочная фосфатаза, ЕД/л	153,2 (147,6–160,6)	171,6 (163,6–184) <sup>a</sup>	193 (172,3–208,9) <sup>bb, c</sup>
Кальцитонин, пг/мл	5,98 (4,08–6,68)	3,88 (1,08–5,59) <sup>a</sup>	1,83 (1,08–2,75) <sup>bb, c</sup>
Паратиреоидный гормон, пг/мл	33 (27,5–38,5)	45,4 (42,84–46,9) <sup>aa</sup>	46,64 (46,03–47,6) <sup>bb</sup>
Витамин D, мкг/л	40,03 (36,47–44,65)	30,55 (29,52–31,3) <sup>aa</sup>	20,2 (19,2–21,5) <sup>bb, cc</sup>

Примечание: а, аа – статистически значимая разница между основной 1 и контрольной группами при  $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,01$ ; b, bb – статистически значимая разница между основной 2 и контрольной группами при  $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,01$ ; c, cc – статистически значимая разница между основной 1 и 2 группами при  $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,01$ .

Ряд клинических исследований показывает, что прогрессирование сахарного диабета 2-го типа нарушает работу клеток костной ткани (остеобластов, остеокластов и остеоцитов), что связано с резистентностью к инсулину, конечными продуктами гликирования и увеличением количества активных форм кислорода (Larmanee et al., 2014; Wongdee et al., 2017). Результаты исследования показали, что маркеры метаболизма костной ткани у пациентов всех групп находились в пределах нормальных значений, исключение составил уровень витамина D (табл. 2).

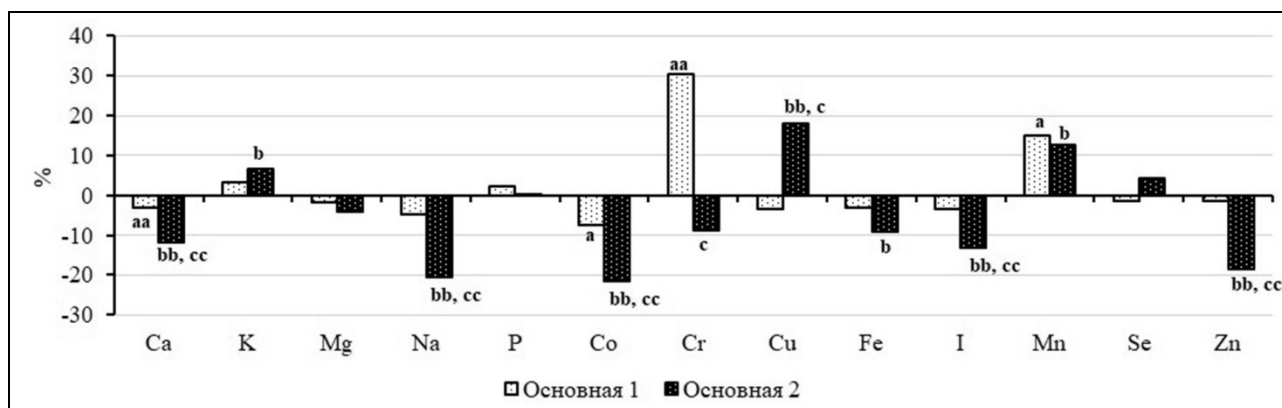
Однако у пациентов основных групп 1 и 2 относительно контрольных значений наблюдалась более высокая активность щелочной фосфатазы на 12 и 26%, выше уровень паратиреоидного гормона на 37,5 и 41,2% на фоне более низкого уровня кальцитонина – на 35,1 и 69,3% соответственно.

Большое количество исследований указывает на неоспоримую связь между осложнениями гипергликемии, в частности нарушением метаболизма костной ткани, и элементным гомеостазом (Wongdee et al., 2017; Jiang et al., 2022; Ru et al., 2024). В связи с этим был проведён анализ

общего содержания химических элементов в сыворотке крови у пациентов с различным уровнем нарушений углеводного обмена (рис. 1). Установлено, что уровень йода ниже нормальных значений во всех исследуемых группах. Данный факт объясняется биогеохимическими особенностями территории, так как известно, что Оренбургская область является дефицитной по содержанию йода (Мирошников и др., 2013). У пациентов с ранними нарушениями углеводного обмена уровень остальных эссенциальных химических элементов соответствовал нормальным значениям, однако наблюдались статистически значимо более низкие уровни кобальта на 7,3%, кальция – на 3% и более высокие уровни хрома – на 30,6%, марганца – на 15,1% соответственно. У пациентов с сахарным диабетом 2-го типа уро-

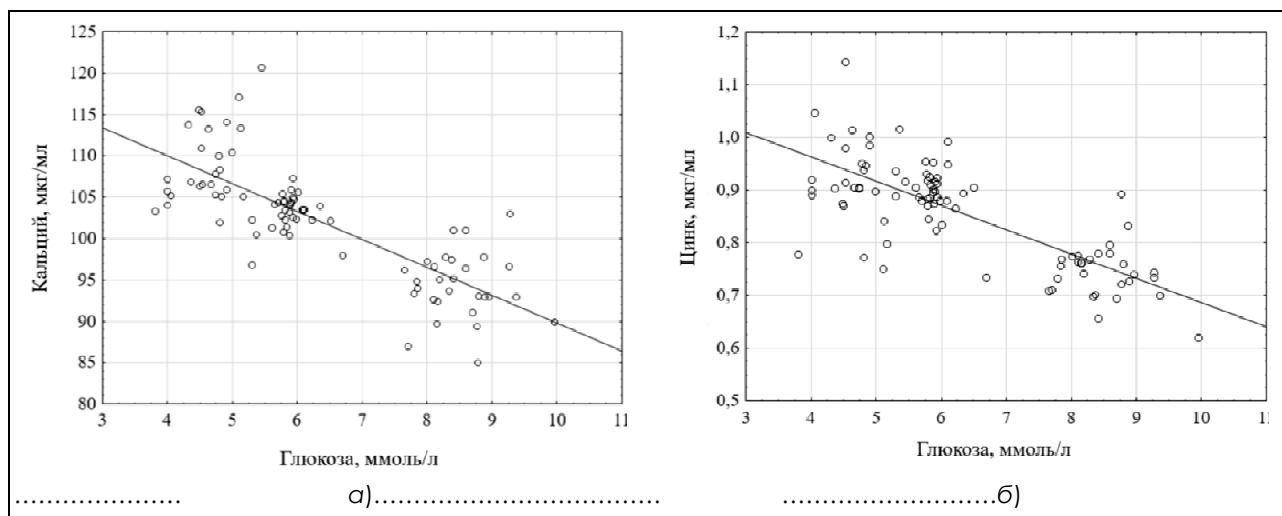
вень цинка оказался ниже установленных нормальных значений. Относительно контрольных значений у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа зафиксированы более низкие уровни кобальта на 21,2%, натрия – на 20,2%, кальция – на 11,5%, железа – на 8,83% и более высокие значения меди – на 18,1%, марганца – на 12,8%, калия – на 6,7% соответственно. Более выраженные изменения элементного гомеостаза сыворотки крови наблюдались в группе пациентов с сахарным диабетом 2-го типа.

Выявлена сильная обратная связь кальция ( $r=-0,798$ ;  $p<0,05$ ) и цинка ( $r=-0,683$ ;  $p<0,05$ ) с уровнем глюкозы в сыворотке крови (рис. 2). Аналогичная связь для кальция ( $r=-0,75$ ;  $p<0,05$ ) и цинка ( $r=-0,605$ ;  $p<0,05$ ) установлена с уровнем гликированного гемоглобина.



