

Научная статья

ЭССЕНЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ НОРМИРОВАНИЕ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ

О.О. Сеницына, С.И. Плитман, Г.П. Амплеева, О.А. Гильденскиольд, Т.М. Ряшенцева

Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана, Россия, 141014, г. Мытищи, ул. Семашко, 2

Ряд эссенциальных и условно эссенциальных элементов природного происхождения (селен, хром, йод, молибден, кобальт, ванадий, фтор, литий, кремний, бор, бром) нормированы в питьевой воде по санитарно-токсикологическому показателю вредности.

Определена роль питьевого фактора в пополнении организма человека эссенциальными элементами природного происхождения, а также обоснована необходимость актуализации нормативов по данной группе веществ.

Использованы расчетные модели дозовых эквивалентов ПДК (предельно допустимая концентрация) эссенциальных элементов, расчет ПДК для них, исходя из необходимости 20%-ного вклада водного фактора в референтные дозы, и расчет неканцерогенных рисков для здоровья за счет присутствия в конкретных питьевых источниках эссенциальных элементов, разделенных по однонаправленности действия на состояние отдельных органов и систем организма.

На примере существующих источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, содержащих шесть эссенциальных элементов однонаправленного действия, применена методика оценки неканцерогенного риска здоровью населения.

Действующие ПДК никеля и селена не обеспечивают оптимальный уровень суточного поступления, в то время как установленные их ПДК не только безвредны, но и соответствуют минимально необходимой дозе поступления. В то же время для лития ни действующее ПДК, ни расчетное с учетом оценки риска на основе международно принятых референтных доз не обеспечивают минимально необходимое суточное поступление в организм человека. При содержании в воде бора и ванадия на уровне ПДК будет иметь место превышение их 20%-ного вклада в референтную дозу (71,4 и 164,7 % соответственно). Поступление этих эссенциальных элементов с пищевыми продуктами может являться фактором, детерминирующим уровень неканцерогенного риска.

Ключевые слова: эссенциальные элементы, ПДК в питьевой воде, неканцерогенные риски, референтные дозы, минимально необходимые суточные дозы, никель, селен, литий, бор, ванадий.

В действующем СанПиН 2.1.4.1074-01¹ присутствуют нормативы веществ, относящихся к эссенциальным и условно эссенциальным: селен, хром, йод, молибден, кобальт, ванадий, фтор, литий, кремний, бор, бром. Их нормативы в питьевой воде

(ПДК_{пв}) установлены по санитарно-токсикологическому показателю вредности. В ряде случаев их наличие в питьевой воде детерминируется природным качеством источника [1, 2]. При этом имеет место одновременное нахождение нескольких элементов

© Сеницына О.О., Плитман С.И., Амплеева Г.П., Гильденскиольд О.А., Ряшенцева Т.М., 2020

Сеницына Оксана Олеговна – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, исполняющий обязанности директора Института комплексных проблем гигиены, заведующий отделом гигиены питьевого водоснабжения и охраны водных объектов, главный научный сотрудник (e-mail: oxsin66@mail.ru; тел.: 8 (985) 304-34-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0241-0690>).

Плитман Софья Исааковна – доктор медицинских наук, профессор, консультант отдела гигиены питьевого водоснабжения и охраны водных объектов (e-mail: sofyaplitman40@mail.ru; тел.: 8 (495) 686-29-05; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6466-9198>).

Амплеева Галина Петровна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела гигиены питьевого водоснабжения и охраны водных объектов (e-mail: voda420@fferisman.ru; тел.: 8 (495) 582-96-68; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8097-3344>).

Гильденскиольд Ольга Алексеевна – научный сотрудник отдела гигиены питьевого водоснабжения и охраны водных объектов (e-mail: goa@fferisman.ru; тел.: 8 (495) 582-96-68; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4559-1663>).

Ряшенцева Татьяна Максимовна – младший научный сотрудник отдела гигиены питьевого водоснабжения и охраны водных объектов (e-mail: ty-tat-m@yandex.ru; тел.: 8 (495) 582-96-68; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0899-3505>).

¹ СанПиН 2.1.4.1074-01 (с изменениями от 07.04.2010). Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798042> (дата обращения: 06.04.2020).

в разных концентрациях. Согласно опубликованным данным², в подземных водоисточниках концентрации бора достигают 0,46 мг/л, концентрации брома находятся в пределах 0,029–0,9 мг/л, ванадия – 0,0013–0,074 мг/л, кальция – 20–430 мг/л, кобальта – 0,0004–0,0074 мг/л, кремния – 3,7–24,2 мг/л, лития – 0,019–0,071 мг/л, молибдена – 0,001–0,021 мг/л, никеля – 0,0043–0,021 мг/л, селена – 0,001–0,052 мг/л, фтора – 0,4–4,8 мг/л, хрома – 0,0016–0,1 мг/л [3–9]. Таким образом, можно констатировать, что содержание эссенциальных элементов в потенциальных и эксплуатируемых источниках хозяйственно-питьевого назначения колеблется от уровней, находящихся значительно ниже ПДК, до величин, превышающих нормативы более чем в четыре раза, например по фтору, бромю, селену.

Цель исследований – определение роли питьевого фактора в пополнении организма человека эссенциальными элементами природного происхождения.

