

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ МАЛОМИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

О. Ю. Ямилова ✉, В. К. Ковальчук

Тихоокеанский государственный медицинский университет, Владивосток, Россия

Представлен обзор приоритетных загрязнителей питьевой воды систем водоснабжения на Дальнем Востоке и их возможное неблагоприятное влияние на здоровье населения. Показана значимость учета особенностей природного минерального состава питьевой воды в формировании уровня соматической заболеваемости населения, что имеет особое значение в связи с интенсификацией экономического развития этого региона страны.

Ключевые слова: системы водоснабжения, питьевая вода, хлорированные углеводороды, марганец, железо, биогенные элементы, заболеваемость, Дальний Восток России

Вклад авторов: Ковальчук В. К. внес существенный вклад в концепцию и дизайн обзора, выполнил редактирование окончательного варианта рукописи, присланной в редакцию; Ямилова О. Ю. внесла существенный вклад в поиск и анализ литературных данных, подготовила первый вариант статьи.

✉ **Для корреспонденции:** Ольга Юрьевна Ямилова
пр-т Острякова, 2, Владивосток, 690002, Россия; olichyamila82@gmail.com

Поступила: 08.08.2021 **Статья принята к печати:** 28.08.2021 **Опубликована онлайн:** 30.09.2021

DOI: 10.24075/rbh.2021.022

PECULIARITIES OF LOW-MINERALIZED DRINKING WATER CHEMICAL CONTAMINATION INFLUENCE ON HEALTH OF THE POPULATION OF THE RUSSIAN FAR EAST

Yamilova OYu ✉, Koval'chuk VK

Pacific State Medical University, Vladivostok, Russia

Prioritized drinking water contaminants found in water supply systems of the Russian Far East and their possible unfavorable influence on the population health have been reviewed. It is shown that drinking water natural mineral composition peculiarities have to be borne in mind when the level of somatic morbidity of the population is determined, which is essential due to intensified economic advancement of the region.

Keywords: water supply systems, drinking water, chlorinated hydrocarbons, manganese, iron, biogenic elements, disease incidence, Russian Far East

Author contributions: Koval'chuk VK made a significant contribution into the review concept and design, edited the final variant of the manuscript sent to the editorial office; Yamilova OYu made a significant contribution into literature data search and analysis, prepared the first variant of the article.

✉ **Correspondence should be addressed:** Olga Yu. Yamilova
2, Ostryakova Pr., Vladivostok, 690002, Russia; olichyamila82@gmail.com

Received: 08.08.2021 **Accepted:** 28.08.2021 **Published online:** 30.09.2021

DOI: 10.24075/rbh.2021.022

Питьевая вода является одним из ключевых факторов среды обитания человека. Дефицит питьевой воды и ее низкое качество является национальной проблемой во многих странах третьего мира с аридным и муссонным климатом. В условиях возрастания антропогенной нагрузки на источники водоснабжения, степень ее неблагоприятного воздействия на здоровье населения увеличивается, особенно на урбанизированных территориях.

В последние годы на Дальнем Востоке России темпы экономического освоения региона существенно опережают темпы модернизации систем питьевого водоснабжения. Значимость этого процесса велика, так как около 80% населения Дальнего Востока пользуется питьевой водой из систем централизованного водоснабжения. Для очистки воды источников на водопроводных станциях этого региона, как правило, применяются двух- и одноступенчатые схемы обработки. Двухступенчатые схемы до сих пор используют технологию водоподготовки, разработанную в 50–60 годах прошлого века, и включают: реагентную обработку, осаждение (или осветление воды), фильтрование и обеззараживание (хлорирование или облучение ультрафиолетовыми лучами). Многолетними наблюдениями установлено, что в связи с усилением антропогенного загрязнения источников и систематическим

дефицитом реагентов данная технология не обеспечивает удаление из воды растворенных органических загрязнителей природного и антропогенного происхождения [1]. Эти загрязнители способны образовывать с ионами хлора так называемые хлорированные углеводороды [2]. Большую проблему в качестве питьевой воды также создает высокая степень износа водоразводящих сетей, выполненных главным образом из металлических труб без какого-либо антикоррозионного покрытия, что является вторичным источником загрязнения воды окислами металлов, особенно железа [3].

Согласно научным публикациям, наличие какого-либо загрязнителя в питьевой воде не обязательно приводит к негативному воздействию на здоровье человека: уровни могут быть минимальными, экспозиция кратковременной, а токсичность часто зависит от индивидуальной восприимчивости [4,5,6,7,8]. Оценка воздействия любого химического вещества на здоровье населения требует тщательного многолетнего гигиенического исследования, особенно на популяционном уровне.

