

## К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ НОРМИРОВАНИЯ КРЕМНИЯ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ

**А.В. Мокиенко**

*Государственное учреждение «Украинский научно-исследовательский институт медицинской реабилитации и курортологии» Министерства здравоохранения Украины, г. Одесса*

### Введение

Присутствие кремния в источниках водоснабжения и в питьевой воде столь же постоянно и неотвратимо, как содержание в природной воде «главных ионов»: кальция, магния, хлоридов и т. д. Физическая форма присутствия кремния в питьевой воде, которая изменяется в широких пределах (растворимые ионные формы, коллоиды, коагулированные коллоиды, молекулярные комплексы сложного состава), должна определять степень его биологической доступности. Кроме питьевой воды, источником поступления кремния в организм человека через желудочно-кишечный тракт являются многие пищевые продукты [1].

В настоящее время продолжает оставаться дискуссионным вопрос нормирования кремния в питьевой воде в странах бывшего СССР, например Украине и России. Это обусловлено как спорностью самой проблемы как таковой, так и отсутствием такого нормирования в мире.

Поэтому цель данной работы состояла в анализе различных точек зрения на проблему нормирования кремния в питьевой воде.

### Результаты и их обсуждение

В последние годы резко возрос интерес российских исследователей к нормированию содержания в питьевой воде растворенного кремния. Это связано, главным образом, с тем, что на значительной части территории России (Сибирь, Дальний Восток и др.) содержание кремния в используемых для водоснабжения подземных водах превышает норматив СанПиН 2.4.1074-01, а кондиционирование воды по этому компоненту не осуществляется. В то же время при проектировании и строительстве новых водозаборных сооружений, в том числе крупных (например, для водоснабжения Хабаровска, Владивостока), санитарные органы вполне резонно требуют соответствия качества подаваемой воды СанПиН по предельному содержанию активной кремниевой кислоты (по Si) 10 мг/л. При этом рассматриваемая концентрация в качестве предельно допустимой вводится при использовании в процессе водоподготовки жидкого стекла для умягчения воды, а также при наличии в источнике водоснабжения техногенного кремния [2].

Для Украины эта проблема менее актуальна. Так, по данным [3], в большинстве поверхностных водных объектов Украины концентрация растворенного кремния не превышает предельно допустимую для питьевой воды, предназначенной для потребления населением. Поэтому воду из таких источников после

соответствующей подготовки можно рекомендовать для питьевого водоснабжения.

Исходя из вышеизложенного, возникает вполне резонный вопрос о правомерности нормирования кремния в питьевой воде. Это подробно обсуждается в упомянутых статьях [1, 2], которые целесообразно подробно обсудить.

В организме взрослого человека содержится около 18 г кремния [4]. В 1980-х годах сотрудниками Калифорнийского университета было доказано, что кремний необходим для нормального роста и развития организма млекопитающих, формирования хрящей, костей и соединительной ткани в целом. Также он принимает участие в ряде важных метаболических процессов, выполняя функцию структурного компонента. Ежедневная потребность организма человека в кремнии составляет 20–30 мг кремнезема. Ежедневно с пищей и водой поступает 3,5 мг, с воздухом (в виде пыли кремнезема) – 15 мг кремния [4]. По данным многочисленных авторов, содержание кремния в крови здорового человека колеблется в широких пределах – от 31,4 до 66,1 мг/% на золу [5], в волосах – от 15 до 360 мг/100 г.

Широкий диапазон содержания этого элемента как в активной среде организма – крови, так и в пассивной, депонирующей ткани – в волосах практически здоровых людей является косвенным свидетельством его малоактивной роли в метаболических процессах. Именно эти обстоятельства, очевидно, позволили А. П. Авцыну с соавт. [6] отнести кремний к «условно эссенциальным» микроэлементам. Термином условно эссенциальные микроэлементы обозначают группу элементов, необходимых для существования организма, однако их низкое или повышенное содержание в соответствующих структурах организма не проявляется в выраженных формах болезни или характерного патологического синдрома.

В опытах на животных показано, что почти весь кремний, поступающий с пищей и водой, проходит транзитом через пищеварительный тракт и выводится через кишечник, а оставшееся небольшое количество – через почки. Всасывание кремния в желудочно-кишечном тракте в большой степени зависит от присутствия различных минеральных компонентов пищевого рациона и питьевой воды, которые способны снизить его растворимость [Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, MgO, Al]. В моче большая часть кремния находится в форме растворимых силикатов [7]. Таким образом, кремний необходим для нормального развития и

функционирования организма человека. Организм располагает механизмами саморегуляции количества кремния во внутренней среде: ограниченное всасывание в желудочно-кишечном тракте, транзитный пропуск невсосавшегося кремния через кишечник, выведение кремния через почки в виде растворимых силикатов.

В обзоре [8] дана краткая характеристика поведения кремния в природе и его биологической роли.

Источниками кремния для организма человека являются вода, продукты питания, воздух, биологические добавки и лекарственные препараты.

Концентрация кремния в питьевых источниках может очень сильно отличаться и определяется особенностями водоносного горизонта [9, 10]. Источником кремния в природных водах являются подвергающиеся выветриванию горные породы и минералы почвы. Приводятся данные [11], что среднее содержание кремния в речных водах составляет 13,1 мг/л, в речной воде, соприкасающейся с вулканическими туфами, концентрация  $\text{SiO}_2$  достигает 50 мг/л. Очень сильно концентрация кремния варьирует в озерной воде и в большинстве случаев содержание  $\text{SiO}_2$  укладывается в пределах 1-15 мг/л, однако в озерах центральной Америки эта величина достигает 50 мг/л.