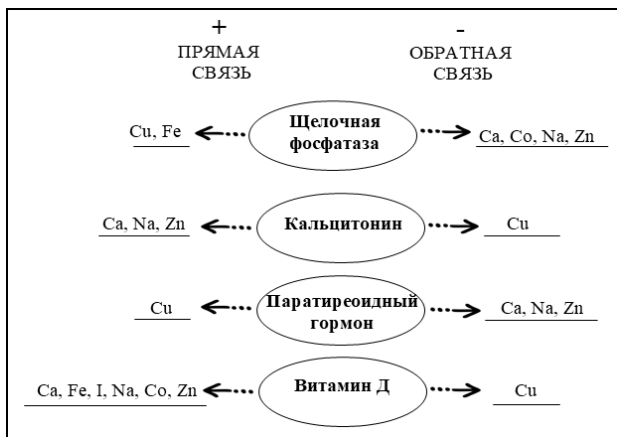
**Рис. 1.** Относительные значения содержания эссенциальных химических элементов в сыворотке крови у пациентов при нарушениях углеводного обмена:

ось  $X(0)$  – уровень элементов в контрольной группе; а, аа – статистически значимая разница между основной 1 и контрольной группами при  $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,01$ ; b, bb – статистически значимая разница между основной 2 и контрольной группами при  $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,01$ ; с, cc – статистически значимая разница между основными группами 1 и 2 при  $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,01$



**Рис. 2.** Графики корреляционных зависимостей между общим содержанием кальция (а), цинка (б) с уровнем глюкозы в сыворотке крови





**Рис. 3.** Взаимосвязь содержания химических элементов и показателей костного метаболизма в сыворотке крови у пациентов при различных уровнях нарушений углеводного обмена (при  $r > 0,3$ ;  $p < 0,05$ )

Оба химических элемента играют важную роль в регуляции метаболизма углеводов. Любые изменения в обмене кальция могут оказывать неблагоприятное воздействие на секреторную функцию  $\beta$ -клеток и препятствовать нормальному высвобождению инсулина, особенно в ответ на нагрузку глюкозой (Pittas et al., 2007; Siddiqui et al., 2014; Faysal et al., 2023). Цинк способствует усвоению глюкозы мышечными и жировыми клетками; необходим в качестве кофактора для функционирования ряда внутриклеточных ферментов, которые участвуют в метаболизме глюкозы. Также цинк может участвовать в регуляции механизма передачи сигнала, иницируемого рецептором инсулина, и в синтезе рецептора инсулина (Tang X., Shay, 2001; Fernández-Cao et al., 2019; Bjørklund et al., 2020).

Макро- и микроэлементы принимают непосредственное участие в биохимических процессах костной ткани. Многие химические элементы являются кофакторами ферментов, регулирующих синтез костного матрикса, его минерализацию, а также равномерный рост, гибкость и прочность костной ткани. Соответственно, дисбаланс любого из эссенциальных элементов в организме может нарушить костный метаболизм, особенно у людей старшего возраста (Ciosek et al., 2021; Li et al., 2024).

Исследование уровня химических элементов у пациентов с различными нарушениями углеводного обмена показал, что даже незначительный их дисбаланс влияет на ряд метаболических процессов в организме. Поскольку у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа часто наблюдаются нарушения костного метаболизма, оценка элементного гомеостаза особенно важна в рамках предотвращения развития остеопороза, воспалительно-деструктивных заболеваний пародонта и других заболеваний костной ткани. Комплексный подход к изучению влияния микроэлементов на обмен веществ может способствовать более глубокому пониманию развития сахарного диабета 2-го типа и разработке эффективных методов профилактики, диагностики и лечения данной патологии.

## ВЫВОДЫ

1. У пациентов с различными нарушениями углеводного обмена отмечается более высокая частота встречаемости осложнений со стороны стоматологического анамнеза и развитие атерогенной дислипидемии разной степени выраженности. Выявлена более высокая активность щелочной фосфатазы и уровень паратиреоидного гормона на фоне более низких значений кальцитонина и витамина D относительно контрольной группы.

2. Уровень гликемии влияет на характер элементного гомеостаза. У пациентов с ранними нарушениями углеводного обмена статистически значимо более низкие значения кобальта, кальция и более высокие значения хрома, марганца. У пациентов с сахарным диабетом 2-го типа уровень цинка находится ниже установленных нормальных значений. Отмечается статистически значимо более низкие значения кобальта, натрия, кальция, железа и более высокие значения меди, марганца и калия. Во всех исследуемых группах уровень йода в сыворотке крови ниже нормальных значений, что связано с биогеохимическими особенностями территории Оренбургской области. Установлена обратная взаимосвязь между уровнем кальция и цинка с показателями углеводного обмена (глюкоза натощак и гликированный гемоглобин) в сыворотке крови.

## Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## Conflict of interest

The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

## ЛИТЕРАТУРА

- Мамедов М.Н., Сушкова Л.Т., Исаков Р.В., Куценко В.А., Драпкина О.М. Оценка нарушений липидного обмена и гипергликемии в открытой популяции 30–69 лет: результаты многоцентрового исследования. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2023; 22(6): 3597. DOI: 10.15829/1728-8800-2023-3597.
- Мирошников С.В., Нотова С.В., Княева Е.В., Алиджанова И.Э., Слободсков А.А. Особенности элементного состава волос и различных структур щитовидной железы в эндемичной по дефициту йода области. Вестник ОГУ. 2013; 10(159): 17–20.
- Нуруллина Г.М., Ахмадуллина Г.И. Особенности костного метаболизма при сахарном диабете. Остеопороз и остеопатии. 2017; 20(3): 82–89. DOI: 10.14341/osteo2017382-89.
- Athyros V.G., Doumas M., Imprialos K.P., Stavropoulos K., Georgiou E., Katsimardou A., Karagiannis A. Diabetes and lipid metabolism. *Hormones (Athens)*. 2018; 17(1): 61–67. DOI: 10.1007/s42000-018-0014-8.
- Bjørklund G., Dadar M., Pivina L., Doşa M.D., Semenova Y., Aaseth J. The Role of Zinc and Copper in Insulin Resistance and Diabetes Mellitus. *Curr Med Chem*. 2020; 27(39): 6643–6657. DOI: 10.2174/0929867326666190902122155.
- Chapman M.J., Ginsberg H.N., Amarencu P., Andreotti F., Borén J., Catapano A.L., Descamps O.S., Fisher E., Kovanen P.T., Kuivenhoven J.A., Lesnik P., Masana L., Nordestgaard B.G., Ray K.K., Reiner Z., Taskinen M.R., Tokgözoğlu L., Tybjaerg-Hansen A., Watts G.F., European Atherosclerosis Society Consensus Panel. Triglyceride-rich lipoproteins and high-density lipoprotein cholesterol in patients at high risk of cardiovascular disease: evidence and guidance for management. *Eur Heart J*. 2011; 32: 1345–1361. DOI: 10.1093/eurheartj/ehr112.
- Chen Y., Zhao W., Hu A., Lin S., Chen P., Yang B., Fan Z., Qi J., Zhang W., Gao H., Yu X., Chen H., Chen L., Wang H. Type 2 diabetic mellitus related osteoporosis: focusing on ferroptosis. *J Transl Med*. 2024; 22(1): 409. DOI: 10.1186/s12967-024-05191-x.
- Ciosek Z., Kot K., Kosik-Bogacka D., Łanocha-Arendarczyk N., Rotter I. The Effects of Calcium, Magnesium, Phosphorus, Fluoride, and Lead on Bone Tissue. *Biomolecules*. 2021; 11(4): 506. DOI: 10.3390/biom11040506.
- Faysal M.R., Akter T., Hossain M.S., Begum S., Banu M., Tasnim J., Sultana I., Krishna S.P., Alam S., Akter T., Jenea A.T. Study of Serum Calcium and Magnesium Levels in Type 2 Diabetes Mellitus Patients. *Mymensingh Med J*. 2023; 32(1): 54–60.
- Fernández-Cao J.C., Warthon-Medina M., H Moran V., Arija V., Doepking C., Serra-Majem L., Lowe N.M. Zinc Intake and Status and Risk of Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 2019; 11(5): 1027. DOI: 10.3390/nu11051027.
- Jia M.-J., Chen L. Effect of trace elements and nutrients on diabetes and its complications: a Mendelian randomization study. *Front. Nutr*. 2024; 11: 1439217. DOI: 10.3389/fnut.2024.1439217.
- Jiang Z., Wang H., Qi G., Jiang C., Chen K., Yan Z. Iron overload-induced ferroptosis of osteoblasts inhibits osteogenesis and promotes osteoporosis: An in vitro and in vivo study. *IUBMB Life*. 2022; 74(11): 1052–1069. DOI: 10.1002/iub.2656.
- Hostalek U. Global epidemiology of prediabetes – present and future perspectives. *Clin Diabetes Endocrinol*. 2019; 5: 5. DOI: 10.1186/s40842-019-0080-0.
- Lapmanee S., Charoenphandhu N., Aeimlapa R., Suntornsaratoon P., Wongdee K., Tiyasatkulkovit W., Kengkoom K., Chaimongkolnukul K., Seriwatanachai D., Krishnamra N. High dietary cholesterol masks type 2 diabetes-induced osteopenia and changes in bone microstructure in rats. *Lipids*. 2014; 49(10): 975–986. DOI: 10.1007/s11745-014-3950-3.
- Li M., Deng F., Qiao L., Wen X., Han J. The Critical Role of Trace Elements in Bone Health. *Nutrients*. 2024; 16(22): 3867. DOI: 10.3390/nu16223867.
- Mauri-Obradors E., Estrugo-Devesa A., Jané-Salas E., Viñas M., López-López J. Oral manifestations of Diabetes Mellitus. A systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2017; 22(5): e586–e594. DOI: 10.4317/medoral.21655.
- Pittas A.G., Lau J., Hu F.B., Dawson-Hughes B. The role of vitamin D and calcium in type 2 diabetes. A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2007; 92(6): 2017–2029. DOI: 10.1210/jc.2007-0298.
- Qiu H.L., Fan S., Zhou K., He Z., Browning M.H.E.M., Knibbs L.D., Zhao T., Luo Y.N., Liu X.X., Hu L.X., Li J.X., Zhang Y.D., Xie Y.T., Heinrich J., Dong G.H., Yang B.Y. Global burden and drivers of hyperglycemia: Estimates and predictions from 1990 to 2050. *Innovation (Camb)*. 2023; 4(4): 100450. DOI: 10.1016/j.xinn.2023.100450.
- Ruan S., Guo X., Ren Y., Cao G., Xing H., Zhang X. Nanomedicines based on trace elements for intervention of diabetes mellitus. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2023; 168: 115684. DOI: 10.1016/j.biopha.2023.115684.
- Ru Q., Li Y., Chen L., Wu Y., Min J., Wang F. Iron homeostasis and ferroptosis in human diseases: mechanisms and therapeutic prospects. *Signal Transduct Target Ther*. 2024; 9(1): 271. DOI: 10.1038/s41392-024-01969-z.
- Sheu A., Greenfield J.R., White C.P., Center J.R. Assessment and treatment of osteoporosis and fractures in type 2 diabetes. *Trends Endocrinol Metab*. 2022; 33(5): 333–344. DOI: 10.1016/j.tem.2022.02.006.
- Siddiqui K., Bawazeer N., Joy S.S. Variation in macro and trace elements in progression of type 2 diabetes. *Scientific World Journal*. 2014; 2014: 461591. DOI: 10.1155/2014/461591.
- Tabak A.G., Herder C., Rathmann W., Brunner E.J., Kivimaki M. Prediabetes: a high-risk state for diabetes development. *Lancet*. 2012; 379: 2279–2290. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60283-9.
- Tang X., Shay N.F. Zinc has an insulin-like effect on glucose transport mediated by phosphoinositol-3-kinase and Akt in 3T3-L1 fibroblasts and adipocytes. *Journal of Nutrition*. 2001; 131(5): 1414–1420. DOI: 10.1093/jn/131.5.1414.
- Wongdee K., Krishnamra N., Charoenphandhu N. Derangement of calcium metabolism in diabetes mellitus: negative outcome from the synergy between impaired bone turnover and intestinal calcium absorption. *J Physiol Sci*. 2017; 67(1): 71–81. DOI: 10.1007/s12576-016-0487-7.

