

РАЗДЕЛ VI. ОБЗОРЫ

УДК 613:574.2:546.28

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ИЗУЧЕНИЯ БАЛАНСА КРЕМНИЯ В БИОСИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК – СРЕДА ОБИТАНИЯ»

А. Г. Коледа

Государственное учреждение образования «Белорусская
медицинская академия последипломного образования»,
г. Минск, Республика Беларусь

TO THE QUESTION OF THE NEED TO STUDY THE BALANCE OF SILICON IN THE BIOSYSTEM «HUMAN – ENVIRONMENT»

A. G. Koleda

Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education,
Minsk, Belarus

Реферат.

Биологическая роль кремния в организме человека до конца не выяснена, но считается, что он необходим для процессов минерализации костной ткани, синтеза коллагена, оказывает положительное действие на состояние кожи, волос и ногтей, способствует предупреждению атеросклероза и болезни Альцгеймера. Основными источниками его поступления являются вода и некоторые пищевые продукты, особенно растительного происхождения. Как и для любого другого минерала, для кремния важен баланс содержания в организме и оптимальное поступление. При этом при кажущейся широкой распространенности данного микроэлемента в ряде случаев может возникнуть его дефицит в объектах среды обитания.

Цель исследования: на основании анализа данных о биогеохимической распространенности кремния оценить целесообразность изучения его баланса в биосистеме «человек-среда обитания» на территории Республики Беларусь.

Материал и методы. Материалом для анализа послужили источники литературы из библиографических баз PubMed, ELibrary, КиберЛенинка.

Результаты исследования. В ходе анализа литературных данных установлено, что, несмотря на широкую распространенность кремния в литосфере, до сих пор до конца не ясными остаются его функциональное значение, биологическая роль и детали метаболизма. Существует мнение, что он необходим для процессов минерализации костной ткани, синтеза коллагена, оказывает положительное действие на состояние кожи, волос и ногтей, способствует предупреждению атеросклероза и болезни Альцгеймера. Однако отмечается, что недостаток кремния – явление достаточно редкое. При его дефиците могут наблюдаться недостаточная активность лейкоцитов при инфекционном процессе, плохое заживление ран, снижение аппетита, кожный зуд, снижение эластичности тканей, снижение тургора кожи, повышение проницаемости сосудов и, как следствие, – геморрагические проявления.

Наряду с положительным значением кремния для здоровья в литературе рассматриваются вопросы, связанные с его неблагоприятным влиянием на человека. Так, например, целый ряд работ В.Л. Сусликова, С.П. Сапожникова, Н.В. Толмачевой, Н.А. Агаджаняна и других был посвящен оценке причинно-следственных связей краевой патологии и микроэлементного состава воды у жителей кремниевой биогеохимической провинции Чувашии.

Показано, что из верхних горизонтов подзолистых почв идет активный вынос доступного растениям кремния в нижние горизонты. Поэтому кислые, сильно выщелоченные почвы бедны его активными формами и характеризуются низким уровнем плодородия. Использование почв в сельском хозяйстве нарушает баланс питательных элементов, поскольку значительная их часть безвозвратно отчуждается с урожаем. Нарастающий дефицит кремния в сельскохозяйственных почвах вызывает ряд негативных последствий, так как он является не только питательным, но и конструктивным элементом. Нельзя не отметить важную роль кремния и для растений. В реальной полевой обстановке, где могут проявляться многообразные

стрессовые ситуации биотического (болезни, вредители и др.) и абиотического характера (низкие или высокие температуры, избыток солей и тяжелых металлов в почве, засуха и др.), кремний выполняет особую защитную функцию. Лишенные данного минерала растения более склонны к нарушениям роста, развития и размножения. Это единственный питательный элемент, который не нарушает состояние растений при его избытке.

Выводы. Таким образом, показано значительное влияние оптимального состояния кремния на состояние почв, рост и развитие растительных культур. Остается открытым вопрос влияния кремния на организм человека при наличии отдельных данных о негативном влиянии как его дефицита, так и избытка.

Ключевые слова: кремний, объекты среды обитания, организм человека.

Abstract.

The biological role of silicon in the human body has not been fully elucidated, but it is believed that it is necessary for the processes of bone tissue mineralization, collagen synthesis, has a positive effect on the condition of the skin, hair and nails, and helps prevent atherosclerosis and Alzheimer's disease. The main sources of its intake are water and some food products, especially of plant origin. As with any other mineral, the balance of content in the body and optimal intake are important for silicon. At the same time, with the seeming wide prevalence of this microelement, in some cases, its deficiency in habitat objects may occur.