Содержание кремния в питьевой воде в Российской Федерации регламентировано и составляет 10 мг/л. В 80 % водоемов Республики Карелия содержание растворенного в воде кремния изменяется от < 0,1 до 2,2 мг/л. Минимальная концентрация кремния присутствует в озерах с преобладанием атмосферного питания [12]. На территории Чувашской Республики выявлены «кремниевые» провинции с содержанием кремния в природных водах более 20 мг/л [13]. Некоторые минеральные воды содержат достаточно много кремния. Так, в минеральной воде «Боржоми» его содержание составляет 46 мг/л, а в минеральных водах Абхазии и Южной Осетии - 58 мг/л и 66 мг/л соответственно [11]. Неравномерное распределение кремния в питьевой воде наблюдается в Англии, где южные провинции характеризуются высоким, а северные низким содержанием этого элемента [14]. Минеральные воды кремниевых источников острова Фиджи содержат 86 мг/л кремния [15]. Высоким содержанием кремния (112 мг/л) отличается минеральная вода «Джермук» (Армения). В природных термальных источниках содержание кремния достигает 200 мг/л [9]. В Украине получили большую известность кремнийсодержащие минеральные лечебно-столовые воды, которые широко применяются в санаторно-курортной и внекурортной практике [16].

Приведенные данные указывают не только на различные концентрации кремния в воде, но, учитывая, что в водных растворах устанавливается динамическое равновесие между мономерными, олигомерными и полимерными формами кремниевых кислот, могут свидетельствовать о различных вкладах этих форм в разных водах.

С водой в организм человека ежедневно поступает 20-30 % суточного потребления кремния, а его биодоступность из воды составляет 50-80 %. Это определяется тем, что в воде кремний находится в разных формах. Наиболее легко диффундирует через мембраны и проникает в кровеносную систему ортокремниевая кислота. Что же касается поликислот, то их малая подвижность и большие размеры ограничивают их всасывание [14, 17]. В исследованиях на крысах не было обнаружено отличий в концентрациях кремния в костях при добавлении и без добавления кремния в питьевую воду [18].

Исчерпывающий обзор литературы по биохимии и токсикологии соединений кремния на период до 1978 года дан в монографии М. Г. Воронкова с соавторами «Кремний и жизнь» [11]. Подвергнутый анализу в этой монографии объем литературных источников поражает. В первой части монографии, в которой проанализирован кремний, начиная с низших организмов и заканчивая животными и человеком, приведено 4599 ссылок. Во второй части, посвященной биологическому действию соединений кремния, проанализировано 4628 литературных источников.

Считается, что природные соединения кремния сыграли важную роль в процессе зарождения жизни на Земле. Для образования сложных органических молекул в водном растворе необходима определенная концентрация веществ, которая была очень низкой в морской воде. Одной из версий создания необходимой концентрации является процесс адсорбции на поверхности силикатов и кремнезема органических веществ. Не исключено, что указанные адсорбенты одновременно и катализировали процессы дальнейших превращений органических соединений. К тому же на глине, которая очень распространена в природе, могли протекать самопроизвольные процессы хроматографического разделения веществ, из которых формировалась жизнь [11].

В работе [1] отмечается, что патологических состояний (болезней, синдромов) при поступлении кремния в организм человека пероральным путем не описано. Большинство публикаций, посвященных участию кремния в метаболических процессах, составлены по результатам экспериментальных работ с различными, неадекватными для данной темы способами введения вещества (внутривенное, внутрибрюшинное, ингаляционное), и с высокими, нереальными в быту дозами. Но и в этих публикациях нет фактов активного участия кремния в каких-либо ферментных реакциях, ярко выраженных конкурентных отношениях и пр.

История разработки ПДК активированной кремниевой кислоты в воде в статье [1] описаны наиболее полно. В Советском Союзе необходимость в гигиенической оценке содержания соединений кремния в питьевой воде возникла в 1960-х годах в связи с внедрением в практику подготовки питьевой воды так называемой активированной кремнекислоты

(продукта обработки силиката натрия серной кислотой) в качестве флокулянта. Эта работа выполнялась в токсикологической лаборатории при кафедре коммунальной гигиены Первого МОЛМИ им. И. М. Сеченова научными сотрудниками С. А. Шиган и Б. Р. Витвицкой в 1970–1971 годах [19, 20].

Авторами были установлены пороговые концентрации по органолептическому показателю вредности (привкусу): активированной кремнекислоты – 500 мг/л, силиката натрия – 1000 мг/л. Среднесмертельная доза  $[DL_{50}]$  реагента не установлена ввиду низкой токсичности испытываемых веществ (отсутствие гибели животных даже при введении предельных по объему доз – 2000 мг/кг в течение суток за 12 приемов). В двухмесячном эксперименте с ежедневным введением доз активированной кремнекислоты (130 мг/кг) и силиката натрия (200 мг/кг) не выявлено кумулятивного эффекта. Гибель животных в этом эксперименте также не отмечена.

В хроническом пятимесячном санитарно-токсикологическом эксперименте на двух видах лабораторных животных был использован ряд неспецифических интегральных токсикологических тестов и испытаны дозы от 65 до 0,25 мг/кг. В столь широко поставленном эксперименте (во второй половине срока) отмечено только снижение уровня одного фермента – альдолазы (следует отметить, что в клинической практике повышение альдолазы отмечается при поражениях печени и дистрофических болезнях мышц). У животных, получавших силикат натрия в дозе 65 мг/кг отмечалось снижение уровня альдолазы в сыворотке крови, начиная с третьего месяца эксперимента. У животных, получавших дозу 6,5 мг/кг, снижение альдолазы зарегистрировано однократно, только на пятом месяце эксперимента. На основании этого доза силиката натрия 6,5 мг/кг оценена авторами как пороговая, а доза 2 мг/кг – как максимальная недействующая доза в условиях хронического эксперимента. Статистическая обработка результатов эксперимента свелась к расчету средней величины показателей по группам животных, без указания ошибки средней и сигмального отклонения.

