

ЭССЕНЦИАЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ КРЕМНИЙ В ВОДАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

*Э.А. АГОЕВА^{1,2}, Л. С. ЛАМАШВИЛИ^{1,2}, Ю. А. МАЛКАНДУЕВ¹

¹ Научно-исследовательская лаборатория экологического контроля ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный университет, им. Х. М. Бербекова, РФ, *Нальчик, Россия*

² ФГБУ Кабардино-Балкарский государственный высокогорный заповедник, *п. Каухатау, Россия*

Резюме

Кремний, являясь незаменимым компонентом, содержится в природных водах в различных формах: растворимых солях, коллоидах и взвешенных частицах. Несмотря на то, что образование растворимых соединений кремния из кремнеземсодержащих минералов происходит медленно из-за гидролиза и выветривания, в некоторых водах его концентрация может превышать предельно допустимые нормы, что подтверждено научными исследованиями. Было проведено исследование концентрации кремния и диоксида кремния в водоёмах Кабардино-Балкарской Республики, которое является инновационным. Полученные результаты сравнивались с нормативными гигиеническими требованиями к водоёмам, пригодным для питья и рыбохозяйственного назначения. *Область научных исследований.* В рамках исследования для изучения были выбраны три ключевые геоморфологические зоны Кабардино-Балкарской Республики и девять административных единиц, расположенных на её территории: горная зона Эльбруса, предгорная зона Чегема и равнинная зона, включающая Баксанский, Терский, Прохладненский, Урванский, Майский, Лескенский и Нальчикский районы. *Цель исследования.* Исследование включало в себя определение санитарно-гигиенических нормативов содержания кремния в различных типах вод, установление точек отбора проб для водоёмов в различных геоморфологических зонах с последующей их фиксацией на карте-схеме в программе Аxiom 5, а также определение количественного содержания кремния (Si) и диоксида кремния (SiO₂). *Материал и методы.* Исследования кремния проводились спектрофотометрическим методом на приборе UNICO-2804 с образованием жёлтой молибденовой гетерополиокислоты и в виде синей (восстановленной) формы молибдокремниевой кислоты. *Результаты и обсуждение.* Согласно результатам исследования, Терский, Прохладненский и Майский районы являются лидерами по выявленным суммарным концентрациям кремния во всех изученных типах вод. Также превышения предельно допустимых концентраций для рыбохозяйственных водоёмов и питьевой воды были выявлены в 6 точках отбора проб в Терском и Прохладненском районах. *Выводы.* Было установлено, что превышение предельно допустимых концентраций кремния имеет естественную природу, связанную с геологией водосборного бассейна рек Малка и Терек.

Ключевые слова: Кабардино-Балкария; воды; кремний; ПДК; геоморфологические зоны

Для цитирования: Агоева Э. А., Ламашвили Л. С., Малкандуев Ю. А. Эссенциальный элемент кремний в водах Северного Кавказа. *Антибиотики и химиотерапия.* 2025; 70 (11–12): 18–23. doi: <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2025-70-11-12-18-23>. EDN: KBGUYR.

Essential Element Silicon in the Waters of the North Caucasus

*ELEONORA A. AGOEVA^{1,2}, LYUDMILA S. LAMASHVILI^{1,2}, YUSUF A. MALKANDUEV¹

¹ Scientific Research Laboratory of Environmental Control, Kabardino-Balkarian State University, named after H. M. Berbekov, *Nalchik, Russia*

² Kabardino-Balkarian State High Mountain Reserve, *Kashkhatau settlement, Russia*

Abstract

Background. Silicon, being an indispensable component, is found in natural waters in various forms: soluble salts, colloids, and suspended particles. Despite the fact that the formation of soluble silicon compounds from silica-containing minerals occurs slowly due to hydrolysis and weathering, its concentration in some waters may exceed acceptable standards, which is confirmed by scientific research. An innovative study on the concentration of silicon and silicon dioxide in reservoirs of the Kabardino-Balkarian Republic has been conducted. The obtained results were subjected to a comparative assessment with the regulatory hygienic requirements for reservoirs suitable for drinking and fishery use. The field of research. As part of the study, three key geomorphological zones of the Kabardino-Balkarian Republic and nine administrative units located on its territory were selected for study: the mountainous zone of Elbrus, the foothill zone of Chegema, and the plain zone, including Baksan, Tersky, Prokhladnensky, Urvansky, Maysky, Lesken, and Nalchik districts. *The aim of the study.* The research included the determination of sanitary and hygienic standards for the silicon content in different types of waters; the establishment of sampling points for water bodies in various geomorphological zones, followed by their fixation on a schematic map in the Axiom 5 program; as well as the determination of the quantitative content of silicon (Si) and silicon