Objective. Based on the analysis of data on the biogeochemical abundance of silicon, to assess the feasibility of studying its balance in the biosystem "human-environment" on the territory of the Republic of Belarus.

Material and methods. The material for the analysis was the literature sources from the bibliographic databases PubMed, ELibrary, CyberLeninka.

Results. In the course of the analysis of literature data, it was found that, despite the wide occurrence of silicon in the lithosphere, its functional significance, biological role, and details of metabolism

are still not completely clear. There is an opinion that it is necessary for the processes of bone tissue mineralization, collagen synthesis, has a positive effect on the condition of the skin, hair and nails, and helps prevent atherosclerosis and Alzheimer's disease.

However, it is noted that the lack of silicon is a rather rare phenomenon. With its deficiency, weak activity of leukocytes during the infectious process, poor wound healing, decreased appetite, skin itching, decreased tissue elasticity, reduced skin turgor, increased vascular permeability and, as a result, hemorrhagic manifestations can be observed.

Along with the positive value of silicon for health, the literature discusses issues related to its adverse effects on humans. So, for example, a number of works by V.L. Suslikova, S.P. Sapozhnikova, N.V. Tolmacheva, N.A. Agadzhanyan and others was devoted to the assessment of causal relationships of regional pathology and microelement composition of water among residents of the silicon biogeochemical province of Chuvashia. It is shown that from the upper horizons of podzolic soils there is an active removal of silicon available to plants to the lower horizons.

Therefore, acidic, highly leached soils are poor in its active forms and are characterized by a low level of fertility. The use of soils in agriculture disrupts the balance of nutrients, since a significant part of them is irretrievably alienated with the harvest. The growing deficiency of silicon in agricultural soils causes a number of negative consequences, since it is not only a nutritious, but also a constructive element.

It is impossible not to note the important role of silicon for plants. In a real field situation, where various stressful situations of a biotic (diseases, pests, etc.) and abiotic nature (low or high temperatures, excess salts and heavy metals in the soil, drought, etc.) can manifest themselves, silicon performs a special protective function. Plants deprived of this mineral are more prone to growth, development and reproduction disorders. This is the only nutrient that does not disturb the condition of plants when it is in excess. Conclusions. Thus, a significant effect of the optimal state of silicon on the state of soils, growth and development of plant crops has been shown. The question of the effect of silicon on the human body

remains open in the presence of separate data on the negative impact of both its deficiency and excess.

Key words: silicon, environmental objects, human body.

Введение. Здоровье нации во многом определяется соблюдением баланса содержания макро- и микроэлементов в биосистеме «почва-растение-человек».

Конечно, в связи с большей удельной массой в организме человека и доказанной значимостью для здоровья эссенциальным макроэлементам (кальций, фосфор, магний, калий, натрий) уделяется значительное внимание и многочисленные публикации посвящены изучению влияния избытка или дефицита того или иного биоэлемента на организм человека.

Несколько сложнее обстоит дело с микроэлементами, для которых не всегда представляется возможным даже в полной мере оценить влияние на здоровье человека, откуда появляются термины «условно эссенциальные», «условно токсичные».

Так, А. П. Авцын с соавторами в фундаментальном труде «Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология» отнесли кремний как раз к «условно эссенциальным» микроэлементам, в группу которых они относят элементы, необходимые для существования организма, однако их низкое или повышенное содержание в соответствующих структурах организма не проявляется в выраженных формах болезни или характерного патологического синдрома [1].

Цель исследования: на основании анализа данных о биогеохимической распространенности кремния оценить целесообразность изучения его баланса в биосистеме «человек-среда обитания» на территории Республики Беларусь.

Материал и методы исследования. Материалом для анализа послужили источники литературы из библиографических баз PubMed, ELibrary, КиберЛенинка.

Результаты исследования и их обсуждение. Поскольку кремний является довольно распространенным микроэлементом и занимает 2-е место после кислорода по содержанию в земной коре, может возникнуть ощущение, что его дефицит – явление маловероятное.

Среднее содержание кремния в литосфере составляет 29,5% (для сравнения кальция – 3,6%). Он в разных количествах всегда присутствует в воде и продуктах питания. К примеру, среднее поступление кремния с пищей и водой для жителей Европы и Северной Америки составляет 20–50 мг/день (до 60 мг/сут, по данным Экспертной группы по витаминам и минералам Агентства по пищевым стандартам Великобритании) [26, 28, 29].