## INDICATORS OF ELEMENTAL HOMEOSTASIS AND BONE METABOLISM IN PATIENTS WITH DISORDER CARBOHYDRATE METABOLISM BEFORE DENTAL IMPLANTATION

M.K. Molchanov<sup>1,2\*</sup>, S.V. Notova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Orenburg State University,  
Russian Federation, 460018, Orenburg, prospect Pobedy, 13

<sup>2</sup> LLC Maxident,  
Russian Federation, 460040, Orenburg, St. Gennady Donkovtsev, 5

**ABSTRACT.** Despite significant advances in science and medicine, the problem of hyperglycemia remains relevant. Patients with various levels of carbohydrate metabolism disorders have an increased risk of developing a number of other concomitant diseases, in particular, bone tissue pathologies. This, in turn, leads to an increased likelihood of complications in dental prosthetics using dental implants.

**The aim** of the study was to study the indicators of elemental homeostasis and bone metabolism in patients with normal and impaired carbohydrate metabolism before dental implantation.

**Materials and methods.** The study included 90 men who were scheduled for dental implantation. Three groups were formed during the study: control – conditionally healthy patients with fasting glucose < 5.5 mmol/l; main 1 – patients with early disorders of carbohydrate metabolism, glucose level 5.6–6.5 mmol/l; main 2 – patients with type 2 diabetes mellitus, glucose level 6.5–10 mmol/l. Blood sampling was performed in all examined patients to assess bone metabolism and elemental status.

**Results.** The degree of manifestation of carbohydrate metabolism disorders affects the parameters of bone metabolism (higher activity of alkaline phosphatase and higher values of parathyroid hormone against the background of lower values of calcitonin and vitamin D) and leads to an imbalance of chemical elements. An inverse relationship has been established between the levels of calcium and zinc and indicators of carbohydrate metabolism (fasting glucose and glycated hemoglobin) in blood serum.

**Conclusions.** The data obtained show the need for an integrated approach to the study of chemical elements in patients with impaired carbohydrate metabolism, with an emphasis on zinc and calcium levels, in order to early detect and correct the elemental imbalance in order to reduce the risks of dental implantation.

**KEYWORDS:** microelements, bone tissue, carbohydrate metabolism, type 2 diabetes mellitus, dental implantation.

**For citation:** Molchanov M.K., Notova S.V. Indicators of elemental homeostasis and bone metabolism in patients with disorder carbohydrate metabolism before dental ipplantation. Trace elemets in medicine. 2025;26(1):37–44. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-37-44

### REFERENCES

- Mamedov M.N., Sushkova L.T., Isakov R.V., Kucenko V.A., Drapkina O.M. Ocenka narushenij lipidnogo obmena i giperglikemii v otkry'toj populyacii 30–69 let: rezul'taty mnogocentrovogo issledovaniya. Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika. 2023; 22(6): 3597. DOI: 10.15829/1728-8800-2023-3597. (In Russ.).
- Miroshnikov S.V., Notova S.V., Kiyayeva E.V., Alidzhanova I.E., Slobodskov A.A. Osobennosti e'lementnogo sostava volos i razlichny'x struktur shhitovidnoj zhelezy' v e'ndemichnoj po deficitu joda oblasti. Vestnik OGU. 2013; 10(159): 17–20. (In Russ.).
- Nurullina G.M., Axmadullina G.I. Osobennosti kostnogo metabolizma pri saxarnom diabete. Osteoporoz i osteo-patii. 2017; 20(3): 82–89. DOI: 10.14341/osteo2017382-89. (In Russ.).
- Athyros V.G., Doumas M., Imprialos K.P., Stavropoulos K., Georgiou E., Katsimardou A., Karagiannis A. Diabetes and lipid metabolism. Hormones (Athens). 2018; 17(1): 61–67. DOI: 10.1007/s42000-018-0014-8.
- Björklund G., Dadar M., Pivina L., Doşa M.D., Semenova Y., Aaseth J. The Role of Zinc and Copper in Insulin Resistance and Diabetes Mellitus. Curr Med Chem. 2020; 27(39): 6643–6657. DOI: 10.2174/0929867326666190902122155.
- Chapman M.J., Ginsberg H.N., Amarencu P., Andreotti F., Borén J., Catapano A.L., Descamps O.S., Fisher E., Kovanen P.T., Kuivenhoven J.A., Lesnik P., Masana L., Nordestgaard B.G., Ray K.K., Reiner Z., Taskinen M.R., Tokgözoğlu L., Tybjaerg-Hansen A., Watts G.F., European Atherosclerosis Society Consensus Pane. Triglyceride-rich lipoproteins and high-density lipoprotein cholesterol in patients at high risk of cardiovascular disease: evidence and guidance for management. Eur Heart J. 2011; 32: 1345–1361. DOI: 10.1093/eurheartj/ehr112.
- Chen Y., Zhao W., Hu A., Lin S., Chen P., Yang B., Fan Z., Qi J., Zhang W., Gao H., Yu X., Chen H., Chen L., Wang H. Type 2 diabetic mellitus related osteoporosis: focusing on ferroptosis. J Transl Med. 2024; 22(1): 409. DOI: 10.1186/s12967-024-05191-x.
- Ciosek Z., Kot K., Kosik-Bogacka D., Łanocha-Arendarczyk N., Rotter I. The Effects of Calcium, Magnesium, Phosphorus, Fluoride, and Lead on Bone Tissue. Biomolecules. 2021; 11(4): 506. DOI: 10.3390/biom11040506.
- Faysal M.R., Akter T., Hossain M.S., Begum S., Banu M., Tasnim J., Sultana I., Krishna S.P., Alam S., Akter T., Jenea A.T. Study of Serum Calcium and Magnesium Levels in Type 2 Diabetes Mellitus Patients. Mymensingh Med J. 2023; 32(1): 54–60.