Поскольку влияние исследованных веществ на органолептические свойства воды было крайне слабо выражено, а недействующая доза по санитарно-токсикологическому показателю в отчете формально провозглашена, Комиссией по гигиеническому нормированию в качестве норматива был закреплен санитарно-токсикологический признак вредности, а также предложена и утверждена его величина. В официальный перечень «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» норматив впервые был введен в 1972 г. в следующей редакции: «Силикат натрия (**по  $SiO_3$** ) (выделено нами) 50 мг/л, по санитарно-токсикологическому признаку вредности». Эта редакция

была повторена в документе «Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» (№ 1166-74).

В «Дополнительный перечень предельно допустимых концентраций вредных веществ в воде водоемов санитарно-бытового водопользования» (утвержден в 1976 г., № 1521) введена редакция норматива: «Кремниевая кислота активированная 50 мг/л, по санитарно-токсикологическому признаку вредности» без отмены вышеуказанной редакции норматива 1972 г. В том же документе в редакции 1980 г. (№ 2263-80) фигурирует норматив: «Кремний – 10 мг/л, по санитарно-токсикологическому признаку» без указания класса опасности с примечанием об отмене норматива 1974 г.

Второй класс опасности кремния в питьевой воде был установлен в соответствии с критериями, изложенными в МУ 2.1.5.720-98 [21]. Проведенное авторами [1] воспроизведение расчета класса опасности силикатов в воде (табл. 1) показывает, что критерием для отнесения кремния ко второму классу опасности явилось отношение пороговой концентрации хронического воздействия к пороговой концентрации по органолептическому признаку (первый критерий). Представляется, что этот критерий, очень важный для многих веществ, для кремния мало актуален, поскольку сигнального значения (важного для первого критерия) пороговая концентрация силиката натрия в воде на уровне 1000 мг/л, да еще по привкусу, не имеет, а пороговая концентрация по токсикологическому признаку дана формально, как это отмечено выше. В то же время, по следующим двум критериям (второму и третьему) силикаты уверенно попадают в четвертый класс. Основания для изучения отдаленных последствий (четвертый критерий) контакта человека с кремнием – элементом, занимающим второе место по распространенности в земной коре, отсутствуют. Пятый критерий относительно природных силикатов (ионы или коллоиды) также не может быть использован по существу; для гигиены воды имеет значение не «химическая» стабильность кремния в воде как химического элемента, а биологическая доступность форм его присутствия в воде, которая неуправляемо изменяется под влиянием многих факторов водной среды.

При анализе табл. 1 классификации опасности веществ возникает вопрос о правомерности отнесения кремния к «высоко опасным» (!) веществам при поступлении через рот, поскольку кремний не проявил токсичности в остром опыте, кумулятивных свойств в условиях подострого токсикологического эксперимента, специфических эффектов в пятимесячном хроническом эксперименте при ежедневном введении дозы 65 мг/кг. Наконец, кремний – вещество, в окружении которого человек живет и с которым тесно контактирует, например с кислородом, кальцием, калием, хлоридами.

В последующие годы предпринимались некоторые попытки использования в санитарно-гигиенической практике норматива по содержанию кремния в воде. В 1978–1981 годах появились публикации доктора медицинских наук, профессора В. Л. Сусликова [22, 23], в которых отмечалось совпадение повышенных показателей заболеваемости уролитиазом (мочекаменная болезнь) в некоторых административных районах Чувашской АССР (названных им Присурским субрегионом) с повышенным (по сравнению с другими районами) содержанием кремния в почвах и растениях, а также повышенными (по сравнению с официальным гигиеническим нормативом 1972 г.) концентрациями кремния в грунтовых и межпластовых водах, используемых местными жителями для питьевых целей.

Не подвергая сомнению истинность собранных В. Л. Сусликовым фактических данных, необходимо обратить внимание на методологию планирования его исследований и обработки данных. Данные по заболеваемости были взяты автором из сводок официальной медицинской статистики. В его работах нет анализа уровня медицинской помощи в районах наблюдения, а также собственных исследований заболеваемости населения уролитиазом. В частности, отсутствуют данные о распределении больных, использовавших источники питьевой воды с разными концентрациями кремния, по группам, длительности использования больными уролитиазом данных источников водоснабжения. Хотя факты, приведенные в работе, свидетельствуют о широком диапазоне концентраций кремния в воде подземных источников

питьевого водоснабжения Присурского субрегиона. Не были учтены и такие факторы, как жесткость воды и другие минеральные компоненты ее состава, вносящие свой вклад в заболеваемость уролитиазом. Статистическая обработка данных была ограничена корреляционным анализом заболеваемости по обращаемости и усредненными по субрегиону концентрациями кремния в питьевой воде.

Таким образом, установленная В. Л. Сусликовым «прямая положительная корреляционная связь уровня заболеваемости населения некоторых районов Чувашии мочекаменной болезнью с содержанием кремния в источниках водоснабжения [ $r = + (0,8 \pm 0,12)$ ]», полученная на методологически неправильной основе, не может быть расценена как причинно-следственная для обоснования гигиенического норматива содержания природного кремния в питьевой воде. В связи с этим, следует напомнить известное положение математической статистики: «Чтобы статистические модели выполняли свою функцию одного из «блоков» в системе доказательства причинно-следственных связей, они должны быть корректно построены, а полученные результаты корректно представлены и проанализированы» [24]. Нахождение статистически значимых корреляционных связей между уровнями факторов среды обитания и здоровьем населения – это не доказательство наличия причинно-следственной связи между ними, а лишь статистическое подтверждение гипотезы о возможном ее наличии. Это подтверждение является необходимым (но недостаточным) этапом работы для перевода гипотезы в разряд твердо установленных