Известно, что большое количество кремния содержится в пищевых продуктах, особенно растительного происхождения. Лидеры по количеству его содержания – овсяные крупы и ячмень (3910–4310 и 2610–2720 мг/кг, соответственно) [34]. Много кремния в овощах и фруктах, особенно в бобах, фасоли, чечевице и бананах.

Около 20% от поступившего в организм с пищей и водой микроэлемента приходится на долю питьевой воды и напитков (в том числе пива, содержащего в среднем 20–25 мг/л кремния) [28, 29].

При этом, по существующим оценкам, потребность организма человека в кремнии составляет от 9–14 до 20–30 мг/сут [1, 9]. Однако, по мнению специалистов Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов [31] и Экспертной группы по витаминам и минералам Великобритании, данных для обоснования адекватных рекомендаций по физиологической норме кремния для человека все еще недостаточно [25, 31].

Таким образом, поступление кремния в организм человека с рационом питания и водой не нормируется также и действующими на территории нашей страны Санитарными нормами и правилами «Требования к питанию населения: нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Республики Беларусь» [18].

Несмотря на то, что кремний – это микроэлемент, по распространенности уступающий только железу и цинку, его функциональное значение, биологическая роль, детали метаболизма до сих пор остаются неясными [26, 30, 32]. Отчасти это связано с недостатком в методическом обеспечении оценки статуса кремния в организме человека и животных [25]. Считается, что он необходим для процессов минерализации костной ткани, синтеза коллагена, оказывает положительное

действие на состояние кожи, волос и ногтей, способствует предупреждению атеросклероза и болезни Альцгеймера [1, 9, 30, 32].

С одной стороны, действительно, многие зарубежные исследователи биологического действия кремния подчеркивают его важную роль в правильном образовании, росте и поддержании здорового состояния костей и всей соединительной ткани в организме. Есть также мнение, что кремний действительно эссенциальный элемент для костной ткани, по крайней мере у животных, а, возможно, и у человека [26, 32].

Между тем отмечается, что недостаток кремния – явление достаточно редкое. При его дефиците могут наблюдаться недостаточная активность лейкоцитов при инфекционном процессе, плохое заживление ран, снижение аппетита, кожный зуд, снижение эластичности тканей, снижение тургора кожи, повышение проницаемости сосудов и, как следствие, – геморрагические проявления.

Однако важно понимать, что не только дефицит, но и избыток минеральных веществ может оказывать негативное влияние на состояние здоровья.

Так, наряду с положительным значением кремния для здоровья в литературе рассматриваются вопросы, связанные с его неблагоприятным влиянием на человека. Так, например, целый ряд работ В.Л. Сусликова, С.П. Сапожникова, Н.В. Толмачевой, Н.А. Агаджаняна и других был посвящен оценке причинно-следственных связей краевой патологии и микроэлементного состава воды у жителей кремниевой биогеохимической провинции Чувашии. В них указывалось на возможную роль повышенного поступления кремния с питьевой водой в сочетании с резким дисбалансом в ней макро- и микроэлементов (фтора, железа, кальция, марганца, цинка и др.) для инициации сахарного диабета, желчнокаменной болезни, уролитиаза [5, 15, 22, 23]. Был выделен эндемический кремниевый уролитиаз [1, 23], высказано предположение об участии аномальных соотношений кремния и других микроэлементов в водно-пищевых рационах жителей кремниевой биогеохимической провинции в формировании гипериммунных реакций и

патологических сдвигов в липидном обмене [17, 20]. Подчеркивалась «пусковая» роль кремния в сочетании с дисбалансом микроэлементов в формировании глубоких дисбактериозов кишечника [17, 20], атеросклероза [19], а также на возможное участие кремния питьевой воды в аутоиммунных процессах [16].

Ярким примером влияния постоянного избыточного поступления кремния в организм человека является анализ заболеваемости взрослого населения зоны эколого-биогеохимического бедствия Чувашской республики, где уровни содержания и соотношения микроэлементов в питьевых водах и в суточных пищевых рационах оцениваются как аномально-нерегулируемые за счет природного избытка кремния, фтора, кальция в биогеохимической пищевой цепи. Отмечено, что уровень заболеваемости в этой зоне превышает среднереспубликанские в 2-3 раза по всем известным хроническим неинфекционным заболеваниям, в том числе по острому инфаркту миокарда, ишемической болезни сердца, сахарному диабету второго типа, уролитиазу и злокачественным новообразованиям.