- Fernández-Cao J.C., Warthon-Medina M., H Moran V., Arija V., Doepking C., Serra-Majem L., Lowe N.M. Zinc Intake and Status and Risk of Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 2019; 11(5): 1027. DOI: 10.3390/nu11051027.
- Jia M-J., Chen L. Effect of trace elements and nutrients on diabetes and its complications: a Mendelian randomization study. *Front. Nutr.* 2024; 11: 1439217. DOI: 10.3389/fnut.2024.1439217.
- Jiang Z., Wang H., Qi G., Jiang C., Chen K., Yan Z. Iron overload-induced ferroptosis of osteoblasts inhibits osteogenesis and promotes osteoporosis: An in vitro and in vivo study. *IUBMB Life*. 2022; 74(11): 1052–1069. DOI: 10.1002/iub.2656.
- Hostalek U. Global epidemiology of prediabetes – present and future perspectives. *Clin Diabetes Endocrinol*. 2019; 5: 5. DOI: 10.1186/s40842-019-0080-0.
- Lapmanee S., Charoenphandhu N., Aeimlapa R., Suntornsaratoon P., Wongdee K., Tiyasatkulkovit W., Kengkoom K., Chaimongkolnukul K., Seriwatanachai D., Krishnamra N. High dietary cholesterol masks type 2 diabetes-induced osteopenia and changes in bone microstructure in rats. *Lipids*. 2014; 49(10): 975–986. DOI: 10.1007/s11745-014-3950-3.
- Li M., Deng F., Qiao L., Wen X., Han J. The Critical Role of Trace Elements in Bone Health. *Nutrients*. 2024; 16(22): 3867. DOI: 10.3390/nu16223867.
- Mauri-Obradors E., Estrugo-Devesa A., Jané-Salas E., Viñas M., López-López J. Oral manifestations of Diabetes Mellitus. A systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2017; 22(5): e586–e594. DOI: 10.4317/medoral.21655.
- Pittas A.G., Lau J., Hu F.B., Dawson-Hughes B. The role of vitamin D and calcium in type 2 diabetes. A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2007; 92(6): 2017–2029. DOI: 10.1210/jc.2007-0298.
- Qiu H.L., Fan S., Zhou K., He Z., Browning M.H.E.M., Knibbs L.D., Zhao T., Luo Y.N., Liu X.X., Hu L.X., Li J.X., Zhang Y.D., Xie Y.T., Heinrich J., Dong G.H., Yang B.Y. Global burden and drivers of hyperglycemia: Estimates and predictions from 1990 to 2050. *Innovation (Camb)*. 2023; 4(4): 100450. DOI: 10.1016/j.xinn.2023.100450.
- Ruan S., Guo X., Ren Y., Cao G., Xing H., Zhang X. Nanomedicines based on trace elements for intervention of diabetes mellitus. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2023; 168: 115684. DOI: 10.1016/j.biopha.2023.115684.
- Ru Q., Li Y., Chen L., Wu Y., Min J., Wang F. Iron homeostasis and ferroptosis in human diseases: mechanisms and therapeutic prospects. *Signal Transduct Target Ther*. 2024; 9(1): 271. DOI: 10.1038/s41392-024-01969-z.
- Sheu A., Greenfield J.R., White C.P., Center J.R. Assessment and treatment of osteoporosis and fractures in type 2 diabetes. *Trends Endocrinol Metab*. 2022; 33(5): 333–344. DOI: 10.1016/j.tem.2022.02.006.
- Siddiqui K., Bawazeer N., Joy S.S. Variation in macro and trace elements in progression of type 2 diabetes. *Scientific World Journal*. 2014; 2014: 461591. DOI: 10.1155/2014/461591.
- Tabak A.G., Herder C., Rathmann W., Brunner E.J., Kivimaki M. Prediabetes: a high-risk state for diabetes development. *Lancet*. 2012; 379: 2279–2290; DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60283-9.
- Tang X., Shay N.F. Zinc has an insulin-like effect on glucose transport mediated by phosphoinositol-3-kinase and Akt in 3T3-L1 fibroblasts and adipocytes. *Journal of Nutrition*. 2001; 131(5): 1414–1420. DOI: 10.1093/jn/131.5.1414.
- Wongdee K., Krishnamra N., Charoenphandhu N. Derangement of calcium metabolism in diabetes mellitus: negative outcome from the synergy between impaired bone turnover and intestinal calcium absorption. *J Physiol Sci*. 2017; 67(1): 71–81. DOI: 10.1007/s12576-016-0487-7.

Поступила 5 марта 2025 года  
Принята к публикации 14 марта 2025 года

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ТРАВЫ И КОРНЕВИЩ С КОРНЯМИ  
СИНЮХИ ГОЛУБОЙ, КУЛЬТИВИРУЕМОЙ  
В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ****А.С. Чистякова, А.С. Болгов, Г.Ю. Шестакова, А.А. Гудкова\***ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,  
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, Университетская пл., 1

**РЕЗЮМЕ.** Химический состав всех растений представлен компонентами как органического, так и минерального происхождения. Минеральный комплекс влияет на организм человека, включает разнообразные макро-, микро-, ультрамикроэлементы, а также токсичные соединения. Синюха голубая давно разрешена к медицинскому использованию, однако до настоящего времени нет данных, дающих целостное представление о минеральном составе растения.

**Цель исследования** – изучение элементного состава растительного сырья синюхи голубой, культивируемой в Воронежской области.

**Материалы и методы.** Объекты исследования – высушенные образцы травы синюхи голубой первого и второго года вегетации, образец корневищ с корнями синюхи голубой второго года вегетации, заготовленные, согласно правилам сбора, от культивируемых растений в г. Боброве Воронежской области, а также почвы с места произрастания растений. Минеральный состав исследуемых объектов изучали методом хромато-масс-спектрологии с индуктивно связанной плазмой.

**Результаты.** Методом хромато-масс-спектрологии определено количественное содержание 43 элементов. Макроэлементы составляют значительную часть минерального комплекса растительного сырья синюхи голубой, присутствуют в количестве 92–95% в траве независимо от срока сбора сырья и 85,38% – в корневищах с корнями синюхи. Микроэлементы в траве синюхи содержатся в количестве 7,09 и 6,16% для первого и второго года вегетации соответственно. Токсичные элементы находятся в количестве 0,03 и 0,009% от общего содержания минеральных компонентов в траве синюхи, заготовленной в первый и второй годы жизни растения, соответственно и 0,013% – в корневищах с корнями синюхи.

**Выводы.** Установлены различия в аккумуляции элементов в зависимости от морфологической части растения, а также года вегетации. Показано, что все исследуемые органы синюхи голубой включают в себя высокое содержание калия, кальция и кремния. Элементами сильного накопления в траве синюхи являются фосфор, калий, кальций, ртуть. В корневищах с корнями к сильно накапливаемым элементам относятся фосфор, цинк, стронций. Согласно действующей нормативной документации на лекарственное растительное сырье, содержание тяжелых металлов и мышьяка в растительном сырье синюхи не превышает установленных значений. Показана зависимость содержания некоторых элементов в растении от их содержания в почве, что необходимо учитывать при культивировании и заготовке растительного сырья синюхи голубой.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** синюха голубая, минеральные компоненты, элементный состав, хромато-масс-спектрология, распределение по Перельману.

**Для цитирования:** Чистякова А.С., Болгов А.С., Шестакова Г.Ю., Гудкова А.А. Элементный состав травы и корневищ с корнями синюхи голубой, культивируемой в Воронежской области. Микроэлементы в медицине. 2025;26(1):45–53. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-45-53.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время все больше заметна тенденция к возрождению интереса к растениям, выпавшим по разным причинам из поля зрения ученых. К подобным растениям относится синю-

ха голубая, корневища с корнями которой являлись востребованными в качестве отхаркивающего и седативного средства до середины XX века (Мальцева и др., 2010; Атаввулаева, Кароматов, 2018), далее растение было незаслуженно

\* Адрес для переписки:

Гудкова Алевтина Алексеевна

E-mail: al.f84@mail.ru

забыто. В наши дни, кроме подземных органов, внимание исследователей привлекает трава синюхи голубой, входящая в состав биологически активных добавок седативного действия. Известно, что все органы растения имеют богатый химический состав, включающий в себя тритерпеновые сапонины, фенольные соединения, органические кислоты и др. (Шестакова и др., 2021). По мере изучения растения выявляются новые соединения в его составе, а также дополнительные фармакологические эффекты.