*Адрес для корреспонденции:

E-mail: eleonora_agoeva@mail.ru



*Correspondence to:

E-mail: eleonora_agoeva@mail.ru



EDN: KBGUYR

dioxide (SiO₂). *Material and methods.* Silicon was analyzed using the spectrophotometric method on the UNICO-2804 device, with the formation of yellow silicolybdenum heteropoly acid and a blue (reduced) form of molybdosilicic acid. *Results and discussion.* According to the study results, the Tersky, Prokhladnensky, and Maysky districts are the leaders in terms of the detected total concentrations of silicon in all types of waters studied. Moreover, exceedances of the maximum permissible concentrations for fishery reservoirs (МРСр.х.) and drinking waters (МРСр.в.) were detected at 6 sampling points in the Tersk and Prokhladnensky districts. *Conclusions.* It has been determined that exceeding the maximum permissible concentrations for silicon is natural and is related to the geology of the catchment areas of the Malka and Terek basins.

Keywords: Kabardino-Balkaria; waters; silicon; MPC; geomorphological zones

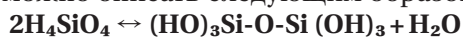
For citation: Agoeva E. A., Lamashvili L. S., Malkanduev Yu. A. Essential element silicon in the waters of the north caucasus. *Antibiotiki i Khimioter = Antibiotics and Chemotherapy.* 2025; 70 (11–12): 18–23. doi: <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2025-70-11-12-18-23>. EDN: KBGUYR. (in Russian)

Введение

Кремний (Si — лат. Silicium), химический элемент IV группы периодической системы Менделеева в природе представлен тремя стабильными изотопами: 28 Si (92,27%), 29 Si (4,68%) и 30 Si (3,05%). Кремний при среднем содержании его в литосфере равном 29,5 % (по массе) занимает 2-е место по распространённости в земной коре после кислорода.

Появление кремния в природных водах обусловлено процессами выветривания алюмосиликатных пород, разрушения растительного покрова и животных останков. При этом кремний в природных водах образует множество различных химических соединений и может существовать в следующих видах: во взвешенном (крупнодисперсном) — песок, глина; коллоидном (диспергированном) — кремниевая кислота и растворённом — силикаты калия и натрия. Преобладающими видами кремния в природной воде являются молекулярно-дисперсные соединения, такие как ортокремниевая кислота (H₄SiO₄)₂. Кроме того, в природных водах могут присутствовать мета кремниевая кислота (H₂SiO₃) и димерные формы этих кислот (H₂Si₂O₅ и H₁₀Si₂O₉), при этом кремниевые кислоты нестабильны в водных растворах.

Поликонденсация кремниевых кислот происходит за счёт реакционной способности силанольных групп (Si-OH)₃, химическая реакция которой можно описать следующим образом [1, 2]:



Наиболее распространённой формой кремния в биосфере является кремнезём (SiO₂).

Из-за медленного процесса образования растворимых силикатов при воздействии воды и выветривании кремниесодержащих горных пород, концентрация кремния в природных водах невысока. Речные воды обычно содержат от 1 мг до 20 мг кремния на литр, подземные воды — от 5 мг до 40 мг/л, а лишь в исключительных случаях, например в горячих термальных источниках, концентрация может вырастать до сотен миллиграммов на литр [3, 4].

Кремний, важный элемент для организма, присутствует в пищевых продуктах, причём в наибольших концентрациях он встречается в растительной пище, так, например, овсяная крупа и ячмень содержат 3,9–4,3 г/кг и 2,6–2,7 г/кг соот-

ветственно. В овощах, фруктах, особенно в бобовых и бананах, кремний также присутствует в значительных количествах, в то время как его уровень в белковых продуктах, таких как мясо и молочные продукты, заметно ниже [5, 6].