С другой стороны, население зоны эколого-биогеохимического риска Чувашской республики, к примеру, испытывает постоянный дефицит кремния и цинка, и ученым удалось доказать эпидемиологическими и экспериментальными данными, что снижение клеточного и гуморального иммунитета у жителей данного региона причинно связано именно с биогеохимическими особенностями территории проживания. Кроме того, среди жителей данного региона отмечается самая высокая заболеваемость как детского, так и взрослого населения острой и хронической пневмонией, туберкулезом легких и другими вялотекущими гнойно-воспалительными заболеваниями органов и систем. Уровни содержания и соотношения микроэлементов в питьевой воде и в суточных пищевых рационах оцениваются в зоне эколого-биогеохимического риска как аномально-регулируемые за счет умеренного природного дефицита йода, кобальта, цинка, кремния, фтора, кальция, магния, молибдена, бора, железа и калия в биогеохимической пищевой цепи [9, 18].

Поскольку одним из ключевых источников поступления кремния в организм человека является растительная пища, логично обратить внимание на способность кремния метаболизироваться растениями из почвы.

Показано, что периодичность биологического круговорота, связанная с сезонными колебаниями температуры и влажности, как правило, приводит к накоплению кремнийсодержащих фитолитов и, следовательно, к увеличению концентрации монокремниевых кислот в естественных почвах [7, 13]. Наиболее активно этот процесс протекает под луговыми и травянистыми системами [3, 4]. Для экосистем с высокой круглогодичной биологической активностью, а также для почв с ярко выраженным процессом лессиважа (например, дерново-подзолистыми почвами) не характерно накопление доступного растениям кремния [10]. Эти экосистемы постоянно испытывают дефицит доступного кремния. То есть конечное его содержание в растениях напрямую связано с типом почвы. Кроме того, из верхних горизонтов подзолистых почв бореального климатического пояса, почв гумидных регионов тропиков и экваториальных зон с ферралитным процессом почвообразования идет активный вынос доступного растениям кремния в нижние горизонты. Поэтому кислые, сильно выщелоченные почвы бедны его активными формами [6] и характеризуются низким уровнем плодородия. Ежегодный вынос кремнезема в мировой океан достигает 300 тыс. т [8].

Использование почв в сельском хозяйстве нарушает баланс питательных элементов, поскольку значительная их часть безвозвратно отчуждается с урожаем. Обычно растения выносят кремния больше, чем азота, фосфора и калия [3, 25, 31, 37]. Так, например, картофель отчуждает от 50 до 70 кг/га Si, зерновые – от 100 до 300 кг/га [25, 31].

На основе литературных данных по выносу кремния различными культурами, а также справочных данных по урожайности, было подсчитано, что ежегодно в мире 210–224 млн т кремния безвозвратно выносятся с урожаем [24]. Нарастающий дефицит его в сельскохозяйственных почвах вызывает ряд негативных последствий, так как он является не

только питательным, но и конструктивным элементом. Дефицит монокремниевой кислоты и уменьшение содержания аморфного кремнезема приводят к разрушению органоминерального комплекса, ускоряют деградацию органического вещества, ухудшают минералогический состав [30, 32]. Таким образом, внесение кремнийсодержащих препаратов необходимо для обеспечения достаточного питания растений кремнием и предотвращения деградации почв. Однако существует еще ряд специфических механизмов влияния кремниевых удобрений на плодородие почв, наиболее изученным из них является влияние на содержание доступного для растений фосфора [11, 36].

Соответственно, завершая цепочку, нельзя не отметить важную роль кремния и для растений.

Тот факт, что высшие растения могут успешно завершать свой цикл развития в лишенных кремния искусственно созданных средах, первоначально привел к формированию ошибочного мнения об отсутствии его необходимости для растений. В реальной полевой обстановке, где могут проявляться многообразные стрессовые ситуации биотического (болезни, вредители и др.) и абиотического характера (низкие или высокие температуры, избыток солей и тяжелых металлов в почве, засуха и др.), кремний выполняет особую защитную функцию. Лишенные данного минерала растения более склонны к нарушениям роста, развития и размножения. Это единственный питательный элемент, который не нарушает состояние растений при его избытке [27]. При этом, несмотря на высокое содержание общего кремния в почве, растения могут испытывать его недостаток, так как в значительной степени его биодоступность определяется формой, в которой минерал находится. Содержание подвижного кремния составляет всего 1-3% от общего и не превышает 150–200 мг/кг почвы [2].