Таблица 1

Классификация опасности веществ при этапном обосновании ПДК (ОДУ) веществ в воде [21]

| Этап оценки опасности вещества  | Критерий   | Класс опасности              |                                    |                                   |                         |
|---|--|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
|   |  | Первый (чрезвычайно опасные) | Второй (высоко опасные)            | Третий (умеренно опасные)         | Четвертый (малоопасные) |
| 1   | $\text{ПК}_{\text{хр.}} / \text{ПК}_{\text{орг.}} (\text{ПК}_{\text{сан.}})$ | –                            | < 10                               | 10-100                            | >100                    |
| 2   | $\text{ПК}_{\text{хр.}}$ , мг/л  | < 0,01                       | 0,01-1                             | 1-100                             | >100                    |
| 3   | $\text{DL}_{50} / \text{ПД}_{\text{хр.}}$                                    | >10 <sup>5</sup>             | 10 <sup>5</sup> - >10 <sup>4</sup> | 10 <sup>4</sup> – 10 <sup>2</sup> | < 10 <sup>2</sup>       |
| 4   | $\text{ПД}_{\text{общ.}} / \text{ПД}_{\text{орг.}}$                          | >10                          | 4 - 10                             | 1 – 3                             | 0,1-1                   |
| 5   | Стабильность   | >15 суток                    | 1-30 суток                         | 1-24 часа                         | < 60 мин                |
| Расчет класса опасности для силикатов (по данным отчета «Гигиеническое обоснование содержания остаточных количеств активированной кремниевой кислоты и силиката натрия в питьевой воде», 1972, арг. № 315) [20] |  |                              |                                    |                                   |                         |
| 1   | $\text{ПК}_{\text{хр.}} / \text{ПК}_{\text{орг.}} (\text{ПК}_{\text{сан.}})$ | –                            | $6,5 \times 35 / 1000 = 0,23$      | –                                 | –                       |
| 2   | $\text{ПК}_{\text{хр.}}$ , мг/л  | –                            | –                                  | –                                 | $6,5 \times 35 = 227,5$ |
| 3   | $\text{DL}_{50} / \text{ПД}_{\text{хр.}}$                                    | –                            | –                                  | –                                 | $5000 / 6,5 = 777$      |
| 4   | $\text{ПД}_{\text{общ.}} / \text{ПД}_{\text{орг.}}$                          | –                            | –                                  | –                                 | –                       |
| 5   | Стабильность   | –                            | –                                  | –                                 | –                       |

$\text{DL}_{50}$  - доза средняя смертельная

$\text{ПД}_{\text{хр.}}$ , ( $\text{ПК}_{\text{хр.}}$ ) - пороговая доза (концентрация) хронического опыта

$\text{ПД}_{\text{общ.}}$ , ( $\text{ПК}_{\text{общ.}}$ ) - пороговая доза (концентрация) хронического опыта по общетоксическому эффекту

$\text{ПК}_{\text{орг.}}$  - пороговая концентрация по органолептическому признаку вредности

$\text{ПК}_{\text{сан.}}$  - пороговая концентрация по влиянию на санитарный режим водоема

фактов. Для полного доказательства нужен еще ряд других, как статистических, так и нестатистических подтверждений.

Поэтому, вывод В. Л. Сусликова о ведущей роли кремния в генезе мочевых камней, полученных в опытах на животных, при внимательном анализе результатов эксперимента не убедителен.

Такой же методологически некорректный подход прослеживается в диссертационных работах учеников В. Л. Сусликова С. П. Сапожникова [25], Р. В. Степанова [26], А.Н. Андреева [27], которые не содержат новых данных о физиологических (патофизиологических) механизмах взаимодействия кремния с живым организмом и не могут служить основой для обоснования гигиенического норматива кремния в питьевой воде.

На диссертации А.Н. Андреева представляется необходимым остановиться подробнее. В автореферате [27] автор, рассматривая показатели заболеваемости населения Присурского субрегиона Чувашской ССР, пользующегося водой, содержащей кремний в повышенных концентрациях (до 26,5 мг/л), считает очевидным, что кремний в питьевых водах может являться фактором, способствующим развитию возрастной катаракты. При корреляционном анализе между заболеваемостью возрастной катарактой с содержанием, соотношением микроэлементов в питьевых водах автором установлена сильная прямая связь от концентрации кремния ( $r=+0,968$ ,  $p < 0,05$ ), соотношения кремния с фтором ( $r=+0,941$ ,  $p < 0,05$ ), кремния с кальцием ( $r=+0,895$ ,  $p < 0,05$ ), кремния с магнием ( $r=+0,804$ ,  $p < 0,05$ ).

Различные уровни природного кремния в питьевых водах и определенные соотношения его с другими микроэлементами, такими как кальций, фтор, магний, возможно, определяют характер помутнения хрусталика. При повышенном содержании кремния (15,7 мг/л) и высоких показателях соотношений кремний/кальций (0,09), кремний/фтор (24,5), кремний/магний (0,86) во второй серии экспериментов у животных опытной группы выявлено формирование помутнения хрусталика только в передних субкапсулярных и корковых слоях. При пониженной же концентрации кремния (5,7 мг/л) и низких соотношениях кремний/кальций (0,01), кремний/фтор (15,3), кремний/магний (0,29) в контрольной группе во второй серии опытов обнаружено формирование помутнения в ядерной зоне, удельный вес которого достигал до 38,9%. Однотипный характер помутнения хрусталика нами обнаружен также у жителей сравниваемых субрегионов. Так, среди исследованных глаз с начальной возрастной катарактой из Присурского субрегиона преобладали корковые помутнения - в 63,74 % случаев, тогда как в контрольном субрегионе в 37,96% - ядерные.

Более подробное знакомство с диссертацией автора [28] показывает следующее.

Прежде всего обращает внимание отсутствие в обзоре литературы анализа взаимосвязи кремния в воде с какой-либо патологией.

Для изучения заболеваемости и распространенности возрастной катаракты по почвенным зонам была использована почвенная карта республики, проведен перерасчет показателей по типам и разновидностям почв. Для исследования заболеваемости по гидрогеологическим районам была использована гидрогеологическая карта республики, проведен перерасчет показателей по зонам распространения водоносных горизонтов. При изучении заболеваемости по биогеохимическим субрегионам были использованы материалы биогеохимического районирования территории Чувашской ССР. Иными словами, эпидемиологический анализ заболеваемости по данным статистической медицинской отчетности отсутствует.