Китай и Индия лидируют по содержанию кремния в рационах своих жителей, которые в среднем потребляют от 140 мг до 277 мг кремния в день. Такой высокий уровень обусловлен традиционной богатой растительной диетой, включающей в себя зерновые, овощи и фрукты [7–9].

Одной из многообещающих стратегий обогащения продуктов питания различными микроэлементами является биофортификация. Так, биофортификация кремнием с использованием силиката калия доказала эффективное увеличение содержания минералов в овощах. Кроме того, его возможная роль в качестве защитника растений и способность улучшать минеральный статус растений делают его ключевым элементом в программах биофортификации [10, 11].

Кремний играет важную роль в поддержании здоровья человека, включая минерализацию костей, синтез коллагена, борьбу со старением, регуляцию активности антиоксидантных ферментов и снижение риска развития атеросклероза и неврологических заболеваний [2].

Кремний является универсальным элементом, присутствующим во всех тканевых и органических структурах растений, животных и человека. У человека его повышенное содержание отмечается в соединительной ткани, в частности, в стенках аорты и трахеи, сухожилиях, костной ткани, дерме и производных эпидермиса [12–14].

Наиболее важным и необходимым микроэлементом в рационе человека после железа и цинка является кремний. Так, согласно методическим рекомендациям МР РФ 2.3.1.2432-08, ежедневно рекомендованной дозой кремния для организма человека является 20–30 мг [10, 15].

Значительная часть кремния, который мы получаем из еды и питья, а именно около 20%, поступает к нам через питьевую воду и напитки [5, 6, 16]. Кремний распределяется в организме неравномерно: наибольшая его концентрация наблюдается в костях, тогда как в крови (сыворотке и эритроцитах) его содержание минимально [7, 17].

Всасывание кремния в желудочно-кишечном тракте происходит лишь частично (около 50%), и его усвояемость зависит от растворимости в пище. Например, алюмосиликаты усваиваются всего ~1%, в то время как ортокремниевая кислота (включая ту, что образуется при гидролизе диоксида кремния) усваивается гораздо лучше — от 30 до 80% [5, 17].

Хотя кремний является одним из самых распространённых микроэлементов (после железа и цинка), его точная роль в организме, принципы его работы до сих пор не до конца изучены [5–16]. Отчасти это связано с недостатком в методическом обеспечении оценки статуса кремния в организме человека и животных [7, 17, 18], так как данных для обоснования рекомендаций по физиологической норме кремния всё ещё недостаточно [5, 16].

Биологическая значимость кремния в организме человека очевидна, т. к. он участвует в синтезе гликозаминогликанов, эластина и коллагена, образующих остов соединительной ткани. Так, дефицит кремния в организме приводит к изменению регулярной трабекулярной структуры костной системы. Также доказано, что кремний предупреждает развитие нейродегенеративных изменений в организме человека снижая риск развития болезни Альцгеймера, а также образование атеросклеротических бляшек [7, 19–23].

Однако, как показывают исследования [24, 25] кремний «двуликкий» эссенциальный элемент, обладающий как биологической ценностью для здоровья человека, так и неблагоприятным своим воздействием. Известно, что мелкодисперсные частицы кремния являются токсичными при вдыхании, вызывая в дальнейшем силикоз и даже рак лёгких [19, 26, 27]. Таким образом, вредное воздействие на бронхолёгочную систему человека кремнием очевидно, но однозначного мнения о токсичности его при энтеральном поступлении до сих пор не выявлено и в особенности в сфере водопользования. Также у специалистов нет единого мнения в установлении порогового значения ПДК для различных типов вод.

В виду того, что основное количество кремния попадает в организм через воду, данная проблема является актуальной в особенности, где в водоносных горизонтах залегают кремний-содержащие породы.

Цель исследования. В связи с выявленной биологической важностью соединений кремния впервые на территории Кабардино-Балкарской республики (КБР) проведены исследования целью которых стало изучение химического состава различных типов вод по содержанию кремния и диоксида кремния в горной, предгорной и равнинной частях КБР за период с 2024 г. по 2025 г. Анализ водных образцов проводился на соответствие требованиям гигиенических норматив РФ.

Материал и методы

Местом проведения исследований явилась научно-исследовательская лаборатория экологического контроля ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова.