Однако в настоящее время все еще далеко до разработки «единой теории» кремния в биологии и сельском хозяйстве, практически не изученными остаются вопросы о роли кремния в почвенно-растительных сообществах и в биосфере в целом [14].

Выводы. Таким образом, анализируя данные литературы, описывающие переход кремния в цепи «почва-растение-человек», нельзя не отметить его эссенциальность для

растительного, животного мира и человека. Возможно, в связи с недостаточной изученностью роли данного минерала для живых организмов и высоким содержанием в среде обитания может сложиться впечатление о его незначительной роли и низкой вероятности дефицита. Но все же представляется важным и целесообразным изучение баланса кремния в биосистеме «почва-вода-растение-человек» на территории Республики Беларусь.

Литература

1. Авцын, А. П. Микроэлементозы человека (этиология, классификация, органопатология) / А. П. Авцын, А. А. Жаворонков, М. А. Риш. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
2. Аммосова, Я. М. Кремнезем в системе почва–растение / Я. М. Аммосова, П. Н. Балабко, В. В. Матыченков // Агрохимия. – 1990. – № 10. – С. 103–8.
3. Базилевич, Н. И. Биологическая продуктивность экосистем северной Евразии / Н. И. Базилевич; РАН Институт географии. – М.: Наука, 1993. – 293 с.
4. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах / Н. И. Базилевич [и др.] / Ресурсы биосферы. – 1975. – Вып. 1. – С. 5–33.
5. Винокур, Т. Ю. Сравнительная характеристика содержания микроэлементов в суточных рационах питания населения различных эколого-биогеохимических зон проживания в связи с риском ишемической болезни сердца / Т. Ю. Винокур, В. Л. Сусликов // Вестник Оренбургского государственного университета. Биоэлементология (Приложение). – 2006. – Вып. 12. – С. 55–8.
6. Водяницкий, Ю. Н. Дефицит кремния в некоторых почвах и пути его устранения (обзор) / Ю. Н. Водяницкий // Агрохимия. – 1984. – № 8. – С. 127–31.
7. Ковда, В. А. Основы учения о почвах / В. А. Ковда. – М.: Наука, 1973. – Т. 2. – 915 с.
8. Ковда, В. А. Биогеохимия почвенного покрова / В. А. Ковда. – М.: Наука, 1985. – 262 с.
9. Кремний, его биологическое действие при энтеральном поступлении в организм и гигиеническое нормирование в

питьевой воде. Обзор литературы / Ю. А. Рахманин [и др.] // Гигиена и санитария. – 2017. – Вып. 96, № 5. – С. 492–8.

10. Матыченков, В. В. Подвижные соединения кремния в некоторых почвах юга Флориды / В. В. Матыченков, Г. С. Шнайдер // Почвоведение. – 1996. – № 12. – С. 1448–53.

11. Матыченков, В. В. Влияние аморфного кремнезема на некоторые свойства дерново-подзолистых почв / В. В. Матыченков, Я. М. Аммосова // Почвоведение. – 1994. – № 7. – С. 52–61.

12. Оберлис, Д. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных / Д. Оберлис, Б. Харланд, А. Скальный. – СПб.: Наука, 2008. – 544 с.

13. Опаловые фитоциты таежного биогеоценоза средней тайги / Г. В. Добровольский [и др.] // Биологические науки. – 1988. – № 2. – С. 96–101.

14. Самсонова, Н. Е. Кремний в растительных и животных организмах / Н. Е. Самсонова // Агрохимия. – 2019. – № 1. – С. 86–96.

15. Сапожников, С. П. Роль биогеохимических факторов в развитии краевой патологии / С. П. Сапожников, А. В. Голенков // Микроэлементы в медицине. – 2001. – Вып. 2. – № 3. – С. 70–2.

16. Сапожников, С. П. Роль соединений кремния в развитии аутоиммунных процессов / С. П. Сапожников, В. С. Гордова // Микроэлементы в медицине. – 2013. – Вып. 14, № 3. – С. 3–13.

17. Сусликов, В. Л. Современные проблемы и перспективы медицинской микроэлеметологии / В. Л. Сусликов // Микроэлементы в медицине. – 2000. – № 1. – С. 9–15.