В 1-й серии экспериментов (120 крыс-самцов: 2 группы по 60 животных) в качестве контроля использована натуральная питьевая вода из Прикубниноцивильного субрегиона (д. Урасказы Янтиковского р-на), в опыте – вода с кремнием в виде метасиликата натрия (табл. 2).

Таблица 2

## Результаты 1-й серии экспериментов

| Ионный состав   | Контроль | Опыт  |
|-----------------|----------|-------|
| Хлориды         | 36,7     | 36,7  |
| Сульфаты        | 16,9     | 16,9  |
| Общая жесткость | 13,8     | 13,8  |
| Кальций         | 26,2     | 26,2  |
| Магний          | 39,6     | 39,6  |
| Кремний         | 3,65     | 16,0  |
| Фтор            | 0,26     | 0,26  |
| Цинк            | 116      | 116   |
| Железо          | 50       | 50    |
| Кремний/кальций | 0,014    | 0,061 |
| Кремний/магний  | 0,09     | 0,4   |
| Кремний/фтор    | 14       | 6,5   |

Во 2-й серии экспериментов в качестве контроля использована натуральная питьевая вода д. Шумерля Шумерлинского р-на, в опыте – питьевая вода д. Кудеиха Порецкого р-на (табл. 3).

Таблица 3

## Результаты 2-й серии экспериментов

| Ионный состав   | Контроль | Опыт  |
|-----------------|----------|-------|
| Хлориды         | 124      | 88    |
| Сульфаты        | 95,1     | 18,5  |
| Общая жесткость | 21,2     | 8,0   |
| Кальций         | 565      | 180   |
| Магний          | 20       | 18,2  |
| Кремний         | 5,7      | 15,7  |
| Фтор            | 0,36     | 0,64  |
| Цинк            | 30       | 45    |
| Железо          | 108      | 168   |
| Кремний/кальций | 0,001    | 0,089 |
| Кремний/магний  | 0,29     | 0,86  |
| Кремний/фтор    | 15,8     | 24,5  |

При анализе табл. 3 обращают внимание относительно низкие концентрации кремния по сравнению с высокими общей жесткостью, кальцием, цинком и железом.

Автор интерпретирует полученные результаты следующим образом. 1 серия. «Несмотря на наши ожидания, в опытной группе, где животные получали воду с **высоким** (выделено нами) содержанием в виде неорганической соли метасиликата натрия, удельный вес катаракты и степень помутнения хрусталика оказались значительно ниже, чем в контрольной группе при недостоверной разнице ( $p > 0,05$ ). 2 серия «У животных опытной группы помутнение хрусталика формировалось только в средних субкапсулярных и корковых слоях. Помутнение ядерной зоны хрусталика в данной группе не выявлено, тогда как в контрольной группе поражение ядерной зоны достигало 38,89 %».

Далее автор резюмирует, что действие кремния в питьевой воде в **высоких** (выделено нами) концентрациях потенцируется кальцием, фтором, магнием. Эффект действия выражается в резком нарушении липидного и гидроперекисного обменов с явно выраженными корковыми изменениями в хрусталике.

Общие выводы по данному фрагменту диссертации:

1. Помутнение хрусталика как у людей, так и у экспериментальных животных наиболее интенсивно происходит при поступлении с питьевой водой высоких концентраций кремния ( $> 10$  мг/л) в сочетании с кальцием, магнием и фтором в следующих соотношениях: 0,089; 0,86; 24,5.

2. Помутнение хрусталика как у людей из Присурского субрегиона, так и у экспериментальных животных, содержащихся на воде из Присурского субрегиона с **высоким** (выделено нами) содержанием кремния, носит явно выраженный корковый характер.

В заключение следует отметить, что в обширной литературе, посвященной обоснованию роли водного фактора в этиологии уролитиаза, инфаркта миокарда, катаракты и других распространенных неинфекционных болезней, а также оценке влияния на здоровье населения минерального состава питьевой воды, других данных о патогенетической роли кремния (кроме публикаций В. Л. Сусликова и его учеников) нет [1].

Анализ нормирования содержания кремния в воде в современной нормативной базе показывает следующее. Во всех последних редакциях авторитетного Руководства по контролю качества питьевой воды (ВОЗ, Женева, 1994, 2004, 2011) [29-31], в котором обобщен мировой опыт гигиенического нормирования химических веществ в воде, нет упоминания о допустимом содержании кремния в воде и о необходимости его гигиенического нормирования. Отсутствует норматив содержания кремния и в известной «Директиве Совета ЕС относительно качества воды, предназначенной для потребления человеком» [32], принятой к руководству во всех странах Европей-

ского Союза, а также в национальных нормативных документах по регламентации химического состава питьевой воды Франции, Германии, Японии, США [1].

Вместе с тем, в действующих на территории Украины ДСанПиН 2.2.4-171-10 [33] норматив кремния 10 мг/л, как санитарно-токсикологический по 2 классу опасности, формально перенесен из прежних вышеуказанных документов. При условии, что его целесообразность сомнительна с учетом его низкого содержания в поверхностных водах Украины (основного /80 %/ источника питьевого водоснабжения населения) и отсутствия такого норматива в поверхностных и подземных водах в соответствующем ДСТУ [34].

Учитывая вышеизложенное, есть все основания согласиться с выводами авторов статьи [1] в контексте нормирования кремния в Украине.

1. Норматив предельно допустимого содержания кремния в воде, приведенный в ДСанПиН 2.2.4-171-10 [30], не имеет достаточного экспериментального обоснования и не должен распространяться на соединения кремния природного происхождения, постоянно присутствующие в природных водах.

2. Второй класс опасности в ДСанПиН 2.2.4-171-10 установлен для кремния по формальным признакам и противоречит неопровержимым фактам нетоксичности, некумулятивности и наличия механизма саморегуляции содержания кремния в организме человека.

3. В Рекомендациях ВОЗ, а также в зарубежных национальных нормативных документах, регламентирующих требования к химическому составу питьевой воды, норматив содержания кремния отсутствует.