Химический состав всех растений представлен компонентами как органического, так и минерального происхождения. Минеральный комплекс способен проявлять собственное влияние на организм человека, включает разнообразные макро-, микро-, ультрамикроэлементы, а также токсичные соединения. Информация о составе и количественном содержании отдельных элементов позволяет предположить безопасность использования растительного сырья в медицинских целях (Лужанин и др., 2023). Элементы из почвы поглощаются растительным организмом неодинаково и концентрируются разными морфологическими частями по-разному, в зависимости от фазы вегетации растения, места его произрастания. Они вступают в биохимические процессы в растительном организме, влияют на синтез органических веществ, находятся в комплексах с последними в виде солей, что показывает значимость и актуальность исследования элементного состава растительного сырья.

**Ц е л ь р а б о т ы** – изучение элементного состава растительного сырья синюхи голубой, культивируемой в Воронежской области.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Объектом в работе выступали два высушенных образца синюхи голубой травы и один образец синюхи голубой корневищ с корнями. Первый образец травы заготовлен на первый год жизни растения в июне 2020 года, второй образец собирали во время цветения растения в июне 2021 года. Корневища и корни выкапывали на второй год жизни растения в начале сентября 2021 года. В работе использовали растения, культивируемые на частном участке в г. Боброве Воронежской области. Выращивание синюхи голубой проводили без использования минеральных удобрений в экологически чистом месте. После сбора образцы травы подвергали высушиванию в тени, образцы подземных органов, тща-

тельно очистив от земли, высушивали в камерной сушилке при температуре 55 °С. Растительное сырье хранили в картонных коробках в сухих помещениях (ГФ РФ XIV, 2018; Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01, 2002).

Минеральный состав исследуемых объектов изучали методом хромато-масс-спектрологии с индуктивно связанной плазмой с использованием системы «ELAN-DRC». Пробоподготовку осуществляли согласно МВИ N 002-ХМС-2009 «Методика выполнения измерений массовых долей 62 элементов в почвах, донных отложениях, горных породах и сплавах цветных металлов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой», а также МУК 4.1.1483-03 «Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавок методом массспектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой» (Колосова, Тринеева, 2022). Перед проведением эксперимента, образцы травы и корневищ с корнями синюхи голубой подвергали измельчению до размера частиц сырья 0,5–1 мм. Точные навески образцов сырья синюхи голубой помещали в патрон из фторопласта и добавляли смесь плавиковой и азотной кислот, затем подвергали кислотному разложению с помощью систем микроволновой пробоподготовки. Пробу троекратно промывали деионизированной водой. Аликвоту отбирали автоматическим дозатором (1,0 мл), доводили до 10 мл азотной кислотой и использовали для определения элементного состава. Правильность определения контролировали с помощью метода добавок. Для получения рабочих стандартных растворов смешивали нескольких опорных многоэлементных стандартных растворов для масс-спектрометрии (Perkin-Elmer). стандартные растворы готовили путем смешивания нескольких опорных многоэлементных стандартных растворов для масс-спектрометрии (Perkin-Elmer) или аналогичные, содержащие разные группы элементов. Используемые референс-стандарты для анализа почв: почва дерново-подзолистая ГСО 5360-90, ООКО-153, почва дерново-подзолистая супесчаная ГСО 2498-83-2500-83, СДПС-1, СДПС-2, СДПС-3. Для анализа проб растительного происхождения использовали ГСО состава травосмеси (Тр-1), ГСО 8922-2007, ГСО состава элодеи канадской (ЗК-1), ГСО 8921- 2007, ГСО состава листа березы (ЛБ-1), ГСО 8923-2007 (Гудкова 2019; Колосова и др. 2023).

Для математического расчета коэффициента биологического накопления минеральных компонентов в сырье синюхи голубой анализировали также и почву с места культивирования растений. Образцы почвы отбирали в момент заготовки растительного сырья, высушивали до постоянной массы, просеивали через сито с диаметром отверстий 0,50 мм (Гудкова, 2019; Дьякова, 2022; Дунилин, 2023).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного исследования в изучаемых объектах определили 43 элемента (табл. 1). Сравнивая содержание элементов в изучаемых объектах, выявили варьирование их количества в зависимости от времени заготовки сырья. Макроэлементы составляют значительную часть минерального комплекса растительного сырья синюхи голубой, они присутствуют в траве (в пересчете на абсолютно сухое сырье) независимо от срока сбора сырья в количестве 92–95%, в корневищах с корнями синюхи – 85,38%. Микроэлементы в траве синюхи содержатся в количестве 7,09 и 4,72% для первого и второго года вегетации соответственно.

Токсичные элементы находятся в количестве 0,03 и 0,009% от общего содержания минеральных компонентов в траве синюхи, заготовленной в первый и второй годы жизни растения соответственно, и 0,013% – в корневищах с корнями синюхи.

Минеральный комплекс синюхи голубой включает в себя также такой класс элементов,

как лантаноиды цериевой группы, содержание которых в траве растения составило 0,001%, в подземных органах 0,01%. Лантаноиды в малых количествах перспективны к использованию в качестве антигипертензивных, гипогликемических и гипохолестеринемических, гепатопротекторных, антикоагулянтных, противоопухолевых средств, способны влиять на ферментативную систему (Pałasz, Czekaj, 2000; Andreea Cârâc, 2017; Qize Zhang et al., 2021; Скобин и др., 2019).

Анализируя отдельные макроэлементы в корневищах с корнями синюхи, следует отметить, что в подземных органах в 11 раз выше содержание Na, в 1,5 раза Mg и в 1,2 раза P, чем в траве растения, заготовленной на втором году жизни. Однако количество K и Ca значительно ниже, чем в надземной части (на 64 и 12% соответственно). Суммарное содержание микроэлементов в корневищах с корнями синюхи голубой значительно выше, чем в траве, и составляет 21,6%.

Необходимо отметить, что как надземная, так и подземная части синюхи голубой включают в себя высокое содержание макроэлементов, особенно K (2,4 и 2,7% от массы сухого сырья для травы первого и второго года вегетации и 0,99% для подземных органов) и Ca (1,6 и 1,7% от массы сухого сырья для травы первого и второго года вегетации и 1,5% для подземных органов). Из микроэлементов преобладает Si (0,21 и 0,24% от массы сухого сырья для травы первого и второго года вегетации и 0,44% для подземных органов).