Материалы и методы. Материалами исследования являлись:

- базовая информация о содержании в водоисточниках РФ эссенциальных элементов природного происхождения, регламентированных в питьевой воде по санитарно-токсикологическому показателю вредности;

- нормативы эссенциальных элементов в питьевой воде и пищевых продуктах;

- референтные дозы для эссенциальных элементов при хроническом пероральном поступлении.

При исследовании использованы следующие методы: расчеты дозовых эквивалентов ПДК_{пв} для эссенциальных элементов, нормированных по санитарно-токсикологическому показателю вредности; ПДК_{пв} с учетом 20%-ного вклада питьевого фактора в референтную дозу для эссенциальных элементов при хроническом пероральном поступлении; расчет неканцерогенных рисков для здоровья за счет присутствия в конкретных питьевых источниках эссенциальных элементов, дифференцированных по од-

нонаправленности действия на функциональное состояние отдельных органов и систем.

Результаты и их обсуждение. В связи с тем что эссенциальные элементы выполняют функции регуляции активности метаболических систем и геномного аппарата клетки, и человеческий организм реагирует на их присутствие не только при дозе, вызывающей токсический эффект, но и при дефицитной дозе, представляется целесообразным актуализировать нормативы по данной группе веществ [2, 6, 10–13].

Проблеме минимально необходимых уровней элементов, характеризующих физиологическую полноценность питьевой воды, был посвящен ряд работ, что подробно отражено в докладе ВОЗ, результаты которых нашли отражение в нормативном документе, регламентирующем качество питьевой воды, расфасованной в емкости³ [14–17]. Например, в рамках этих исследований обоснованы минимально необходимые уровни кальция и магния. В то же время уровень минимальной жесткости (обусловленной в основном содержанием этих элементов) в действующих нормативных документах⁴ не указан, и единственной регламентирующей величиной является верхний допустимый уровень⁵. Что касается публикаций о роли дефицита других эссенциальных элементов, то они не дают достаточных оснований для регламентации их минимально необходимого уровня в питьевой воде [18–21].

Теоретическими и прикладными проблемами обеспечения потребности человека в эссенциальных элементах в основном занимаются специалисты в области гигиены питания⁶, которые практически не учитывают роль водного фактора, хотя ВОЗ рекомендует нормировать химические вещества в питьевой воде с учетом их поступления с пищевыми продуктами⁷ [15, 22–24]. Более того, в четвертом издании руководства ВОЗ по контролю качества питьевой воды⁸ долю вклада водного фактора в референтной дозе при пероральном поступлении рекомендовано считать до 20%. Ранее установленная доля в 10% признается большинством экспертов излишне консервативной и недостаточной.

² Алексеева Л.П. Геохимия подземных льдов, соленых вод и рассолов Западной Якутии: дис. ... д-ра геол.-мин. наук. – Иркутск, 2016. – 233 с.; Дреева Ф.Р. Особенности распределения микроэлементов в горных реках Кабардино-Балкарии под влиянием природных и антропогенных источников: дис. ... канд. геогр. наук. – Нальчик, 2019. – 130 с.; Чудаев О.В. Геохимия и условия формирования современных гидротерм зоны перехода от азиатского континента к Тихому океану: дис. ... д-ра геол.-мин. наук. – Владивосток, 2002. – 256 с.

³ СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. – М., 2002. – 22 с.

⁴ СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения: Постановление от 26 сентября 2001 года № 24 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798042> (дата обращения: 06.04.2020).

⁵ ГОСТ 27.61-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-2761-84> (дата обращения: 06.04.2020).

⁶ МР 2.3.1.2432-08. Нормы физиологической потребности в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200076084> (дата обращения: 06.04.2020).

⁷ Конюхов В.А. Методология оценки риска йодного дефицита у населения Оренбурга: дис. ... д-ра мед. наук. – Оренбург, 2004. – 295 с.; Толмачева Н.В. Эколого-физиологическое обоснование оптимальных уровней макро- и микрокомпонентов в питьевой воде и пищевых рационах: дис. ... д-ра мед. наук. – М., 2011. – 116 с.

⁸ Руководство по обеспечению качества питьевой воды. – 4-е изд. – Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2017. – 628 с.

Таблица 1

Патологии, обусловленные дефицитом и избытком эссенциальных и условно эссенциальных элементов, нормированных в питьевой воде по санитарно-токсикологическому признаку вредности