18. Сусликов, В. Л. Научные основы регламентации оптимальных уровней и соотношений макро- и микроэлементов в водно-пищевых рационах населения российской федерации / В. Л. Сусликов, Н. В. Толмачева // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 5. – С. 140–4.

19. Сусликов, В. Л. Эколого-физиологическое и философское обоснование причинно-следственных связей процесса «здоровье ↔ атеросклероз» / В. Л. Сусликов, Н. В. Толмачева, Ж. В. Маслова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 1 (Ч. 3). – С. 609–12.

20. Толмачева, Н. В. Методология и принципы гигиенического нормирования оптимальных концентраций и соотношений макро- и микроэлементов в питьевой воде и пищевом рационе / Н. В. Толмачева // Вестник Чувашского университета. – 2010. – № 3. – С. 154–61.

21. Требования к питанию населения: нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Республики Беларусь [Электронный ресурс] : санитарные правила и нормы : утв. Пост. Мин-ва здравоохранения 20 ноября 2012 г., № 180 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2012.

22. Физиологическое обоснование причинно-следственных связей артериальной гипертензии с эколого-биогеохимическими факторами / Н. А. Агаджанян [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2010. – № 11. – С. 17–21.

23. Эколого-биогеохимические факторы и здоровье человека / Н. А. Агаджанян [и др.] // Экология человека. – 2000. – № 1. – С. 17–21.

24. Bocharnikova, E. A. Silicon soil state and biogeochemical balance in forest and grass ecosystems / E. A. Bocharnikova, V. V. Matichenkov // Sustainable Development: the View from the Less Industrialized Countries. – San Jose, Costa Rica: UNED. – 1994. – P.453–466.

25. Bocharnikova, E. A. Influence of plant associations on the silicon cycle in the soil-plant ecosystem / E. A. Bocharnikova, V. V. Matichenkov // Applied Ecology and Environmental Research. – 2012. – Vol. 10. – № 4. – P. 547–60.

26. Dietary silicon intake is positively associated with bone mineral density in men and premenopausal women of the Framingham Offspring cohort / R. Jugdaohsingh [et al.] // J. Bone Miner. Res. – 2004. – Vol. 19 (2). – P. 297–307.

27. Epstein, E. Silicon / E. Epstein // Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. –1999. – Vol. 50. – P. 641–64.

28. Expert Group on Vitamins and Minerals. Safe upper levels for vitamins and minerals. – London: Food Standards Agency. – 2003.

29. Jugdaohsingh, J. Silicon and bone health / J. Jugdaohsingh // J. Nutr. Health Aging. – 2007. – Vol. 11 (2). – P. 99–110.
30. Karmin, Z. Formation of ferrihydrite by inhibition of grun rust structures in the presence of silicon / Z. Karmin // Soil Sci. Soc. Amer. J. – 1986. – Vol. 50. (1). – P. 247–54.
31. Lindsay, W. L. Chemical Equilibria in Soil / W. L. Lindsay // New York: John Wiley & Sons. – 1979.
32. Marsan, F. A. Fragipan bonding by silica and iron oxides in a soil from northwestern Italy / F. A. Marsan, J. Torrent // Soil Sci. Soc. Amer. J. – 1989. – Vol. 53 (4). – P. 1140–5.
33. Martin, K. R. Silicon: the health benefits of a metalloid / K. R. Martin // Met. Ions. Life Sci. – 2013. – Vol. 13. – P. 451–73.
34. 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 EFSA Journal. – 2009. – Vol. 1132. – P. 1–24.
35. Price, C. T. Silicon: A Review of Its Potential Role in the Prevention and Treatment of Postmenopausal Osteoporosis / C. T. Price, K. J. Koval, J. R. Langford // Int. J. Endocrinol. – 2013. – 2013:316783.
36. Silicon increases the phosphorus availability of Arctic soils / J. Schaller [et al.] // Scientific reports. – 2019. – Vol. 9 (1). – P. 1–11.
37. Silicon management and sustainable rice production / N. K. Savant [et al.]. – San Diego : Adven. Agron. Acad. Press., 1997. – Vol. 58. – P. 151–99.