Задачи исследований:

- определение санитарно-гигиенических норм содержания кремния в различных водах;
- определение пунктов отбора проб водных образцов в разных геоморфологических зонах с нанесением их на карту-схему в программе Аксиома 5;
- определение концентраций кремния — Si и диоксида кремния — SiO₂;

Район исследования. Объектами исследований стали водные образцы из поверхностных, питьевых источников, а также водокачек следующих геоморфологических зон из 9 районов Кабардино-Балкарской республики (КБР): высокогорье — Эльбрусский; предгорье — Чегемский; равнина — Баксанский, Терский, Прохладненский, Урванский, Майский, Лескенский и Нальчикский районный округ.

Исследуемые нами районы КБР относятся к Северо-Кавказскому федеральному округу, бассейну реки Терек и охватили все геоморфологические зоны.

Исследования содержания кремния в водах КБР не проводились и в рамках реализации данного проекта ранее были опубликованы исследования [28, 29]. В данных работах авторы попытались выявить взаимосвязь между содержанием кремния в исследуемых водах с урוליгиазом населения некоторых районов КБР, и что незначительные превышения предельно допустимых концентраций (ПДК_{р.х./п.в.}) являются природным геохимическим фоном.

Измерения концентрации кремния в водных образцах проводились спектрофотометрическим методом на приборе UNICO-2804.

Результаты

Результаты проведённых исследований представлены в виде таблиц (табл. 1–4).

Согласно анализу нормативно-технической документации, ПДК кремния в различных типах вод отличается (см. табл. 1).

Согласно исследованиям (см. табл. 2), распределение средних суммарных значений массовой концентрации кремния в различных типах вод выглядит следующим образом:

**Водокачки воды (9,8 мг/л) >
Речные воды (6,8 мг/л) >
Питьевые воды (5,3 мг/л).**

Анализ распределения массовой концентрации кремния в водах (см. табл. 3) показал, что наибольшие концентрации определены в трёх районах КБР — Терский, Прохладненский, Майский и превышения ПДК_{р.х.} и ПДК_{п.в.} были определены в 5 пунктах отбора проб — Терский и Прохладненский (см. табл. 4).

Выводы

1. Терский и Прохладненский районы являются лидерами по выявленным средним концентрациям кремния в исследуемых водах.

Таблица 1. Нормативы качества вод на массовую концентрацию кремния

Table 1. Water quality standards for mass concentration of silicon

Приказ Министерства сельского хозяйства РФ №552 от 13.12.2006 г. рыбохоз. назначение (ПДК – 10 мг/дм ³ для SiO ₂)	СанПиН 1.2.3685 — ПДК составляет 25,0 мг/дм ³ по Si, при жёсткости до 2,5 мг-экв/дм ³ ; — ПДК составляет 20,0 мг/дм ³ по Si при жёсткости более 2,5 мг-экв/дм ³	ГН 2.1.5.1315-03 (Предельно допустимая концентрация 10 мг/дм ³ по Si) / GN 2.1.5.1315-03
--	---	--