4. В целях внутренней гармонизации нормативной базы отечественного санитарного законодательства, а также с зарубежным законодательством предлагается аннулировать в ДСанПиН 2.2.4-171-10 норматив кремния природного происхождения.

#### Литература

1. Мазаев В. Т. Оценка степени санитарной опасности соединений кремния в природной и питьевой воде (в порядке обсуждения) / В. Т. Мазаев, Т. Г. Шлепнина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – №7. – С. 13 – 20.
2. Алексеев В. С. О необходимости пересмотра нормативного содержания кремния в питьевой воде / В. С. Алексеев, К. А. Болдырев, В. Г. Тесля // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – №5. – С. 56 – 60.
3. Линник П. Н. Содержание, формы нахождения и особенности распределения и миграции кремния в поверхностных водах Украины / П. Н. Линник, Т. П. Дикая // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41, №6. – С. 606 – 620.
4. Человек. Медико-биологические данные. МКРЗ, публикация № 23: Пер. с англ. – М.: Медицина, 1977.
5. Коломийцева М. Г. Микроэлементы в медицине / М. Г. Коломийцева, Р. Д. Габович. – М.: Медицина, 1970.
6. Авцын А. П. Микроэлементозы человека / А. П. Авцын, А. А. Жаворонков. – М.: Медицина, 1991.
7. Москалев Ю. И. Минеральный обмен / Ю. И. Москалев. – М.: Медицина, 1985.

8. Вапиров В.В. К вопросу о поведении кремния в природе и его биологической роли / В.В. Вапиров, В.М. Феоктистов, А.А. Венкович, Н.В. Вапирова // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2017. – № 2 (163). – С. 95 – 102
9. Камбалина М. Г. Атомно–абсорбционное определение содержания кремния в природных водах / М. Г. Камбалина // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320, №3. – С. 120 – 124.
10. Sivasankaran M. A. Nutrient concentration in groundwater of Pondicherry region / M. A. Sivasankaran // J. Environ Sci. Eng. – 2004. – V. 46, №3. – P. 210 – 216.
11. Воронков М. Г. Кремний и жизнь. Биохимия, фармакология и токсикология соединений кремния / М. Г. Воронков, Г. И. Зелчан, Э. Я. Лукевиц. – Рига: ЗИНАТНЕ, 1978. – 587 с.
12. Озера Карелии: Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. – 494 с.
13. Сапожников С. П. Влияние эколого–биохимических факторов среды обитания на функциональное состояние и здоровье населения Чувашии: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2001. – 32 с.
14. Jugdaohsingh R. Silicon and bone health // J. Nutr. Health Aging. – 2007. – V. 11, №2. – P. 99 – 110.
15. Li Z. H. Absorption of silicon from artesian aquifer water and its impact on bonehealth in postmenopausal women: a 12 week pilot study / Z. H. Li // Nutrition Journal. – 2010. – V. 9. – P. 44.
16. Кремнійвмісні мінеральні води України та їх сучасне застосування у лікувальній практиці / К.Д. Бабов, О.М. Нікіпелова, А.Л. Погребний [та ін.] // Перший науково–практичний семінар «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування», м. Трускавець, 10–14 листопада 2014 р. – С. 335 – 339.
17. Jugdaohsingh R. Oligomeric but not monomeric silica prevents aluminium absorption in humans // Am. J. Clin. Nutr. – 2000. – V. 71, №4. – P. 944 – 949.
18. Jugdaohsingh R. Increased longitudinal growth in rats on a silicon–depleted diet // Bone. – 2008. – V. 43. – P. 596 – 606.
19. Гигиеническая и санитарно–токсикологическая характеристика новых реагентов, добавляемых в воду в процессе ее обработки / С. Н. Черкинский, Г. Н. Красовский, С. А. Шиган [и др.] // Научно–технический прогресс и профилактическая медицина. Ч. 1. – М., Первый МОЛМИ им. И. М. Сеченова, 1971.
20. Шиган С. А. Гигиеническое обоснование содержания остаточных количеств активированной кремнекислоты и силиката натрия в питьевой воде / С. А. Шиган, Б. Р. Витвицкая // Научный отчет кафедры коммунальной гигиены Первого МОЛМИ им. И. М. Сеченова. Арх. № 315. – М., 1972.
21. МУ 2.1.5.720—98 Методические указания «Обоснование гигиенических нормативов химических веществ в воде водных объектов хозяйственно–питьевого и культурно–бытового водопользования. Утв. Главным гос. сан. врачом РФ 15 октября 1998 г.
22. Сусликов В. Л. К гигиенической оценке роли кремния в питьевой воде / В. Л. Сусликов // Гигиена и санитария. – 1979. – №7. – С. 101 – 103.
23. Сусликов В. Л. К обоснованию предельно допустимой концентрации кремниевой кислоты в питьевой воде / В. Л. Сусликов, В. Д. Семенов. Л. С. Ляшко // Гигиена и санитария. – 1979. – №11. – С. 17 – 22.
24. Вараксин А. Н. Статистические модели регрессионного типа в экологии и медицине / А. Н. Вараксин. – Екатеринбург, 2006.
25. Сапожников С. П. Гигиеническая оценка микроэлементного состава водно–пищевых рационов в связи с изучением причинно–следственных связей хронических неинфекционных заболеваний: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – М., 1990.
26. Степанов Р. В. Материалы к изучению причинно–следственных связей инфаркта миокарда с водным фактором: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Чебоксары, 1992.
27. Андреев А.Н. Изучение причинно–следственных связей возрастной катаракты с биогеохимическими факторами: автореф. дис.... канд. мед. наук. – Одесса, 1992.
28. Андреев А.Н. Изучение причинно–следственных связей возрастной катаракты с биогеохимическими факторами: дис.... канд. мед. наук; 14.00.08 – глазные болезни. – Одесса, 1991. – 130 с.
29. Руководство по контролю качества питьевой воды // 2–е изд. – Том 1. Рекомендации.– Женева: Изд–во ВОЗ, 1994. – 258 с.
30. Guidelines for drinking water quality. – The 3<sup>rd</sup> ed. – Recommendations. – World Health Organisation. – Geneva. – 2004. – V.1. – 495p.
31. Guidelines for drinking water quality. – The 4<sup>th</sup> ed. – Recommendations. – World Health Organisation. – Geneva. – 2011. – V.1. – 541p.
32. Директива Совета Европейского Союза от 3 ноября 1998 г. по качеству воды, предназначенной для потребления человеком / 98/83/ЕС/ – С. 59–91. Цит. по Зуев Е.Т. Питьевая и минеральная вода. Требования мировых и европейских стандартов к качеству и безопасности / Е. Т. Зуев, Г.С. Фомин. – М. : Протектор, 2003. – 320 с.
33. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» 2.2.4–171–10. – Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12 травня 2010 року N 400. – Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 1 липня 2010 р. за N 452/17747.
34. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання : ДСТУ 4808–2007 : К. : Держспоживстандарт України, 2007. – [Чинний від 01.01.2009]. – 36 с.