References

1. Avcyn AP, ZHavoronkov AA, Rish MA (1991). Mikroelementy cheloveka (etiologiya, klassifikaciya, organopatologiya). Moskva:Medicina:496 (in Russian).
2. Ammosova YAM, Balabko PN, Matychenkov VV (1990). Kremnezem v sisteme pochva–rastenie. *Agrokhimiya*;10:103–108 (in Russian).
3. Bazilevich NI (1993). Biologicheskaya produktivnost' ekosistem severnoj Evrazii. Moskva:Nauka:293 (in Russian).

4. Bazilevich NI (1975). Biologicheskaya produktivnost' i krugovorot himicheskikh elementov v rastitel'nyh soobshchestvah. *Resursy biosfery*;1:5–33 (in Russian).
5. Vinokur TYU, Suslikov VL (2006). Sravnitel'naya harakteristika sodержaniya mikroelementov v sutochnykh racionah pitaniya naseleniya razlichnykh ekologo-biogeohimicheskikh zon prozhivaniya v svyazi s riskom ishemicheskoy bolezni serdca. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. Bioelementologiya*;12(prilozhenie):55–58 (in Russian).
6. Vodyanickij YUN (1984). Deficit kremniya v nekotorykh pochvah i puti ego ustraneniya (obzor). *Agrohimiya*;8:127–131 (in Russian).
7. Kovda VA (1973). Osnovy ucheniya o pochvah. Mjskva:Nauka;2:915 (in Russian).
8. Kovda VA (1985). Biogeohimiya pochvennogo pokrova. Moskva:Nauka:262 (in Russian).
9. Rahmanin YUA, Egorova NA, Krasovskij GN, Mihajlova RI, Alekseeva AV (2017). Kremnij, ego biologicheskoe dejstvie pri enteral'nom postuplenii v organizm i gigenicheskoe normirovanie v pit'evoj vode. Obzor literatury. *Gigiena i sanitariya*;96(5):492–498 (in Russian).
10. Matychenkov VV, SHnajder SS (1996).. Podvizhnye soedineniya kremniya v nekotorykh pochvah yuga Floridy. *Pochvovedenie*;12:1448–1453 (in Russian).
11. Matychenkov VV, Ammosova YAM (1994). Vliyanie amorfnogo kremnezema na nekotorye svojstva dernovo-podzolistykh pochv. *Pochvovedenie*;7:52–61 (in Russian).
12. Oberlis D, Harland B, Skal'nyj A (2008). Biologicheskaya rol' makro- i mikroelementov u cheloveka i zhivotnyh. Sankt-Peterburg:Nauka:544 (in Russian).
13. Dobrovol'skij GV, Bobrov AA, Gol'eva AA, SHoba SA (198). Opalovye fitolity taezhnogo biogeocenoza srednej tajgi. *Biologicheskije nauki*;2:96–101 (in Russian).
14. Samsonova NE (2019). Kremnij v rastitel'nyh i zhivotnyh organizmah. *Agrohimiya*;1:86–96 (in Russian).

15. Sapozhnikov SP, Golenkov AV (2001). Rol' biogeoхимических факторов v razvitii kraevoy patologii. *Mikroelementy v medicine*;2(3):70–72 (in Russian).
16. Sapozhnikov SP, Gordova VS (2013). Rol' soedinenij kremniya v razvitii autoimmunnyh processov. *Mikroelementy v medicine*;14(3):3–13 (in Russian).
17. Suslikov VL (2000). Sovremennye problemy i perspektivy medicinskoj mikroelementologii. *Mikroelementy v medicine*;1:9–15 (in Russian).
18. Suslikov VL, Tolmacheva NV (200). Nauchnye osnovy reglamentacii optimal'nyh urovnej i sootnoshenij makro- i mikroelementov v vodno-pishchevyh racionah naseleniya rossijskoj federacii. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*;5:140–144 (in Russian).
19. Suslikov VL, Tolmacheva NV, Maslova ZHV (2015). Ekologo-fiziologicheskoe i filosofskoe obosnovanie prichinno-sledstvennyh svyazej processa «zdorov'e ↔ ateroskleroz». *Fundamental'nye issledovaniya*;1(3):609–612 (in Russian).
20. Tolmacheva NV (2010). Metodologiya i principy gigienicheskogo normirovaniya optimal'nyh koncentracij i sootnoshenij makro- i mikroelementov v pit'evoj vode i pishchevom racione. *Vestnik CHuvashskogo universiteta*;3:154–161 (in Russian).
21. Trebovaniya k pitaniyu naseleniya: normy fiziologicheskikh potrebnostej v energii i pishchevyh veshchestvah dlya razlichnyh grupp naseleniya Respubliki Belarus' (2012). *Sanitarnye pravila i normy*. Minsk (in Russian).
22. Agadzhanyan NA, Tolmacheva NV, Maslova ZHV, Kaplanova ASH (2010). Fiziologicheskoe obosnovanie prichinno-sledstvennyh svyazej arterial'noj gipertonii s ekologo-biogeoхимическими факторами. *Fundamental'nye issledovaniya*;11:17–21 (in Russian).
23. Agadzhanyan NA, Aleksandrov SI, Aptikaeva NI (2000). Ekologo-biogeoхимические факторы i zdorov'e cheloveka. *Ekologiya cheloveka*;1:17–21 (in Russian).
24. Bocharnikova EA, Matichenkov AA (1994). Silicon soil state and biogeochemical balance in forest and grass ecosystems. *Sustainable Development: the View from the Less Industrialized Countries*. San Jose, Costa Rica: UNED:453–466 (in English).