Элемент	Изменения в организме человека при	
	дефицитных дозах	избыточных дозах
Литий	Биполярные расстройства. Возрастает вероятность развития сахарного диабета, сердечно-сосудистых нарушений, гипертонии	Неврологические и психические расстройства, угнетение функции щитовидной железы, почечная недостаточность
Хром	Нарушение толерантности к глюкозе, риск нарушения репродуктивной функции у мужчин	Поражение функции печени, почек, желудочно-кишечного тракта
Селен	Нарушение белковообразовательной функции печени, иммунного статуса, дисфункция поджелудочной железы. Отмеченная симптоматика усиливается при дефиците фтора, кальция, йода	Поражения печени, селезенки, кожи
Кобальт	Нарушение кроветворной функции, функции печени, сердечного ритма, повреждение костной ткани. Отмеченные изменения усиливаются при дефиците фтора	Поражения эндокринной, кроветворной, сердечно-сосудистой системы
Молибден	Тахикардия, куриная слепота	Поражения почек, кроветворной и костно-мышечной систем
Кремний	Артрозы. Проявления усиливаются при дефиците кальция	Поражения почек и костно-мышечной системы
Фтор	Кариес, пародонтоз. Процесс усиливается при дефиците кальция	Поражения костной системы
Йод	Гипотиреоз, патология плода первого триместра. Проявления усиливаются при дефиците селена, кобальта, кальция	Гипертиреоз
Бор	Дисбаланс половых гормонов, предрасположение к сахарному диабету, усиление остеопороза	Поражение печени, почек, нервной системы, репродуктивной функции
Бром	Анемия, возрастает риск выкидышей плода	Поражение эндокринной, кроветворной системы, почек
Ванадий	Падение сахара в крови	Поражение почек, печени, кроветворных органов
Никель	Проявление дерматита	Поражение печени, сердечно-сосудистой и кроветворной системы, желудочно-кишечного тракта
Кальций	Остеопороз, нарушение свертываемости крови. Проявления усиливаются при дефиците селена, кремния, йода, фтора	Алкалоз, гиперкальциемия

Примечание: таблица составлена на основе данных из публикаций [1, 11–13, 16, 18–21, 25–31].

Данные о вероятных патологических состояниях организма человека, обусловленных не только избытком, но и дефицитом эссенциальных элементов (табл. 1), нормированных в питьевой воде по санитарно-токсикологическому показателю вредности, свидетельствуют о важности их учета при прогнозировании рисков для здоровья.

Ограничение выбранных нами для рассмотрения эссенциальных элементов, нормированных в воде только по санитарно-токсикологическому показателю вредности, обусловлено тем, что такие вещества, как медь, цинк, железо, регламентируются по органолептическому показателю вредности, относятся к 3-му и 4-му классам опасности и на них, согласно принятой методологии оценки риска здоровью, не распространяется принцип суммации при совместном присутствии.

Предпосылкой для настоящего сообщения явилась конкретная ситуация с обнаружением подземного источника, в котором присутствовали эссенциальные элементы, нормируемые по санитарно-токсикологическому показателю вредности, в концентрациях не только ниже ПДК (табл. 2), но и ниже тех, которые эквивалентны минимально необходимому и дефицитным дозам. В связи с разбросом имеющихся в литературе данных об уровнях минимально необходимых доз выбраны самые низкие.

В процессе выполнения работы осуществлены следующие процедуры:

– концентрации элементов (мг/л) переводились в единые измерения с суточным поступлением минимально необходимых уровней (мг/кг/сут); в расчетах использованы следующие константы: масса тела взрослого человека принята за 60 кг, объем выпитой воды – 3 л (табл. 3)⁹;

– дозы, эквивалентные ПДК эссенциальных элементов в питьевой воде, сопоставляли с минимально необходимыми и референтными (см. табл. 3);

– наряду с определением вклада дозовых эквивалентов ПДК в референтную дозу определяли дозы, вклад которых в референтную дозу составлял 20 %. Минимально необходимые дозы, предварительно переведенные в концентрации, сопоставляли с действующими и расчетными ПДК (см. табл. 3);

– дозы, эквивалентные действующим ПДК_{пв}, сопоставляли с дозами, соответствующими пищевому поступлению (табл. 4);

– расчетные ПДК, обеспечивающие 20%-ный вклад питьевого фактора в референтную дозу, сопоставляли с концентрациями, обеспечивающими 100%-ное покрытие минимально необходимого потребления по соответствующему эссенциальному элементу (табл. 5);

⁹ Руководство по обеспечению качества питьевой воды. – 4-е изд. – Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2017. – 628 с.

Таблица 2

Показатели и критерии, характеризующие риски для здоровья населения эссенциальных элементов, содержащихся в воде «сценарного» источника питьевого водоснабжения

Элемент	Концентрация в воде, мг/л	Дозовый эквивалент концентрации, мг/кг/сут*	ПДК в воде, мг/л	С/ПДК	Минимально необходимое суточное поступление, мг/кг/сут	Доля от минимального необходимого суточного потребления, %
Литий	0,06	0,003	0,03	2	0,0014	214
Бор	0,04	0,002	0,5	0,08	0,0028	71,4
Ванадий**	0,017	0,00085	0,1	0,1	0,00014	164,7
Хром	0,019	0,000095	0,05	0,38	0,0007	1,35
Никель	0,001	0,00005	0,02	0,05	0,0014	3,6
Селен	0,0039	0,0002	0,01	0,13	0,00042	47,6
Молибден	0,005	0,00025	0,07	0,07	0,0007	35,7

 $\Sigma \text{С/ПДК} = 2,71$

Примечание:

 * – рассчитан, исходя из факторов экспозиции, принятых при обосновании ПДК в воде в соответствии с МУ 2.1.5.720-98 (60 кг массы тела, 3 л суточного потребления воды)¹⁰;

** – относится к 3-му классу опасности и не суммируется отношение концентраций к ПДК.

Таблица 3

Характеристики эссенциальных элементов, нормированных в питьевой воде по санитарно-токсикологическому показателю вредности