## References

1. Mazaev VT Assessment of the degree of sanitary hazard of compounds of silicon in natural and drinking water (in the order of discussion) / VT Mazaev, TG Shlepnina // Water supply and sanitary engineering. – 2011. – №7. – P. 13 – 20.
2. Alekseev VS On the need to revise the normative content of silicon in drinking water / VS Alekseev, KA Boldyrev, VG Teslya // Water supply and sanitary engineering. – 2011. – №5. – P. 56 – 60.
3. Linnik PN Content, forms of location and features of silicon distribution and migration in the surface waters of Ukraine / PN Linnik, TP Dikaya // Water Resources. – 2014. – T. 41, №6. – P. 606 – 620.

4. The person. Medico-biological data. ICRP, publication No. 23: Trans. with English. – M.: Medicine, 1977.
5. Kolomyitseva MG Microelements in medicine / MG Kolomyitseva, RD Gabovich. – M.: Medicine, 1970.
6. Avtsyn AP. Microelementoses of man / AP Avtsyn, AA Zhavoronkov. – M.: Medicine, 1991.
7. Moskalev Yu. I. Mineral Exchange / Yu. I. Moskalev. – M.: Medicine, 1985.
8. V.Vapirov. On the behavior of silicon in nature and its biological role. Vapirov, V.M. Feoktistov, A.A. Venskovich, N.V. Vapirova // Uchenye zapiski Petrozavodsk State University. – 2017. – No. 2 (163). – P. 95 – 102
9. Kambalina, MG, "Atomic Absorption Determination of Silicon Content in Natural Waters," MG Kambalina, Izvestiya, Tomsk Polytechnic University. – 2012. – T. 320, №3. – pp. 120 – 124.
10. Sivasankaran M. A. Nutrient concentration in the groundwater of the Pondicherry region / M. A. Sivasankaran // J. Environ Sci. Eng. – 2004. – V. 46, №3. P. 210–216.
11. Voronkov MG Silicon and life. Biochemistry, pharmacology and toxicology of silicon compounds / MG Voronkov, GI Zelchan, E. Ya. Lukevits. – Riga: ZINATNE, 1978. – 587 p.
12. Lakes of Karelia: Handbook / Ed. NN Filatova, VI Kukharev. – Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2013. – 494 p.
13. Sapozhnikov SP Influence of ecological and biochemical factors of habitat on the functional state and health of the population of Chuvashia: Author's abstract. dis. ... Dr. honey. sciences. M., 2001. – 32 p.
14. Jugdaohsingh R. Silicon and bone health // J. Nutr. Health Aging. – 2007. – V. 11, №2. – P. 99–110.
15. Li Z. H. Absorption of silicon from artesian aquifer water and its impact on bone health in postmenopausal women: a 12 week pilot study / Z. H. Li // Nutrition Journal. – 2010. – V. 9. – P. 44.
16. Kremniyvmsni mi mineralny vy Ukraine and ix hischasne zastosuvannya u likuvальній практиці / K.D. Babov, O.M. Nikipelova, A.L. Pogrebnyi [та ін.] // Перший науково-практичний семінар "Nadrokorystuvannya in Ukraine. Perspective Investigation", m. Truskavets, 10–14 листопада 2014 p. – P. 335 – 339.
17. Jugdaohsingh, R., Oligomeric, but not monomeric silica prevention aluminium absorption in humans, Am. J. Clin. Nutr. – 2000. – V. 71, №4. – P. 944 – 949.
18. Jugdaohsingh R. Increased longitudinal growth in rats on a silicon-depleted diet // Bone. – 2008. – V. 43. – P. 596 – 606.
19. Hygienic and sanitary-toxicological characteristics of new reagents added to water in the process of its processing / SN Cherkinsky, GN Krasovskii, SA Shigan [and others] / Scientific and technical progress and preventive medicine. Part 1. – M., First Molmi them. IM Sechenova, 1971.
20. Shigan SA Hygienic substantiation of the content of residual amounts of activated silicic acid and sodium silicate in drinking water / SA Shigan, BR Vitvitskaya // Scientific Report of the Department of Communal Hygiene of the First Molodmila Institute of Molecular Biology. I. M. Sechenov. Arch. No. 315. – M., 1972.
21. MU 2.1.5.720–98 Methodical instructions "Justification of hygienic standards of chemicals in water for water bodies of domestic and drinking and cultural and domestic water use. Approved. The main state. san. doctor of the Russian Federation on October 15, 1998.
22. 22. Suslikov VL To the hygienic assessment of the role of silicon in drinking water / VL Suslikov // Hygiene and Sanitation. – 1979. – № 7. – P. 101 – 103.
23. Suslikov VL To the substantiation of the maximum permissible concentration of silicic acid in drinking water / VL Suslikov, VD Semenov. LS Lyashko // Hygiene and Sanitation. – 1979. – № 11. – P. 17 – 22.
24. Varaksin AN Statistical regression-type models in ecology and medicine / AN Varaksin. – Ekaterinburg, 2006.
25. Sapozhnikov SP Hygienic assessment of the microelement composition of water-food rations in connection with the study of cause-effect relationships of chronic non-infectious diseases: Author's abstract. dis. ... cand. honey. sciences. – M., 1990.
26. Stepanov RV Materials for the study of cause-effect relationships of myocardial infarction with a water factor: Author's abstract. dis. ... cand. honey. sciences. – Cheboksary, 1992.
27. Andreev A.N. Studying the cause-effect relationships of age-related cataracts with biogeochemical factors: author's abstract. dis. .... Cand. honey. sciences. – Odessa, 1992.
28. Andreev A.N. Studying the cause-effect relationships of age-related cataracts with biogeochemical factors: dis. .... Cand. honey. sciences; 14.00.08 – eye diseases. – Odessa, 1991. – 130 with.
29. A Guide to Drinking Water Quality Control. 2 nd ed. – Volume 1. Recommendations. – Geneva: WHO Publishing, 1994. – 258 p.
30. Guidelines for drinking water quality. – The 3rd ed. – Recommendations. – World Health Organization. – Geneva. – 2004. – V.1. – 495p.
31. Guidelines for drinking water quality. – The 4th ed. – Recommendations. – World Health Organization. – Geneva. – 2011. – V.1. – 541p.
32. Directive of the Council of the European Union of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption / 98/83 / EC / – P. 59–91. Cit. by Zuev E.T. Drinking and mineral water. Requirements of world and European standards for quality and safety / E.T. Zuev, G.S. Fomin. – M.: Protector, 2003. – 320 p.
33. About approval of State sanitary norms and rules "Hygienic requirements for drinking water suitable for the use by human" 2.2.4–171– 10. – Order of Ukrainian Ministry of Health Care, dated 12 May, 2010, N 400. – Registered in the Ministry of Law, 1, Luly, 2010, N 452/17747 (Ukr.).
34. Sources of the Centralized Drinking Water Supply. Hygienic and Ecological Requirements as to the Quality of Water and the Rules for Its Samplings: State Standards 4808–2007.– Kiev: Sstae Standard of Ukraine, 2007. – [in Action from 01.01.2009]. – 36 p. (Ukr.)