25. Bocharnikova EA, Matichenkov VV (2012).. Influence of plant associations on the silicon cycle in the soil-plant ecosystem. *Applied Ecology and Environmental Research*;10(4):547–560 (in English).
26. Jugdaohsingh R, Tucker KL, Qiao N, Cupples LA, Kie DPl, Powell JJ (2004). Dietary silicon intake is positively associated with bone mineral density in men and premenopausal women of the Framingham Offspring cohort. *Journal of Bone and Mineral Research*;19(2):297–307 (in English).
27. Epstein E (1999). Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*;50:641–664 (in English).
28. Expert Group on Vitamins and Minerals (2003). *Safe upper levels for vitamins and minerals*. London:Food Standards Agency (in English).
29. Jugdaohsingh J (2007). Silicon and bone health. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*;11(2):99–110 (in English).
30. Karmin Z (1986). Formation of ferrihydrite by inhibition of grun rust structures in the presence of silicon. *Soil Science Society of America Journal*;50(1):247–254 (in English).
31. Lindsay WL (1979). *Chemical Equilibria in Soil*. New York:John Wiley & Sons (in English).
32. Marsan F, Torrent J (1989). A. Fragiapan bonding by silica and iron oxides in a soil from northwestern Italy. *Soil Science Society of America Journal*;53(4):1140–1145 (in English).
33. Martin KR (2013). Silicon: the health benefits of a metalloid. *Metal Ions in Life Sciences*;13:451–473 (in English).
34. 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 (2009). *The EFSA Journal*;1132:24 (in English).
35. Price CT, Koval KJ, Langford JR (2013). Silicon: A Review of Its Potential Role in the Prevention and Treatment of Postmenopausal Osteoporosis. *International Journal of Endocrinology*; 2013:316783 (in English).
36. Schaller J, Faucherre S, Joss H, Obst M, Goeckede M, Planer-Friedrich B, Peiffer S, Gilfedder B, Elberling B (2019). Silicon

increases the phosphorus availability of Arctic soils. *Scientific reports*;9(1):1–11 (in English).

37. Savant NK, Snyder G, Datnoff L (1997). Silicon management and sustainable rice production. San Diego, Adven. Agron. Acad. Press;58:151–199 (in English).

Поступила в редакцию: 12.06.2023.

Адрес для корреспонденции: romanuk88@rambler.ru

УДК 613.2:378.4-057.875

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКОВ
ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В
МЯСНЫХ ПРОДУКТАХ. ОБЗОР**

М. М. Момчилова: ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0328-6844>

Сельскохозяйственная академия, институт консервирования и
качества пищевых продуктов,
г. Пловдив, Республика Болгария

**POSSIBILITIES OF USING MICROALGAE AS SOURCES OF
HIGH-QUALITY NUTRIENTS IN MEAT PRODUCTS.
REVIEW**

М. М. Momchilova: ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0328-6844>

Agricultural Academy, Institute of food preservation and quality,
Plovdiv, Bulgaria

Реферат.

Микроводоросли признаны естественными, устойчивыми и экономически выгодными источниками нетрадиционных кормовых ингредиентов, которые используются в кормах для животных для улучшения качества мяса. В то же время микроводоросли также могут быть использованы в качестве техно-функциональных ингредиентов в ряде переформулированных мясных продуктов, благодаря высокому содержанию белка, что полностью отвечает диетическим потребностям растущего населения. Помимо белков, микроводоросли также богаты другими биологически активными