Элемент	ПДК, мг/л в воде	Минимально необходимая доза, мг/кг/сут.*	R/D, мг/кг/сут**	Дозовый эквивалент ПДК _{пв} , мг/кг/сут
Бор	0,5	0,0024	0,2	0,014
Бром	0,2	0,0059	1,0	0,0066
Ванадий	0,1	0,00012	0,007	0,0032
Йод	0,12	0,00059/0,002***	0,017	0,0034
Кобальт	0,1	0,0004	0,02	0,0086
Литий	0,03	0,0012	0,02	0,00098
Молибден	0,07	0,00059/0,008***	0,02	0,0023
Никель	0,02	0,00112	0,02	0,00066
Селен	0,01	0,00035/0,002***	0,005	0,00032
Фтор****	1,0	0,0178/0,021	0,06	0,032
Хром	0,05	0,00059/0,0025	0,005	0,0014

Примечание:

 * – средние данные по публикациям¹¹ [11, 13, 24];

 ** – данные Р 2.1.10.1920-04¹²;

*** здесь и в табл. 4 – перевод в дозы на кг массы тела;

**** – оптимальная концентрация.

Таблица 4

 Сопоставление дозовых эквивалентов вклада ПДК_{пв} и доз пищевого поступления в референтные дозы

Элемент	Дозовый эквивалент ПДК _{пв} , мг/кг/сут	Доза пищевого поступления, мг/кг/сут***	Референтная доза, мг/кг/сут	Вклад дозового эквивалента ПДК _{пв} в R/D, %	Вклад пищевого поступления в R/D, %
Бор	0,014	0,0018	0,2	7	0,9
Ванадий	0,0032	0,0006	0,007	45,7	8,5
Кобальт	0,0086	0,004	0,02	43	20
Литий	0,00098	0,003	0,02	5,0	15
Йод	0,0034	0,003	0,017	20	17,9
Молибден	0,0023	0,0028	0,02	11,5	14,0
Селен	0,00032	0,002	0,005	6,4	40
Фтор	0,032	0,025	0,06	54	41,6
Хром	0,0014	0,002	0,005	28	40

¹⁰ МУ 2.1.5.720-98. Обоснование гигиенических нормативов химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: методические указания [Электронный ресурс] / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 15 октября 1998 года // СНИПы и ГОСТы. Справочный ресурс. – URL: <https://www.snip-info.ru/index.html> дата обращения: 06.04.2020).

¹¹ МР 2.3.1.2432-08. Нормы физиологической потребности в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200076084> (дата обращения: 06.04.2020).

¹² Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 06.04.2020).

Таблица 5

Расчетные концентрации, обеспечивающие 20%-ный вклад питьевого фактора в референтные дозы и 100%-ное покрытие минимально необходимого потребления эссенциального элемента

Элемент	ПДК, мг/л	Расчетная ПДК, обеспечивающая 20%-ный вклад в R/D , мг/л	Расчитанная концентрация, обеспечивающая 100%-ное покрытие минимально необходимой дозы, мг/л
Бор	0,5	1,4	0,072
Бром	0,2	7	0,2
Ванадий	0,1	0,05	0,0037
Йод	0,125	0,13	0,02
Кобальт	0,1	0,14	0,0083
Литий	0,03	0,14	0,041
Молибден	0,07	0,14	0,02
Никель	0,02	0,14	0,041
Селен	0,01	0,034	0,011
Фтор	1,0	0,42	0,62
Хром	0,05	0,032	0,029

– для действующих ПДК_{пв}, взятых для обработки элементов и их уровней, обнаруженных в водоисточнике, рассчитаны коэффициенты опасности;

– на примере реально выбранного подземного источника рассчитан неканцерогенный риск (по критерию индекса опасности) с учетом присутствия в воде нескольких эссенциальных элементов, нормированных по санитарно-токсикологическому показателю вредности и дифференцированных по одностороннему действию на почки. Расчеты проведены согласно отечественной методике, дополненной определением вклада обнаруженных элементов в минимально необходимые уровни, обеспечивающие нормальное функционирование организма. Индекс опасности сопоставлялся с рассчитанной суммой отношений обнаруженных концентраций к их ПДК¹³.

Установлено, что действующие ПДК фтора, хрома, кобальта, бора, ванадия, йода, молибдена, брома

могут обеспечить минимально необходимые уровни поступления в качестве эссенциальных элементов.

При содержании в воде бора и ванадия на уровне ПДК будет иметь место превышение их 20%-ного вклада в референтную дозу (71,4 и 164,7 % соответственно). Поступление этих эссенциальных элементов с пищевыми продуктами может являться фактором, детерминирующим уровень неканцерогенного риска.

Расчетные ПДК_{пв} для никеля и селена относительно действующих более оптимальны, так как гарантируют не только безвредность, но и обеспечивают минимально необходимое поступление в качестве эссенциальных элементов.

Как действующий, так и расчетный норматив для лития не обеспечивает минимально необходимый уровень его поступления в организм.

Расчеты по оценке неканцерогенного риска для здоровья за счет использования «сценарного» подземного источника показали следующее (табл. 6) [3].