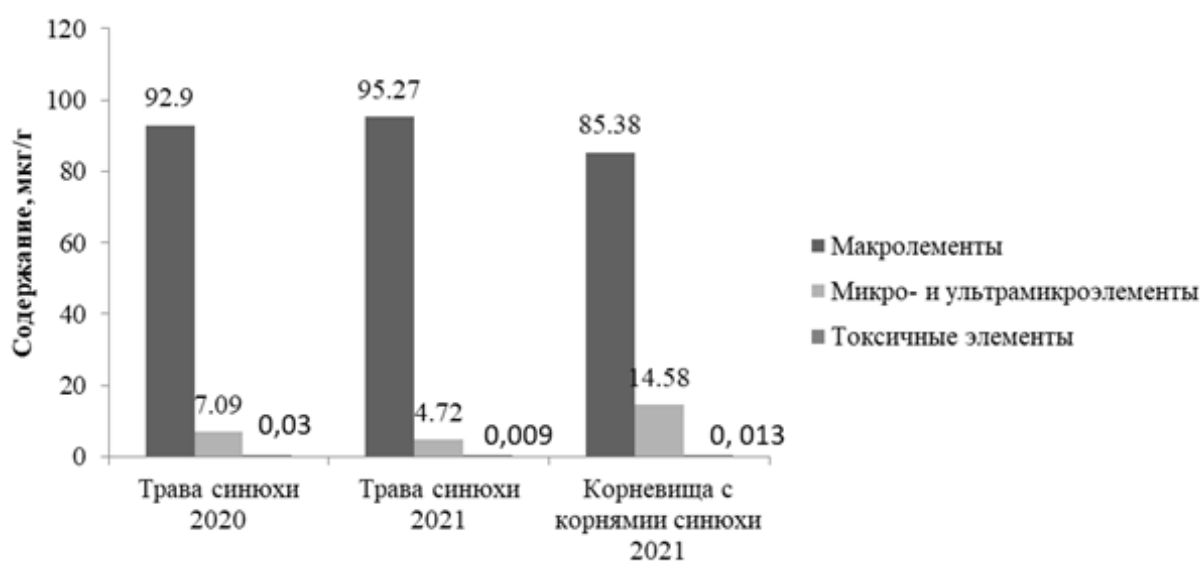


Рис. 1. Содержание макро- и микроэлементов в растительном сырье синюхи голубой

Таблица 1. Элементный состав травы и корневищ с корнями синюхи голубой

Элемент	Растительное сырье, мкг/г			Почва, мкг/г	
	Трава	Трава	Корневища с корнями	2020 г.	2021 г.
	2020 г.	2021 г.	2021 г.		
<i>Макроэлементы</i>					
Натрий	122,200	126,50	1360,70	4440,0	3300,0
Магний	2181,50	2309,30	2903,20	5600,0	6300,0
Фосфор	5600,60	6267,50	7478,70	780,0	840,0
Калий	24544,80	27947,10	9977,20	16700,0	14100,0
Кальций	16097,20	17228,0	15043,10	15300,0	18200,0
<i>Микро – и ультрамикроэлементы</i>					
Кремний*	2759,0	1567,0	4440,00	347000,0	263000,0
Алюминий	432,10	483,40	3497,90	46200,0	38800,0
Железо*	326,200	349,00	2472,80	29300,0	27800,0
Стронций	62,580	59,280	95,510	95,000	75,800
Марганец*	39,100	42,900	107,600	583,00	630,00
Цинк*	30,100	34,440	98,060	83,000	76,000
Титан	22,500	23,400	171,200	3290,0	3340,0
Барий	11,540	11,660	40,250	380,0	290,0
Рубидий	7,800	8,070	11,540	87,000	77,000
Хром*	3,200	3,670	7,690	64,000	45,000
Медь*	3,160	3,620	11,780	29,000	30,000
Ванадий*	3,160	3,560	10,730	67,000	66,000
Литий*	1,380	1,480	3,260	36,000	27,000
Молибден*	1,300	1,300	1,380	1,300	1,600
Никель*	0,860	0,930	4,830	37,000	43,000
Селен*	0,560	0,580	0,410	1,200	0,900
Цирконий	0,480	0,440	3,610	110,00	110,00
Олово	0,320	0,320	0,930	3,200	2,900
Кобальт*	0,290	0,290	1,400	12,000	11,500
Скандий	0,190	0,190	1,080	следы	следы
Иттрий	0,110	0,110	1,150	18,000	16,200
Галлий	0,100	0,097	1,033	13,000	14,000
Ниобий	0,050	0,050	0,450	8,200	9,800
Сурьма	0,050	0,040	0,310	0,530	0,500
Торий	0,045	0,043	0,509	8,700	8,600
Цезий	0,040	0,030	0,350	4,000	3,100
Уран	0,024	0,024	0,300	1,400	1,200
Германий	0,015	0,014	0,110	1,300	0,900
Висмут	0,010	0,010	0,030	0,140	0,100
Таллий	0,007	0,006	0,076	0,350	0,400
<i>Токсичные элементы</i>					
Свинец	1,360	1,150	5,010	16,000	17,500
Ртуть	0,0064	<0.0001	<0.0001	0,01	0,01
Мышьяк	0,300	0,440	0,480	8,800	7,400
Кадмий	0,134	0,138	0,208	0,390	0,350
<i>Лантаноиды</i>					
Лантан	0,170	0,170	1,570	27,000	23,000
Церий	0,380	0,360	3,040	65,000	60,000
Празеодим	0,040	0,040	0,390	7,400	5,900
Неодим	0,160	0,160	1,540	23,000	19,700

Примечание: \* – эссенциальные микроэлементы.



Поскольку все минеральные компоненты в растениях находятся в легко усваиваемой форме (в виде комплексов с органическими соединениями и минеральных водорастворимых солей), растительное сырье синюхи голубой может быть расценено в качестве дополнительного источника элементов, необходимых для нормальной жизнедеятельности организма. Ежедневная потребность организма человека в кремнии составляет 20–30 мг в пересчете на SiO<sub>2</sub>. Кремний, содержащийся в растениях, образует комплексы с лигнином, входит в состав клеточных стенок (Колесников, 2001; Гинс, 2017), благодаря чему увеличивается его всасываемость (Зеленков и др., 2016). Кремний участвует в синтезе коллагена, костной ткани, укрепляет стенки капилляров, участвует в липидном обмене (Гинс, 2017), в

иммунных реакциях, входит в состав митохондрий (Колесников, 2001). Содержащийся в растении в большом количестве кальций отвечает за формирование костной ткани, эластичность мышц, здоровье кожных покровов, положительно воздействует на сердечно-сосудистую и нервную систему (Михеева, 2013). Калий отвечает за нормальное проведение электрических импульсов внутри клетки, поддержании осмотического давления, кислотно-основного и водного баланса организма (Погожева и др., 2020).

При оценке доли некоторых элементов в сумме минеральных компонентов в растительном сырье синюхи, выявлено, что в траве синюхи голубой, независимо от года вегетации, элементы присутствуют в равных долях с преобладанием К и Са (рис. 2).



Рис. 2. Доли наиболее важных элементов в минеральном комплексе синюхи голубой

Доли Са и Sr в сумме элементов надземных и подземной части растения сходны, но на Са в корневищах с корнями синюхи приходится большая часть (20,9% от всей суммы элементов). Кроме того, в растительном сырье и почвах с места культивирования синюхи голубой обнаружены элементы, содержащиеся в количествах менее 0,001 мкг/кг (Be, Ga, Tl, W, Au, а также, принад-

лежащие к классу лантаноидов: Er, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Yb, Tm, Eu, Lu).

В результате оценки коэффициента биологического накопления элементов травой и подземными органами синюхи голубой, зависимости между содержанием элементов в растительном сырье и почвах установлено не было. Выявлено, что к элементам сильного накопления в траве

синюхи голубой относятся Р, К, Са и Нг (табл. 2). В корневищах с корнями энергично накапливается Нг, а к сильно накапливаемым элементам относятся Р, Zn и Sr. Подобное различие в накоплении ртути между подземными и надземными органами растения может быть объяснено способностью тканей надземной части растения к поглощению паров ртути из атмосферного воздуха (Гордеева и др., 2012).

К элементам слабого накопления и среднего захвата для травы первого года заготовки относятся Mg, Cu, Zn, Se, Sr, Mo и Sb, на втором году жизни дополнительно захватываются Rb и Bi, в подземных органах – Li, Ca, K, Co, Cu, Ge, Rb, Mo, Sb, Bi, U и др.

Несмотря на то, что содержание токсичных элементов (ртути и др.) в растении находится на допустимом уровне, установленном нормативной документацией (см. табл. 1), – свинца не более 6,0 мг/кг, ртути не более 0,1 мг/кг, мышьяка не более 0,5 мг/кг, кадмия не более 1,0 мг/кг (ГФ РФ XIV, 2018), при дальнейшем культивировании растения необходимо учитывать факт способности к накоплению и захвату для данных элементов.

Анализ данных литературы по содержанию некоторых элементов, на примере подземных органов синюхи голубой, заготовленных в Брянской области (Ториков, 2017), позволил установить особенности накопления элементов, аналогичные описанным в настоящей работе (табл. 3).

**Таблица 2. Распределение элементов по их способности к накоплению в растительном сырье синюхи голубой**

Распределение элементов по Перельману	Трава, 2020 г.	Трава, 2021 г.	Корневища с корнями, 2021 г.
Энергично накапливаемые	–	–	Hg
Сильно накапливаемые	P, K, Ca, Hg	P, K, Ca, Hg	P, Sr
Слабого накопления и среднего захвата	Mg, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo	Mg, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Bi	Li, Na, Mg, K, Ca, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, As, Se, Rb, Mo, Bi, U
Слабого захвата	Li, Na, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ge, Rb, Cd, Sn, Tl, Bi, U	Li, Na, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ge, Cd, Sn, Tl, U	Be, Al, Si, Ti, Fe, Ga, Y, Zr, Nb, Cd, Sn, La, Ce, Pr, Nd, Tl

**Таблица 3. Сравнительный анализ содержания некоторых элементов в корневищах с корнями синюхи голубой, заготовленной в Воронежской и Брянской областях**

Элемент	Содержание, %	
	Корневища с корнями синюхи, Воронежская область	Корневища с корнями синюхи, Брянская область (Ториков, 2017)*
Натрий	1360,70	70,0
Магний	2903,20	1900,0
Фосфор	7478,70	4200,0
Калий	9977,20	19000,0
Кальций	15043,10	8100,0
Железо	2472,80	840,0
Кремний	4400,00	970,0
Алюминий	3497,90	2000,0
Стронций	95,51	62,0
Марганец	107,60	160,0
Медь	11,78	3,1
Никель	4,80	1,9
Цинк	98,06	17,0
Барий	40,25	46,0
Свинец	5,010	0,99
Ртуть	0,034	<0,05
Мышьяк	0,480	0,17
Кадмий	0,208	0,22

П р и м е ч а н и е : \* – литературные данные.