Таблица 2. Содержание кремния и диоксида кремния в водных образцах

Table 2. The content of silicon and silicon dioxide in water samples

№	Пункт отбора	Концентрация, мг/дм ³	
		Si	SiO ₂
Поверхностные воды			
1	Эльбрусский р-он, с. Тырныауз — р. Баксан	3,0±0,72	2,57
2	Эльбрусский р-он, с. Кёнденен — р. Баксан	4,15±1,0	8,87
3	Баксанский р-он, с. Исламей — р. Баксан	3,3±0,8	7,05
4	Баксанский р-он, г. Баксан — р. Малка	3,8±0,9	8,1
5	Нальчикский районный округ, с. Хасанья — р. Хасанья	3,0±0,7	6,4
6	Лескенский р-он, с. п. Второй Лескен — р. Лескен	2,9±0,7	6,2
7	Прохладненский р-он, с. Карагач — р. Малка	13,9±2,8	29,7
8	Терский р-он, с. Новая Балкария — р. Терек	20,4±4,1	43,7
Питьевые воды			
9	Эльбрусский р-он, г. Тырныауз	6,85±1,3	14,6
10	Эльбрусский р-он, с. Кёнденен	3,6±0,88	7,75
11	Баксанский р-он, г. Баксан	0,5±0,1	1,0
12	Баксанский р-он, с. Исламей	5,7±1,1	12,2
13	Баксанский р-он, с. п. Куба	4,3±1,0	9,2
14	г. о. Нальчик, р-он Стрелка	6,0±1,2	12,9
15	Нальчикский районный округ, с. Хасанья	5,1±1,0	10,9
16	Нальчикский районный округ, г. Нальчик, с. Кенже	3,7±0,9	8,0
17	Лескенский р-он, с. п. Второй Лескен	5,3±1,1	11,3
18	Урванский р-он, с. Старый Черек	0,88±0,2	1,9
19	Урванский р-он, г. Нарткала	3,4±0,8	7,3
20	Урванский р-он, с. Кахун	3,4±0,8	7,3
21	Прохладненский р-он, с. Карагач	9,35±1,8	20,0
22	Прохладненский р-он, с. Алтуд	3,5±0,8	7,6
23	Терский р-он, с. п. Нижний Акбаш	15,1±3,0	32,3
24	Терский р-он, с. Новая Балкария	8,4±1,6	18,0
Воды водокачек			
25	Чегемский р-он, г. п. Чегем	4,2±1,0	9,1
26	Терский р-он, с. п. Нижний Акбаш	13,5±2,7	28,8
27	Терский р-он, с. Новая Балкария	13,7±2,7	29,4
28	Майский р-он, г. Майский	7,9±1,5	16,9

Таблица 3. Распределение массовой концентрации кремния

Table 3. Distribution of silicon mass concentration

Все типы вод	
Терский (27,1%/14,2 мг/дм ³) > Прохладненский (17,0%/8,9 мг/дм ³) > Майский (15,0%/7,9 мг/дм ³) > Эльбрусский (8,4%/4,4 мг/дм ³) > Нальчикский (8,0%/4,2 мг/дм ³) > Чегемский (8,0%/4,2 мг/дм ³) > Лескенский (7,8%/4,1 мг/дм ³) > Баксанский (6,7%/3,5 мг/дм ³) > Урванский (1,7%/0,9 мг/дм ³)	
Поверхностные воды	
Терский (20,4 мг/дм ³) > Прохладненский (13,9 мг/дм ³) > Эльбрусский (3,57 мг/дм ³) > Баксанский (3,55 мг/дм ³) > Нальчикский (3,0 мг/дм ³) > Чегемский (2,9 мг/дм ³)	
Питьевые воды	
Терский (11,75 мг/дм ³) > Прохладненский (6,4 мг/дм ³) > Чегемский (5,3 мг/дм ³) > Эльбрусский (75,2 мг/дм ³) > Нальчикский (4,9 мг/дм ³) > Баксанский (3,5 мг/дм ³) > Урванский (2,56 мг/дм ³)	
Воды водокачек	
Терский (13,6 мг/дм ³) > Майский (7,9 мг/дм ³) > Чегемский (4,2 мг/дм ³)	

Таблица 4. Превышения предельно допустимой концентрации (во сколько раз) в водных образцах
Table 4. Exceedances of the maximum permissible concentration (in times) in water samples

№	Пункт отбора	Превышение ПДК		
		Рыбохоз. назначения	СанПиН 1.2.3685	ГН 2.1.5.1315-03
Поверхностные воды				
7	Прохладненский р-он, с. Карагач — р. Малка	2,9	—	1,3
8	Терский р-он, с. Новая Балкария — р. Терек	4,3	1,0	2,0
Питьевые воды				
23	Терский р-он, с. п. Нижний Акбаш	—	—	1,5
Воды водокачек				
26	Терский р-он, с. п. Нижний Акбаш	—	—	1,3
28	Терский р-он, с. Новая Балкария	—	—	1,3

2. Превышения ПДК_{р.х.} для SiO₂ в 2,9 раза и 4,3 раза были выявлены в 2 пунктах отбора проб, а именно в Прохладненском районе, с. Карагач — р. Малка (№ 7) и в Терском районе, с. Новая Балкария — р. Терек (№8) соответственно.

3. Превышение ПДК_{п.в.} от 1,3 до 2,0 раз было выявлено в 4 пунктах отбора проб: Прохладненский район, с. Карагач — р. Малка (№ 7), Терский район, с. Новая Балкария — р. Терек (№ 8), с. Нижний Акбаш (№ 26), с. Новая Балкария (№ 28).