Таблица 6

Показатели и критерии, характеризующие риски для здоровья элементного состава воды «сценарного» питьевого источника

Элемент	Концентрация, мг/л	Дозовый эквивалент концентрации, мг/кг/сут	HQ	Минимально необходимое суточное поступление, мг/кг/сут	Доля покрытия обнаруженной концентрацией минимально необходимого суточного потребления, %	C/PDK
Литий	0,06	0,017	0,085	0,0014	80	2
Бор	0,04	0,001	0,005	0,0028	35,7	0,2
Ванадий ^x	0,017	0,0005	0,07	0,00014	350	0,085
Хром ^x	0,019	0,0006	0,12	0,0007	7,8	0,38
Никель ^x	0,001	0,00003	0,0015	0,0014	2,14	0,05
Селен	0,0039	0,0001	0,028	0,00042	25	0,13
Молибден	0,005	0,00014	0,007	0,0007	20	0,25

$HI = 0,32$

$\Sigma C/PDK = 3,1$

Примечание: ^x – относится к 3-му классу опасности и не суммируется отношение концентраций к ПДК.

¹³ Руководство по обеспечению качества питьевой воды. – 4-е изд. – Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2017. – 628 с.

Неканцерогенный риск в отношении развития почечной патологии оценивается как приемлемый и составляет 0,32 [31]. Однако качество источника по содержанию хрома и никеля не может рассматриваться в качестве приемлемого для здоровья, так как дозовые эквиваленты концентраций этих элементов значительно ниже дефицитных: по хрому составляет 0,0000095 мг/кг/сут, никелю – 0,00005 мг/кг/сут при дефицитной дозе для того и другого элемента 0,028 мг/кг/сут.

Этот факт следует учитывать при проведении социально-гигиенического мониторинга, обратив внимание на патологию, детерминированную дефицитом соответствующих элементов (нарушением мужской репродуктивной функции и толерантности к глюкозе у лиц, для которых питьевой фактор является доминирующим среди прочих, влияющих на распространенность аналогичных нарушений в организме).

Параллельно выполненные расчеты с использованием действующей методики оценки суммарного воздействия веществ, нормированных по санитарно-токсикологическому показателю вредности¹⁴, свидетельствуют, что допустимый гигиенический норматив для суммы одновременно присутствующих в источнике превышен, так как сумма долей обнаруженных концентраций к их ПДК составляет 3,1.

Решение проблемы дефицита эссенциальных элементов, главным образом в рамках гигиены питания, и незначительное отведение роли водного фактора в пополнении их поступления в организм человека не представляется достаточным. Практически не учитывается тот факт, что вода всегда используется в качестве сырья при обработке и приготовлении пищи от 1000 до 4000 л на тонну продукции,

а потери необходимых для организма элементов в пищевом продукте при термической обработке достигают 29 % [22, 31]. В связи с этим так своевременна рекомендация ВОЗ в части увеличения с 10 до 20 % вклада водного фактора в референтные дозы. Одним из путей решения проблемы может быть более широкое использование населением для питьевых нужд источников, в которых уровень эссенциальных элементов покрывал бы дефицит их необходимого потребления [24–31].

Выводы:

1. При содержании в источнике питьевого водоснабжения фтора, хрома, кобальта, бора, ванадия, йода, молибдена, брома в концентрациях, находящихся на уровне действующих ПДК в питьевой воде, обеспечивается минимально необходимая их потребность для человека.

2. Оценивая водоисточники, в которых присутствует никель и селен, предпочтительнее ориентироваться на расчетные ПДК, при которых покрывается необходимая потребность организма в этих элементах, в то время как на уровне действующих ПДК такого эффекта не наблюдается.

3. Представляется целесообразным при выборе источников питьевого водоснабжения ориентироваться на те, в которых природное содержание эссенциальных элементов обеспечивает покрытие минимально необходимого их уровня, соответствующего физиологической потребности в них организма человека.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
2. Крайнев В.С. Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: Наука, 2004. – 677 с.
3. Горбачев И.В., Пузанов А.В. Микроэлементы в поверхностных и подземных водах в бассейнах малых рек северо-запада Алтая // Мир науки, культуры и образования. – 2008. – № 1. – С. 23–26.
4. Геохимические особенности природных вод Западной Сибири: микроэлементный состав / Т.А. Кремлева, Т.И. Моисеенко, В.Ю. Хорошавин [и др.] // Вестник Тюменского ГУ. – 2012. – № 12. – С. 80–89.
5. Логинова Е.В. Гидрология: курс лекций. – Минск: БГУ, 2011. – 300 с.
6. Мишукова Т.Т. Определение содержания микроэлементов в питьевых водах Оренбурга // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10. – С. 303–308.
7. Склярова О.А., Скляров Е.В. Концентрации микроэлементов в малых озерах Ингодинской впадины (Читинская область) // Геология и геофизика. – 2012. – № 12. – С. 1722–1734.
8. Шахматов С.А. Качество подземных вод территории районов Красноярского края // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2013. – № 5. – С. 154–156.

¹⁴ МР 2.3.1.2432-08. Нормы физиологической потребности в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200076084> (дата обращения: 06.04.2020); Колюхов В.А. Методология оценки риска йодного дефицита у населения Оренбурга: дис. ... д-ра мед. наук. – Оренбург, 2004. – 295 с.; Толмачева Н.В. Эколого-физиологическое обоснование оптимальных уровней макро- и микрокомпонентов в питьевой воде и пищевых рационах: дис. ... д-ра мед. наук. – М., 2011. – 116 с.