УДК 546.28:613.31

## К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ НОРМИРОВАНИЯ КРЕМНИЯ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ

**А.В. Мокиенко**

*Государственное учреждение «Украинский научно-исследовательский институт медицинской реабилитации и курортологии» Министерства здравоохранения Украины, г. Одесса*

В работе представлен краткий анализ данных литературы о биологической роли кремния и нормировании его в питьевой воде. Высказано суждение об отсутствии достаточного экспериментального обоснования такого нормирования, которое не должно распространяться на соединения кремния природного происхождения, постоянно присутствующие в природных водах. Обоснована формальность отнесения кремния ко второму классу опасности, что противоречит неопровержимым фактам нетоксичности, некумулятивности и наличия механизма саморегуляции содержания кремния в организме человека. Акцентируется внимание, что в Рекомендациях ВОЗ, а также в зарубежных национальных нормативных документах, регламентирующих требования к химическому составу питьевой воды, норматив содержания кремния отсутствует. Предложено в целях внутренней гармонизации нормативной базы отечественного санитарного законодательства, а также с зарубежным законодательством аннулировать в ДСанПиН 2.2.4-171-10 норматив кремния.

**Ключевые слова:** питьевая вода, кремний, нормирование.

УДК 546.28:613.31

## ДО ПИТАННЯ ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ НОРМУВАННЯ КРЕМНІЮ У ПИТНІЙ ВОДІ

**А.В. Мокієнко**

*Державна установа «Український науково-дослідний інститут медичної реабілітації та курортології» Міністерства охорони здоров'я України, м. Одеса*

У роботі представлено короткий аналіз даних літератури про біологічну роль кремнію і нормування його в питній воді. Висловлено судження про відсутність достатнього експериментального обґрунтування такого нормування, яке не повинно поширюватися на сполуки кремнію природного походження, постійно присутні в природних водах. Обґрунтовано формальність віднесення кремнію до другого класу небезпеки, що суперечить неспростовним фактам нетоксичності, некумулятивності і наявності механізму саморегуляції вмісту кремнію в організмі людини. Акцентовано увагу,

що в Рекомендаціях ВООЗ, а також у закордонних національних нормативних документах, що регламентують вимоги до хімічного складу питної води, норматив вмісту кремнію відсутній. Запропоновано з метою внутрішньої гармонізації нормативної бази вітчизняного санітарного законодавства, а також із закордонним законодавством анулювати в ДСанПіН 2.2.4-171-10 норматив кремнію.

**Ключові слова:** питна вода, кремній, нормування.

## REVISITING THE ROLE OF SILICON STANDARDIZATION IN DRINKING WATER

**A.V. Mokiienko**

*State Enterprise «Ukrainian Research Institute of Medical Rehabilitation and Health Resort Ukrainian Ministry of health Care», Odessa*

Brief sum-up of literature data on the biological role of silicon and its standardization in drinking water is presented. An observation was made about the lack of sufficient experimental justification for such a valuation, which should not apply to compounds of natural silicon that are constantly present in natural waters. The formality of classifying silicon as a second class of danger is justified, which contradicts the irrefutable facts of nontoxicity, non-cumulation and the presence of a self-regulation mechanism for the silicon content in the human body. Attention is focused that in the WHO Recommendations, as well as in foreign national regulations, regulating the requirements for the chemical composition of drinking water, the standard content of silicon is absent. Proposed for the purposes of internal harmonization of the regulatory framework of domestic sanitary legislation, as well as with foreign legislation, annul the standard of silicon in State Sanitary Rules and Norms 2.2.4-171-10.

**Key words:** drinking water, silicon, standardization.

Вперше поступила в редакцію 01.12.2017 г. Рекомендована к печати на заседании редакционной коллегии после рецензирования.