Заключение

Определено, что превышение ПДК_{р.х./п.в.} по кремнию носит природный характер, связанный с геологией водосборов бассейнов р. Малка и р. Терек. Проведение дальнейших мониторинговых исследований по содержанию кремния и диоксида кремния в различных типах вод КБР позволит выявить корреляционные взаимосвязи

с различными заболеваниями, такими как, например, нефрозы и деменция, а также усовершенствовать системы подготовки питьевых вод для нужд населения, отвечающих гигиеническим требованиям качества.

Дополнительная информация

Благодарности/финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке внутреннего гранта ФГБОУ ВО КБГУ им. Х. М. Бербекова (Договор № 11).

Участие авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Additional information

Acknowledgments/Funding. This study was funded by the Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov (grant No. 11).

Author Contributions. All authors contributed equally to the preparation of this publication.

Литература/References

- Kambalina M., Mazurova I., Skvortsovab L., Gusevaa N., Ana V. Study of aqueous chemical forms of silicon in organic-rich waters. *Procedia Chemistry* 10. 2014. 36–42. doi: <http://doi.org/10.1016/j.proche.2014.10.008>.
- Zhu Q., Chen B., Zhang F., Zhang B., Guo Y., Pang M., Huang L and Wang T. Toxic and essential metals: metabolic interactions with the gut microbiota and health implications. *Front Nutr.* 2024.11: 1448388. doi: 10.3389/fnut.2024.1448388.
- Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия. 1970. [The Great Soviet Encyclopedia. Moscow: Soviet Encyclopedia. 1970. (in Russian)]
- Рахманин Ю. А., Егорова Н. А., Красовский Г. Н., Михайлова Р. И., Алексеева А. В. Кремний, его биологическое действие при энтеральном поступлении в организм и гигиеническое нормирование в питьевой воде. Обзор литературы. *Гигиена и санитария.* 2017; 96 (5): 492–498. doi: <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-492-498>. [Rakhmanin Yu. A., Egorova N. A., Krasovsky G. N., Mikhailova R. I., Alekseeva A. V. Silicon: its biological impact under dietary intake and hygienic standardization of its content in drinking water. A review. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian Journal).* 2017; 96 (5): 492–498. doi: <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-492-498>. (in Russian)]
- Opinion of the Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food on calcium silicate, silicon dioxide and silicic acid gel added for nutritional purposes to food supplements following a request from the European Commission. *The E. FSA Journal.* 2009; 1132: 1–24.
- Robberecht H., Van Cauwenbergh R., Van Vlaslaer V., Hermans N. Dietary silicon intake in Belgium: sources, availability from foods, and human serum levels. *Sci Total Environ.* 2009. 407 (16): 4777–82. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.05.019.
- Price C. T., Koval K. J., Langford J. R. Silicon: a review of its potential role in the prevention and treatment of postmenopausal osteoporosis. *Int J Endocrinol.* 2013; 316783. doi: 10.1155/2013/316783.
- Chen F., Cole P., Wen L., Mi Z., Trapido E. J. Estimates of trace element intakes in Chinese farmers. *J Nutr.* 1994. 124 (2): 196–201. doi: 10.1093/jn/124.2.196.
- Anasuya A., Vapurao S., Paranjape P. K. Fluoride and silicon intake in normal and endemic fluorotic areas. *J Trace Elem Med Biol.* 1996; 10 (3): 149–55. doi: 10.1016/S0946-672X (96)80025-3.
- Buturi C. V., Mauro R. P., Fogliano V. Mineral biofortification of vegetables as a tool to improve human diet. *Foods.* 2021; 10, 223. doi: 10.3390/foods10020223.
- Sadovskaya A., Svidersky F. Sources, bioavailability and safety of silicon obtained from food and other sources added for food purposes in food additives and functional foods. *Appendix Sci.* 2020; 10: 6255. doi: 10.3390/app10186255.
- Воронков М. Г., Кузнецов И. Г. Кремний в живой природе. Новосибирск: Наука. 1984. [Voronkov M. G., Kuznetsov I. G. Silicon in wildlife. Novosibirsk: Nauka Publ. 1984. (in Russian)]
- Вапиров В. В., Феоктистов В. М. К вопросу о поведении кремния в природе и его биологической роли. Учёные записки Петрозаводского государственного университета. 2017; 95–102. [Vapirova V. V., Feoktistov V. M., Venskovich A. A., Vapirova N. V., On the behavior of silicon in nature and its biological role. *Scientific notes of Petrozavodsk State University.* 2017; 95–102. (in Russian)]
- Zhu Q., Chen B. Toxic and essential metals: metabolic interactions with the gut microbiota and health implications. *Front Nutr.* 2024; 11: 1448388. doi: 10.3389/fnut.2024.1448388.
- MP 2.3.1.2432-08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. [MP 2.3.1.2432-08 Normy fiziologicheskikh potrebnostey v

- energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossijskoj Federatsii. (in Russian)]
16. Expert Group on Vitamins and Minerals. Safe upper levels for vitamins and minerals. London: Food Standards Agency. 2003. URL: <https://cot.food.gov.uk/sites/default/files/vitmin2003.pdf>
 17. Jugdaohsingh R., Tucker K. L., Qiao N., Cupples L. A., Kiel D. P., Powell J. J. Dietary silicon intake is positively associated with bone mineral density in men and premenopausal women of the Framingham Offspring cohort. *J. Bone Miner. Res.* 2004; 19 (2): 297–307. doi: 10.1359/JBMR.0301225.
 18. Martin K. R. Silicon: the health benefits of a metalloid. *Met Ions Life Sci.* 2013; (13): 451–73. doi: 10.1007/978-94-007-7500-8_14.
 19. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементы в организме человека: этиология, классификация, органопатология. М.: Медицина. 1991; 496. [Avtsyn A. P., Zhavoronkov A. A., Rish M. A., Strochkova L. S. Human trace elements: etiology, classification, organopathology. Moscow: Meditsina. 1991; 496. (in Russian)]
 20. Мансурова Л. А., Федчишин О. В., Трофимов В. В., Зеленина Т. Г., Смолакуланко Л. Е. Фармакологическая роль кремния. *Сибирский медицинский журнал.* 2009; (7): 16–18. [Mansurova L. A., Fedchishin O. V., Trofimov V. V., Zelenina T. G., Smolyanko L. E. Physiological role of silicon. *Sibirskiy Meditsinskiy Zhurnal.* 2009. (7): 16–18. (in Russian)]
 21. Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. Техасский технологический университет. Лаббок, США, Университет Говарда, Вашингтон, США, Федеральное государственное учреждение науки «Институт токсикологии» Федерального медико-биологического агентства России, Институт биоэлементологии государственного образовательного учреждения «Оренбургский государственный университет». Санкт-Петербург: Наука, 2008; 542. <https://elibrary.ru/item.asp?id=19498250>. [Oberlis D., Kharland B., Skal'nyj A. The Biological Role of Macro and Trace Elements in Man and Animals. Tekhasskij tekhnologicheskij universitet. Labbok, SSHa, Universitet Govarda, Vashington, SSHa, Federal'noe gosudarstvennoe uchrezhdenie nauki «Institut toksikologii» Federal'nogo mediko-biologicheskogo agentstva Rossii, Institut bioelementologii gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya «Orenburgskij gosudarstvennyj universitet». St. Peterburg: Nauka, 2008; 542. <https://elibrary.ru/item.asp?id=19498250>. (in Russian)]
 22. Farooq M. A., Dietz K.-J. Silicon as versatile player in plant and human biology: overlooked and poorly understood. *Front. Plant Sci.* 2015. 6: 994. doi: 10.3389/fpls.2015.00994.
 23. Jurkić L. M., Sepanec I., Pavelić S. K., Pavelić K. Biological and therapeutic effects of orthosilicic acid and some orthosilicic acid-releasing compounds: New perspectives for therapy. *Nutr Metab (Lond).* 2013; 10 (1): 2. doi: 10.1186/1743-7075-10-2.
 24. Лазарев Н. В., Гадаскина И. Д. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Том 3. Неорганические и элементоорганические соединения. Ленинград: Химия. 1977. [Lazarev N. V., Gadaskina I. D. Harmful substances in industry. Handbook for chemists, engineers, and doctors. Vol. 3. Inorganic and organoelement compounds. Leningrad: Khimiya. 1977. (in Russian)]
 25. Мазеев В. Т. Оценка степени санитарной опасности соединений кремния в природной и питьевой воде. *Водоснабжение и санитария.* 2011; 7: 13–20. [Mazaev V. T. Assessment of the degree of sanitary danger of silicon compounds in natural and drinking water. *Water Supply and Sanitary Engineering.* 2011; 7: 13–20. (in Russian)]
 26. Garcimartín A., Merino J., González M. P., Sánchez-Reus M. I. et al. Organic silicon protects human neuroblastoma SH-SY5Y cells against hydrogen peroxide effects. *BMC Complement Altern Med.* 2014. 14: 384. doi: 10.1186/1472-6882-14-384.
 27. Wasick A., Kim Y. Association between the composition of drinking water and cognitive function in the elderly: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health.* 2024; 21: 362. doi: 10.3390/ijerph21030362.
 28. Хоконова Л. Т., Арамисова Р. М., Камбачокова З. А., Агоева Э. А., Ламашвили Л. С., Болотокова Л. С., Тлизамова Д. А., Маремшаова Н. А., Зумакулова Д. А., Даов И. Х., Мамаева З. И., Кальянов А. З., Шугушев Т. А. Социально-гигиенические аспекты заболеваемости населения мочекаменной болезнью и пути профилактики. *Антибиотики и химиотерапия.* 2025. 70 (3–4): 60–64. doi: <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2025-70-3-4-60-64>. EDN: PYYFOM. [Khokonova L. T., Aramisova R. M., Kambachokova Z. A., Agoeva E. A., Lamashvili L. S., Bolotokova L. S., Tlizamova D. A., Maremsaova N. A., Zumakulova D. A., Daov I. K., Mamayeva Z. I., Kalyanov A. Z., Shugushev T. A. The social and hygienic aspects of the morbidity of the population with urolithiasis and prevention measures. *Antibiotiki i Khimioter = Antibiotics and Chemotherapy.* 2025; 70 (3–4): 60–64. doi: <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2025-70-3-4-60-64>. EDN: PYYFOM. (in Russian)]
 29. Агоева Э. А., Ламашвили Л. С. и др. Содержание кремния и диоксида кремния в поверхностных водах Кабардино-Балкарской республики. *Геология, география и глобальная энергия.* 2025; 2 (97): 39–45. ISSN 2077-6322. doi: <https://doi.org/10.54398/2077-6322.2025.97.2.005>. [Agoeva E. A., Lamashvili L. S. and others. The content of silicon and silicon dioxide in the surface waters of the Kabardino-Balkarian Republic. *Geology, Geography and Global Energy.* 2025; 2 (97): 39–45. ISSN 2077-6322. doi: <https://doi.org/10.54398/2077-6322.2025.97.2.005>. (in Russian)]