9. Янин Е.П. Особенности химического состава и эколого-гигиеническая роль питьевых вод в условиях природно-техногенной биогеохимической провинции // Экологическая экспертиза. – 2012. – № 2. – С. 64–91.
10. Дахова Е.В., Целых Е.Д. Влияние состава питьевой воды на состояние некоторых систем организма // Ученые записки Томского государственного университета. – 2011. – Т. 6, № 4. – С. 105–109.
11. Оберлис Д., Харланд Б.Ф. Биологическая роль макро- и микрокомпонентов у человека и животных. – СПб.: Наука, 2008. – 544 с.
12. Родионова Л.В. Физиологическая роль макро- и микроэлементов: обзор литературы // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2005. – № 6. – С. 195–198.
13. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. – М.: Мир, 2004. – 272 с.
14. Кондратюк В.А. Микроэлементы, значимость для здоровья в питьевой воде малой минерализации // Гигиена и санитария. – 1989. – № 2. – С. 81–82.
15. Лютайт Г.Ф. Влияние минерального состава питьевой воды на здоровье населения // Гигиена и санитария. – 1992. – № 1. – С. 13–15.
16. К вопросу коррекции стандартов по деминерализованной воде с учетом жесткости питьевой воды / С.И. Плитман, Ю.В. Новиков, Н.В. Тулакина [и др.] // Гигиена и санитария. – 1989. – № 7. – С. 7–11.
17. Итоги и перспективы исследований в области питьевой воды / Ю.А. Рахманин, Р.И. Михайлова, Л.Ф. Кирьянова, Е.М. Севостьянова, И.Н. Рыжова // Итоги и перспективы научных исследований по проблеме экологии человека и гигиены окружающей среды. – М., 2001. – С. 97–105.
18. Ковальский В.В. Роль йода и кобальта в деятельности щитовидной железы в условиях биогеохимических провинций с недостатком йода и кобальта // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. – М., 1972. – С. 450–465.
19. Тарантин А.В., Землянова М.А. Эссенциальная роль и токсические эффекты ванадия // Экология человека. – 2015. – № 12. – С. 59–62.
20. Трошина Е.А. К вопросу о недостатке и избытке йода в организме // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. – 2010. – № 4. – С. 9–16.
21. Янин Е.П. Биогеохимическая роль и эколого-гигиеническое значение фтора // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2009. – № 4. – С. 20–108.
22. Дружинин П.В., Новиков Л.Ф., Лысенков Ю.А. Мир науки. – М., 2010. – 339 с.
23. Лысков Ю.А. Роль и физиологические основы обмена макро- и микроэлементов в питании человека // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2009. – № 2. – С. 120–131.
24. Ребров В.Г., Громова О.А. Витамины, макро- и микроэлементы. – М.: ГОЭТАР-Медиа, 2008. – 960 с.
25. Барановская Н.В., Перминова Т.А. Биогеохимические особенности накопления брома в организме человека на примере жителей Томской области // Вестник ОмГУ. – 2016. – № 3. – С. 155–161.
26. Галенко-Ярошевский П.А. Влияние лития на деятельность сердечно-сосудистой системы // Фармакология и токсикология. – 1986. – № 5. – С. 115–117.
27. Зинина О.Т. Влияние некоторых тяжелых металлов и микроэлементов на биохимические процессы в организме человека // Избранные вопросы судебно-медицинской экспертизы. – 2001. – № 4. – С. 99–105.
28. Мазаев В.Т., Шлепнина Т.Г. Оценка степени санитарной опасности соединений кремния в природных и питьевых водах // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 5. – С. 37.
29. Рецтина С.В. Роль хрома в организме человека // Вестник РУДН. – 2009. – № 4. – С. 50–55.
30. Решетник Л.А., Парфенова Е.О. Селен в жизни человека и животных / под ред. Л.П. Никитиной. – М.: ВИНТИ, 1995. – 242 с.
31. Швецов А.А., Буланов Э.А. Расход воды на предприятиях общественного питания и пути его сокращения // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2015. – Т. 32, № 2. – С. 55–59.

Эссенциальные элементы и их нормирование в питьевой воде / О.О. Сеницына, С.И. Плитман, Г.П. Амплеева, О.А. Гильденскиольд, Т.М. Ряшенцева // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 3. – С. 30–38. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.04

Research article

**ESSENTIAL ELEMENTS AND STANDARDS FOR THEIR CONTENTS
IN DRINKING WATER****O.O. Sinitsyna, S.I. Plitman, G.P. Ampleeva, O.A. Gil'denskiol'd, T.M. Ryashentseva**

Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, 2 Semashko Str., Mytishchi, 141014, Russian Federation

Certain essential and conditionally essential natural elements (selenium, chromium, iodine, molybdenum, cobalt, vanadium, fluorine, lithium, silicon, boron, and bromine) are standardized in terms of their contents in drinking water as per sanitary-toxicological parameters of adverse health effects.

Our research goal was to determine a contribution made by drinking water into supplying a human body with essential natural elements as well as to substantiate the necessity to update standards regarding these substances.

We applied calculation models for dose equivalents of essential elements MPC (maximum permissible concentration), MPC calculations for these substances basing on a necessary 20 % contribution made by drinking water into reference doses, and calculation of non-carcinogenic health risks due to essential elements occurrence in specific drinking water sources with these elements being distributed into different groups as per similar effects produced on certain organs and systems in a body.

We took existing drinking water sources containing 6 essential elements with similar effects as an example and applied a procedure for assessing non-carcinogenic health risks.