Среди макроэлементов наибольшей способностью накапливаться обладают К, Са и Р, среди микроэлементов – Al, Si и Mn. Необходимо отметить, что сырье, заготовленное в Брянской области, больше накапливает К, в то время как подземные органы, собранные в Воронежской области, интенсивнее накапливают Са. Для объяснения закономерностей накопления данных элементов проведен анализ типов почв, который показал, что в Бобровском районе Воронежской области присутствует преимущественно чернозем обыкновенный, в то время как в Унечском районе Брянской области – дерново-подзолистые почвы.

Согласно единому реестру почвенных ресурсов России (Единый государственный реестр почвенных ресурсов России, 2019), в состав дерново-подзолистых почв в наибольшем количестве входят соединения кремния (около 80%), алюминия (около 10%), Fe (около 2,7%) и К (около 2,3%), в составе исследуемых образцов почвы (черноземов обыкновенных) преобладают Si (около 30%), Al (около 3,8%), железо (около 2,7%), кальций (около 1,8%) и калий (около 1,4%).

Таким образом, показано, что элементный состав синюхи голубой частично зависит от состава почв, что необходимо учитывать при заго-

товке растительного сырья и закладывании участков для культивирования растения.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования проанализирован состав элементов травы и подземных органов синюхи голубой, заготовленной в Воронежской области. Установлены различия в их количественном содержании в зависимости от морфологической части растения и года вегетации. Выявлено, что все органы растения накапливают К, Са и Si. Показано, что ни в траве, ни в корневищах с корнями синюхи голубой количества токсичных элементов не превышают ПДК, установленные действующей нормативной документацией.

Расчет коэффициентов биологического накопления показал, что в траве синюхи способны накапливаться Р, К, Са и Hg, а в корневищах с корнями – Hg, Р, Zn и Sr.

Сравнительный анализ содержания некоторых элементов в подземных органах синюхи голубой, заготовленных в Воронежской и Брянской областях, показал зависимость содержания некоторых элементов в растении от их содержания в почве, что необходимо учитывать при культивировании и заготовке растительного сырья синюхи голубой.

## Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## Conflict of interest

The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

## ЛИТЕРАТУРА

- Атавуллаева Ш., Кароматов И.Д. Лекарственное растение синюха лазурная. Биология и интегративная медицина. 2018; 22(5): 67–72.
- Гинс В.К., Гинс М.С., Колесников М.П. Содержание кремния во фракциях растительного белка. Овощи России. 2017; 34(1): 64–66.
- Гордеева О.Н., Белоголова Г.А., Андрулайтис Л.Д. Биогеохимические особенности миграции ртути в системе «Почва – растение» Южного Прибайкалья. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2012; 3: 23–32.
- Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. 2018. Т. 4.
- Гудкова А.А., Чистякова А.С., Сливкин А.И., Сорокина А.А. Сравнительное изучение минерального комплекса травы горца почечуйного (*Polygonum persicaria* L.) и горца войлочного (*Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell). Микроэлементы в медицине. 2019; 20(1): 25–42.
- Дунилин А.Д., Тринеева О.В., Чистякова А.С., Гудкова А.А. Элементный состав каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.) цветков, произрастающего в Воронежской области. Микроэлементы в медицине. 2023; 24(3): 46–56.
- Дьякова Н.А. Особенности накопления макро- и микроэлементов в траве тысячелистника обыкновенного флоры Воронежской области. Человек и его здоровье. 2022; 2: 90–96.
- Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. 2019.
- Зеленков В.Н., Потапов В.В. Биологическая активность соединений кремния Часть 1. Природные и синтетические кремнийсодержащие соединения. Медико-биологические аспекты (обзор литературы). Вестник Российской академии естественных наук. 2016; 3–12.
- Колесников М.П. Формы кремния в растениях. Успехи биологической химии. 2001; 41: 301–332.

Колосова О.А., Тринеева О.В. Сравнительная оценка аккумуляции различных элементов из почвы сырьем валериан сомнительной и волжской, произрастающих на территории Воронежской области. *Микроэлементы в медицине*. 2022; 23(1): 54–66.

Лужанин В.Г., Куркин В.А., Гравель И.В. Качество лекарственных растительных препаратов: новые аспекты и решения. *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств*. 2023; 13(2): 128–133.

Мальцева А.А., Брежнева Т.А., Сорокина А.А. Разработка методики хроматографического определения полимониидов. *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2014; 14(4): 684–690.

Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Пироговская Г.В., Ермолович И.Е. Перспективы использования кремниевых препаратов в сельском хозяйстве (обзор научной литературы). *Почвоведение и агрохимия*. 2022; 68(1). 219–234.

Михеева Л.А., Брынских Г.Т., Миронычева Т.С. Сравнительный анализ содержания кальция в кальцийсодержащих фармацевтических препаратах и биологически активных добавках. *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2013; 1: 104–108.

Погожева А.В. Коденцова В.М. О рекомендуемом потреблении и обеспеченности населения калием и магнием. *РМЖ*. 2020; 28(3): 8–12.

Реут А.А., Денисова С.Г., Бекшенева Л.Ф., Аллаярова И.Н. Особенности накопления тяжелых металлов в некоторых представителях родов *Iris L.*, *Narcissus L.*, *Paeonia L.* *Аграрный вестник Урала*. 2023; 236 (7): 93–104.

Скобин М.И., Крюков Т.В., Феофанова М.А., Рясенский С.С. ИК-спектроскопическое исследование комплексного соединения церия (III) с высокомолекулярным гепарином. *Вестник ТвГУ. Серия "Химия"*. 2019. №4. 117–124 с.

Ториков В.Е., Мешков И.И. Особенности выращивания и элементный состав синюхи голубой (*Polemonium caeruleum L.*). *Пермский аграрный вестник*. 2017; 18(2): 120–125.

Шестакова Г.Ю., Гудкова А.А., Чистякова А.С. Агафонов В.А. Органические кислоты синюхи голубой. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2021; 138: 85–89.

Andrea C. Biological and biomedical applications of the lanthanides compounds: a mini review. *Proc. Rom. Acad., Series B*. 2017; 19(2): 69–74.

Palasz A., Czekaj P. Toxicological and cytophysiological aspects of lanthanides action. *Acta Biochim Pol.* 2000; 47(4): 1107–1114.

Zhang Q., O'Brien S., Grimm J. Biomedical Applications of Lanthanide Nanomaterials, for Imaging, Sensing and Therapy. *Nanotheranostics*. 2022; 6(2): 184–194.

## ELEMENTAL COMPOSITION OF GRASS AND RHIZOMES WITH ROOTS OF POLEMONIUM BLUE (*POLEMONIUM CAERULEUM L.*), CULTIVATED IN THE VORONEZH REGION

A.S. Chistyakova, A.S. Bolgov, G.Yu. Shestakova, A.A. Gudkova

Voronezh State University, Universitetskaya pl., 1, Voronezh, 394006, Russian Federation

**ABSTRACT.** The chemical composition of all plants is represented by components of both organic and mineral origin. The mineral complex affects the human body, includes various macroelements, trace elements, ultramicroelements, as well as toxic compounds. *Polemonium caeruleum L.* has long been approved for medical use, however, to date there is no data giving a complete picture of the mineral composition of the plant.

**The purpose of the study** is to investigate the elemental composition of the plant material of blue cornelian fern, cultivated in the Voronezh region.

**Materials and methods.** The objects of the work were dried samples of the grass of *Polemonium caeruleum L.* of the first and second years of vegetation, and a sample of rhizomata cum radicibus of *Polemonium caeruleum L.* of the second year of vegetation, prepared according to the rules of collection from cultivated plants in the city of Bobrov, Voronezh region. The mineral composition of the studied objects was studied by the method of chromatography-mass spectroscopy with inductively coupled plasma.

**Results.** The analysis of elements of the grass and rhizomata cum radicibus of *Polemonium caeruleum L.* cultivated in the Voronezh region was carried out. The elements in the grass of *Polemonium caeruleum L.*, regardless of the year of collection, are distributed as follows (in descending concentration): macroelements K>Ca>P>Mg>Na, in underground organs Ca>K>P>Mg>Na; trace elements in the grass of blue polemonium Si>Al>Fe>Sr>Mn>Zn, in underground organs Si>Al>Fe>Ti>Mn>Zn>Sr. Elements of strong accumulation in the grass of *Polemonium caeruleum L.* are P, K, Ca, Hg. In rhizomata cum radicibus, elements of strong accumulation include P, Zn, Sr. Toxic elements in the plant material of bluehead are at an acceptable level, however, with further cultivation of the plant it is necessary to take into account the fact of their ability to accumulate and capture by the plant.