Поступила / Received 01.11.2025

Принята в печать / Accepted 15.11.2025

Информация об авторах

Агоева Элеонора Анатольевна — старший научный сотрудник, Научно-исследовательская лаборатория экологического контроля ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный университет, им. Х. М. Бербекова, Нальчик; ФГБУ Кабардино-Балкарский государственный высокогорный заповедник, п. Кашхатау, Россия

Ламашвили Людмила Сайрамбаевна — научный сотрудник, зав. научно-исследовательской лабораторией экологического контроля ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный университет, им. Х. М. Бербекова, Нальчик; ФГБУ Кабардино-Балкарский государственный высокогорный заповедник, п. Кашхатау, Россия

Малкандуев Юсуф Ахматович — д. х. н., профессор, зав. кафедрой органической химии и высокомолекулярных соединений института математики и естественных наук ВО Кабардино-Балкарский государственный университет, им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Россия

About the authors

Eleonora A. Agoeva — Senior Researcher, Scientific and Research Laboratory of Environmental Control, Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov, Nalchik; Kabardino-Balkarian State High Mountain Reserve, Kaskhatau settlement, Russia

Lyudmila S. Lamashvili — Researcher, Head of Department of the Scientific Research Laboratory of Environmental Control, Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov, Nalchik, Kabardino-Balkarian State High-altitude Nature Reserve, Kaskhatau settlement, Russia

Yusuf A. Malkanduev — D. Sc. in Chemistry, Professor, Head of the Department of Organic Chemistry and High Molecular Weight Compounds, Institute of Mathematics and Natural Sciences, Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov, Nalchik, Russia