Acting nickel and selenium MPC do not supply a body with an optimal daily intake whereas their determined MPC are not only harmless but also conform to the minimum necessary intake dose. At the same time neither acting lithium MPC nor its calculated one taking into account risk assessment based on internationally accepted reference doses doesn't provide the minimum necessary daily intake into a human body. When boron and vanadium are contained in drinking water in a concentration close to their MPC, then their 20 % contribution into the reference dose is exceeded (71.4 % and 164.7 % accordingly). Introduction of these essential elements with food can become a factor that determines non-carcinogenic risk level.

Key words: essential elements, MPC in drinking water, non-carcinogenic risks, reference doses, minimum necessary daily doses, nickel, selenium, lithium, boron, vanadium.

References

1. Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Strochkova L.S. Mikroelementy cheloveka [Human microelements imbalances]. Moscow, Meditsina Publ., 1991, 496 p. (in Russian).
2. Krainev V.S., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty [Underground waters geochemistry. Theoretical, applied, and ecological aspects]. Moscow, Nauka Publ., 2004, 677 p. (in Russian).
3. Gorbachev I.V., Puzanov A.V. Mikroelementy v poverkhnostnykh i podzemnykh vodakh v basseinakh mal'nykh rek severo-zapada Altaya [Microelements in surface and underground waters in small river basins in north-western Altai]. *Mir nauki, kul'tury i obrazovaniya*, 2008, no. 1, pp. 23–26 (in Russian).
4. Kremleva T.A., Moiseenko T.I., Khoroshavin V.Yu. [et al.]. Geokhimicheskie osobennosti prirodnykh vod Zapadnoi Sibiri: mikroelementnyi sostav [Geochemical peculiarities of natural waters in the West Siberia: microelement structure]. *Vestnik Tyumenskogo GU*, 2012, no. 12, pp. 80–89 (in Russian).
5. Loginova E.V. Gidrologiya. Kurs lektsii [Hydrology. Lectures]. Minsk, BGU Publ., 2011, 300 p. (in Russian).
6. Mishukova T.T. Determination of trace elements in drinking waters of Orenburg oblast. *Vestnik Orenburgskogo GU*, 2015, no. 10, pp. 303–308 (in Russian).
7. Sklyarova O.A., Sklyarov E.V. Concentration of trace elements in small lakes of the ingoda basin (Chita region, Russia). *Geologiya i geofizika*, 2012, no. 12, pp. 1722–1734 (in Russian).

© Sinitsyna O.O., Plitman S.I., Ampleeva G.P., Gil'denskiol'd O.A., Ryashentseva T.M., 2020

Oksana O. Sinitsyna – Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, acting Director of the Institute for Complex Problems of Hygiene, Head of the Department for Drinking Water Supply Hygiene and Water Protection, Chief researcher (e-mail: oxsin66@mail.ru; tel.: +7 (985) 304-34-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0241-0690>).

Sof'ya I. Plitman – Doctor of Medical Sciences, Professor, Consultant at the Department for Drinking Water Supply Hygiene and Water Protection (e-mail: sofiyaplitman40@mail.ru; tel.: +7 (495) 686-29-05; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6466-9198>).

Galina P. Ampleeva – Candidate of Medical Sciences, Senior researcher at the Department for Drinking Water Supply Hygiene and Water Protection (e-mail: voda420@fferisman.ru; tel.: +7 (495) 582-96-68; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8097-3344>).

Ol'ga A. Gil'denskiol'd – Researcher at the Department for Drinking Water Supply Hygiene and Water Protection (e-mail: goa@fferisman.ru; tel.: +7 (495) 582-96-68; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4559-1663>).

Tat'yana M. Ryashentseva – Junior researcher at the Department for Drinking Water Supply Hygiene and Water Protection (e-mail: ry-tat-m@yandex.ru; tel.: +7 (495) 582-96-68; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0899-3505>).