**Conclusions.** The plant material of *Polemonium caeruleum L.* is a promising source of elements (in particular potassium, silicon, etc.) and can be recommended for diseases associated with their deficiency. The content of 58 elements

was determined by the chromatograph mass spectrometry method. Differences in the accumulation of elements depending on the morphological part of the plant, but also the year of vegetation were established.

**KEYWORDS:** *Polemonium caeruleum*, mineral components, elemental composition, chromato-mass spectroscopy, Perelman distribution.

**For citation:** Chistyakova A.S., Bolgov A.S., Shestakova G.Yu., Gudkova A.A. Elemental composition of grass and rhizomes with roots of polemonium blue (*Polemonium caeruleum* L.), cultivated in the Voronezh region. Trace elements in medicine. 2025;26(1):45–53. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-1-45-53

## REFERENCES

- Andrea C. Biological and biomedical applications of the lanthanides compounds: a mini review. Proc. Rom. Acad., Series B. 2017; 19(2): 69–74.
- Atavullaeva Sh., Karomatov I.D. Medicinal plant *Polemonium caeruleum* L. Biologija i integrativnaja medicina. 2018; 22: 67–72. (In Russ.).
- D'jakova N.A. Features of accumulation of macro- and microelements in the grass of common yarrow of the Voronezh region flora. Chelovek i ego zdorov'e. 2022: 90-96. (In Russ.). Gosudarstvennaja farmakopeja Rossijskoj Federacii. XIV izd. 2018; 4. (In Russ.).
- Dunilin A.D., Trineeva O.V., Chistjakova A.S., Gudkova A.A. [Elemental composition of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) flowers growing in the Voronezh region]. Mikrojelementy v medicine. 2023, 24;3:46-56. (in Russ.)
- Gins V.K., Gins M.S., Kolesnikov M.P. Silicon content in plant protein fractions. Ovoshhi Rossii. 2017; 34(1): 64–66. (In Russ.).
- Gordeeva O.N., Belogolova G.A., Andrulajtis L.D. Biogeochemical features of mercury migration in the Soil-plant system of the Southern Baikal region. Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Biologija. Jekologija. 2012; 3: 23–32. (In Russ.).
- Gudkova A.A., Chistjakova A.S., Slivkin A.I., Sorokina A.A. Comparative study of the mineral complex of the herb *Polygonum persicaria* L. and *Persicaria tomentosa* (Schrank) E.P. Bicknell). Mikrojelementy v medicine. 2019, 20;1:25-42. (in Russ.)
- Kolesnikov M.P. Forms of silicon in plants. Uspehi biologicheskoy himii. 2001; 41: 301–332. (in Russ.).
- Kolosova O.A., Trineeva O.V. Comparative assessment of the accumulation of various elements from the soil by raw materials of doubtful and Volga valerian growing in the territory of the Voronezh region. Mikrojelementy v medicine. 2022; 23(1): 54–66. (In Russ.).
- Luzhanin V.G., Kurkin V.A., Gravel' I.V. The quality of herbal medicines: new aspects and solutions. Vedomosti Nauchnogo centra jekspertizy sredstv medicinskogo primenenija Reguljatornye issledovanija i jekspertiza lekarstvennyh sredstv. 2023; 13(2): 128–133. (In Russ.).
- Mal'ceva A.A., Brezhneva T.A., Sorokina A.A. Development of a method for chromatographic determination of polymoniosides. Sorbicionnye i hromatograficheskie process. 2014; 14: 684–690. (In Russ.).
- Matychenkov V.V., Bocharnikova E.A., Pirogovskaja G.V., Ermolovich I.E. Prospects for the use of silicon drugs in agriculture (review). Pochvovedenie i agrohimiya. 2022; 1(68): 219–234. (In Russ.).
- Miheeva L.A., Brynskih G.T., Mironycheva T.S. Comparative analysis of calcium content in calcium-containing pharmaceutical preparations and dietary supplements. Ul'janovskij mediko-biologicheskij zhurnal. 2013; 1: 104–108. (in Russ.).
- Palasz A., Czekaj P. Toxicological and cytophysiological aspects of lanthanides action. Acta Biochim Pol. 2000; 47(4): 1107–1114.
- Pogozheva A.V., Kodentsova V.M. On the recommended consumption and provision of the population with potassium and magnesium. RMZh. 2020; 28(3): 8–12. (In Russ.).
- Reut A. A., Denisova S. G., Beksheneva L. F., Allajarova I. N. [Features of accumulation of heavy metals in some representatives of the genera *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L. Agrarnyj vestnik Urala. 2023; 236(7): 93–104. (In Russ.).
- Shestakova G.Ju., Gudkova A.A., Chistjakova A.S., Agafonov V.A. Organic acids of *Polemonium caeruleum* L. B'ulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada. 2021; 138: 85–91. (In Russ.).
- Skobin M.I., Krjukov T.V., Feofanova M.A., Rjasenskij S.S. IR spectroscopic study of the complex compound of cerium (III) with high molecular weight heparin. Vestnik TvGU. Serija "Himija". 2019; 4: 117–124. (In Russ.).
- The State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV ed. 2018; 4.
- Torikov V.E., Meshkov I.I. Features of cultivation and elemental composition of blue cyanosis cornflower (*Polemonium caeruleum* L.). Permskij agrarnyj vestnik. 2017; 2(18): 120–125. (In Russ.).
- Unified State Register of Soil Resources of Russia. 2019. (In Russ.)
- Zelenkov V.N., Potapov V.V. Biological activity of silicon compounds Part 1. Natural and synthetic silicon-containing compounds. Medical and biological aspects (review). Vestnik Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. 2016; 3–12. (in Russ.).
- Zhang Q., O'Brien S., Grimm J. Biomedical Applications of Lanthanide Nanomaterials, for Imaging, Sensing and Therapy. Nanotheranostics. 2022; 6(2): 184–194.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРОБЛЕМНЫЕ СТАТЬИ – TOPICAL PAPERS

<i>Рисник Д.В., Коденцова В.М.</i> МИКРОНУТРИЕНТЫ В ПИТАНИИ КОСМОНАВТОВ.....	3
<i>Risnik D.V., Kodentsova V.M.</i> MICRONUTRIENTS IN THE NUTRITION OF ASTRONAUTS .....	14
<i>Горбачев А.Л.</i> ЭКОЛОГО-МЕДИЦИНСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДЕФИЦИТА И ИЗБЫТКА ЙОДА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) .....	17
<i>Gorbachev A.L.</i> ECOLOGICAL AND MEDICAL PROBLEMS OF IODINE DEFICIENCY AND EXCESS (LITERATURE REVIEW) .....	21

### ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ – ORIGINAL PAPERS

<i>Степанова Е.М.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ ЖЕНЩИН ФЕРТИЛЬНОГО ВОЗРАСТА, ПРОЖИВАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЗОБНОЙ ЭНДЕМИИ .....	23
<i>Stepanova E.M.</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE HAIR OF REPRODUCTIVE WOMEN LIVING IN CONDITIONS OF GOITER ENDEMIC.....	29
<i>Бекетова Н.А., Кошелева О.В., Лебедева У.М., Жилинская Н.В., Михайлова Г.П.</i> ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЙОДОМ И ОТДЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ТЕЛА ПОЖИЛЫХ ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) .....	31
<i>Beketova N.A., Kosheleva O.V., Lebedeva U.M., Zhilinskaya N.V., Mikhailova G.P.</i> IODINE STATUS AND BODY COMPOSITION INDICATORS OF OLDER PERSONS LIVING IN REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA) .....	35
<i>Молчанов М.К., Нотова С.В.</i> ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕМЕНТНОГО ГОМЕОСТАЗА И МЕТАБОЛИЗМА КОСТНОЙ ТКАНИ У ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЯМИ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА ПЕРЕД ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ.....	37
<i>Molchanov M.K., Notova S.V.</i> INDICATORS OF ELEMENTAL HOMEOSTASIS AND BONE METABOLISM IN PATIENTS WITH DISORDER CARBOHYDRATE METABOLISM BEFORE DENTAL IPMPLANTATION .....	43
<i>Чистякова А.С., Болгов А.С., Шестакова Г.Ю., Гудкова А.А.</i> ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ТРАВЫ И КОРНЕВИЩ С КОРНЯМИ СИНЮХИ ГОЛУБОЙ, КУЛЬТИВИРУЕМОЙ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ .....	45
<i>Chistyakova A.S., Bolgov A.S., Shestakova G.Yu., Gudkova A.A.</i> ELEMENTAL COMPOSITION OF GRASS AND RHIZOMES WITH ROOTS OF POLEMONIUM BLUE (POLEMONIUM CAERULEUM L.), CULTIVATED IN THE VORONEZH REGION .....	52