8. Shakhmatov S.A. Kachestvo podzemnykh vod territorii raionov Krasnoyarskogo kraya [Underground waters quality in Krasnoyarsk region]. *Vestnik Krasnoyarskogo GAU*, 2013, no. 5, pp. 154–156 (in Russian).
9. Yanin E.P. Osobennosti khimicheskogo sostava i ekologo-gigienicheskaya rol' pit'evykh vod v usloviyakh prirodno-tekhnogennoi biogeokhimicheskoi provintsii [Peculiarities of chemical structure and ecological and hygienic role of drinking water in a natural-technogenic biogeochemical province]. *Ekologicheskaya ekspertiza*, 2012, no. 2, pp. 64–91 (in Russian).
10. Dakhova E.V., Tselykh E.D. Influence of drinking water in the state of some human body systems. *Uchenye zapiski TGU*, 2011, vol. 6, no. 4, pp. 105–109 (in Russian).
11. Oberlis D., Kharland B.F. Biologicheskaya rol' makro- i mikrokomponentov u cheloveka i zhivotnykh [Biological role played by macro- and micro-components in people and animals]. Sankt-Peterburg, Nauka Publ., 2008, 544 p. (in Russian).
12. Rodionova L.V. Physiological role of macro- and microelements (literature review). *Byulleten' VSNTs SO RAMN*, 2005, no. 6, pp. 195–198 (in Russian).
13. Skal'nyi A.V., Rudakov I.A. Bioelementy v meditsine [Bioelements in medicine]. Moscow, Mir Publ., 2004, 272 p. (in Russian).
14. Kondratyuk V.A. Mikroelementy, znachimost' dlya zdorov'ya v pit'evoi vode maloi mineralizatsii [Microelements, their significance for health in drinking water with low mineralization]. *Gigiena i sanitariya*, 1989, no. 2, pp. 81–82 (in Russian).
15. Lyutai G.F. Vliyanie mineral'nogo sostava pit'evoi vody na zdorov'e naseleniya [Influence exerted by mineral structure of drinking water on population health]. *Gigiena i sanitariya*, 1992, no. 1, pp. 13–15 (in Russian).
16. Plitman S.I., Novikov Yu.V., Tulakina N.V. [et al.]. K voprosu korrektsii standartov po demineralizovannoi vode s uchedom zhestkosti pit'evoi vody [On adjusting standards for mineralized water taking into account drinking water hardness]. *Gigiena i sanitariya*, 1989, no. 7, pp. 7–11 (in Russian).
17. Rakhmanin Yu.A., Mikhailova R.I., Kir'yanova L.F., Sevost'yanova E.M., Ryzhova I.N. Itogi i perspektivy issledovaniy v oblasti pit'evoi vody [Results and prospects of research on drinking water]. *Itogi i perspektivy nauchnykh issledovaniy po problemam ekologii cheloveka i gigieny okruzhayushchei sredy*. Moscow, 2001, pp. 97–105 (in Russian).
18. Koval'skii V.V. Rol' ioda i kobal'ta v deyatelnosti shchitovidnoi zhelezy v usloviyakh biogeokhimicheskikh provintsii s nedostatkom ioda i kobal'ta [Role played by iodine and cobalt in the thyroid gland functioning in biogeochemical provinces with iodine and cobalt deficiency]. *Mikroelementy v sel'skom khozyaistve i meditsine*. Moscow, 1972, pp. 450–465 (in Russian).
19. Tarantin A.V., Zemlyanova M.A. Vanadium essential role and toxic effects. *Ekologiya cheloveka*, 2015, no. 12, pp. 59–62 (in Russian).
20. Troshina E.A. About deficiency and excess in iodine in human. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya*, 2010, no. 4, pp. 9–16 (in Russian).
21. Yanin E.P. Biogeokhimicheskaya rol' i ekologo-gigienicheskoe znachenie flora [Fluorine: biogeochemical role and ecological and hygienic significance]. *Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnykh resursov*, 2009, no. 4, pp. 20–108 (in Russian).
22. Druzhinin P.V., Novikov L.F., Lysenkov Yu.A. Mir nauki. Moscow, 2010, 339 p. (in Russian).
23. Lysikov Yu.A. Rol' i fiziologicheskie osnovy obmena makro- i mikroelementov v pitanii cheloveka [Role and physiological bases of macro- and microelements metabolism in human nutrition]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya*, 2009, no. 2, pp. 120–131 (in Russian).
24. Rebrov V.G., Gromova O.A. Vitaminy, makro- i mikroelementy [Vitamins, macro- and microelements]. Moscow, GOETAR-Media Publ., 2008, 960 p. (in Russian).
25. Baranovskaya N.V., Perminova T.A. Biogeochemical features of the accumulation of bromine in the human body (example of Tomsk region). *Vestnik OmGU*, 2016, no. 3, pp. 155–161 (in Russian).
26. Galenko-Yaroshevskii P.A. Vliyanie litiya na deyatelnost' serdechno-sosudistoi sistemy [Influence exerted by lithium on the cardiovascular system functioning]. *Farmakologiya i toksikologiya*, 1986, no. 5, pp. 115–117 (in Russian).
27. Zinina O.T. Vliyanie nekotorykh tyazhelykh metallov i mikroelementov na biokhimicheskie protsessy v organizme cheloveka [Influence exerted by certain heavy metals and microelements on biochemical processes in a human body]. *Izbrannye voprosy sudebno-meditsinskoj ekspertizy*, 2001, no. 4, pp. 99–105 (in Russian).
28. Mazaev V.T., Shlepnina T.G. Otsenka stepeni sanitarnoi opasnosti soedinenii kremniya v prirodnykh ipit'evykh vodakh [Assessment of sanitary threats created by silicon compounds in natural and drinking water]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2011, no. 5, pp. 37 (in Russian).
29. Retstina S.V. Rol' khroma v organizme cheloveka [Chromium and its role in a human body]. *Vestnik RUDN*, 2009, no. 4, pp. 50–55 (in Russian).
30. Reshetnik L.A., Parfenova E.O. Selen v zhizni cheloveka i zhivotnykh [Selenium in life of people and animals]. In: L.P. Nikitina ed. Moscow, VINITI Publ., 1995, 242 p. (in Russian).
31. Shvetsov A.A., Bulanov E.A. Water consumption at catering establishments and a way of its reduction. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*, 2015, vol. 32, no. 2, pp. 55–59 (in Russian).

Sinitsyna O.O., Plitman S.I., Ampleeva G.P., Gil'denskiol'd O.A., Ryashentseva T.M. Essential elements and standards for their contents in drinking water. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 3, pp. 30–38. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.04.eng

Получена: 07.08.2020

Принята: 17.08.2020

Опубликована: 30.09.2020