С начала XX века хлорирование является основным эффективным способом обеззараживания питьевой воды. При хлорировании на водопроводных станциях недостаточно осветленной и обесцвеченной воды,

образуются хлорированные углеводороды — большей частью канцерогенные вещества, такие как тригалометаны (ТГМ): хлороформ, дихлорбромметан, дибромхлорметан и бромформ. Образование тригалометанов обусловлено взаимодействием соединений активного хлора с органическими веществами и ионами брома, присутствующих в воде. Первые побочные продукты взаимодействия хлора и органических соединений были выявлены в 1974 году с открытием тригалометанов. В настоящее время выявлено более 600 различных видов побочных продуктов обеззараживания питьевой воды, большинство из них еще не регламентированы. Тригалометаны — наиболее распространенный класс. Процесс образования тригалометанов растянут во времени до нескольких десятков часов [9]. Повышенное и высокое содержание в питьевой воде хлорорганических соединений является фактором риска для здоровья населения, способствующим росту общей и детской заболеваемости, развитию патологии регуляторных систем [9,10,11,12,13,14]. Экспериментальные токсикологические исследования последних лет показали, что воздействие наиболее распространенных групп побочных продуктов хлорирования воды: тригалометанов (ТГМ) влияет на сперматогенез, подвижность и морфологию сперматозоидов, тем самым снижая репродуктивную функцию у самцов крыс и кроликов. Результаты токсикологических исследований в Китае свидетельствуют, что воздействие побочных продуктов хлорирования питьевой воды может представлять угрозу для мужского репродуктивного здоровья [15], обладают мутагенными, цитотоксическими и генотоксическими свойствами [12,16]. Доказано, что воздействие ТГМ во время беременности достоверно связано с низкой длиной и массой тела плода [13]. Вместе с тем, выявлена взаимосвязь формирования нарушений жирового и углеводного обмена с повышенным содержанием тригалометанов в водопроводной воде у детей, проживающих на территории Пермского края [10]. Токсикологические и эпидемиологические исследования последних лет свидетельствуют о повышенном риске возникновения рака, в том числе рака мочевого пузыря, у лиц длительно потребляющих питьевую воду с содержанием ТГМ, в несколько раз превышающих ПДК [9,11,12,17,18].

По классификации МАИР (Международное агентство по изучению рака) трихлорэтилен относится к группе 2А (вероятный канцероген для человека), хлороформ — к группе 2Б (возможный канцероген для человека). На примере сельской местности Приморского края (территория Уссурийской низменности) установлено, что индивидуальный канцерогенный риск воздействия трихлорэтилена при потреблении воды из колодцев способен достигать значения $1,54 \cdot 10^{-6}$, что соответствует 1,54 дополнительным случаям рака на миллион экспонируемых лиц [17]. В хронических экспериментальных исследованиях показано, что хлороформ, поступающий перорально, индуцирует злокачественные гепатомы, почечные аденомы и аденокарциномы у мышей и крыс [15]. По значениям индекса опасности неблагоприятному воздействию загрязняющих химических веществ питьевой воды подвергаются: ЦНС, почки, печень, кожа и слизистые оболочки, кровеносная, костная и иммунная системы, гормональный обмен, органы пищеварения и кровообращения [4,6,7,9,17].

Следует отметить, что канцерогенные свойства большинства побочных продуктов хлорирования воды

реализуются при хроническом воздействии на организм повышенных и высоких доз канцерогенов, что чаще всего наблюдается при нарушении технологического процесса водообработки, либо при экстремальном воздействии на водный режим источника водоснабжения (наводнение, аварийный сброс сточных вод). В этих условиях причинно-следственная связь между загрязнением воды хлорированными углеводородами и случаями возникновения рака среди населения проявляется за более короткий период времени. При невысоком содержании хлорорганических соединений в питьевой воде доказать ведущую роль этих веществ в развитии рака у населения значительно сложнее. Кроме того, в воде могут находиться соединения иной природы, также обладающие канцерогенной активностью [4,9], что, в свою очередь, также затрудняет процедуру оценки потенциального риска для здоровья населения при воздействии канцерогена водного происхождения.

На большей части Дальневосточного региона вода в источниках по медицинской классификации является мягкой, маломинерализованной, а по технической классификации — ультрапресной, что определяет ее крайне высокую коррозионную активность в отношении водовмещающей арматуры [3]. Из литературы известно, что многолетнее использование питьевой воды с повышенными концентрациями железа до 5 мг/л., может вызывать сухость и зуд кожных покровов, патологические изменения слизистых оболочек, крови и иммунной системы, сидероз — более 37,8 мг/л [3,19,20]. Считается, что очень высокий уровень железа в питьевой воде является причиной аккумуляции железа в организме и развития экологозависимых патологий [21]. Сидерозы, развивающиеся в результате аккумуляции железа, зачастую трансформируются в рак печени и поджелудочной железы. Повышенный уровень железа усиливает пролиферацию опухолевых клеток. При этом инициировать мутагенез способны именно ионы железа, в отличие от железа, поступающего в связанном состоянии в виде хелатов [19,21]. Данные различных источников указывают на причинно-следственную связь между поступлением в организм повышенного уровня железа и заболеваемостью колоректальным раком или возникновением предраковых полипов (аденом), но в настоящее время механизмы этого процесса недостаточно изучены [22,23]. Тем не менее, повышенное насыщение организма железом способствует снижению сопротивляемости организма и может повлечь за собой повышение общей заболеваемости, неоплазий, кардиомиопатий, артропии, а так же увеличению эндокринных и нейродегенеративных расстройств [21]. Избыточное накопление железа может привести к усилению окислительного стресса, что в настоящее время рассматривается в качестве одного из звеньев таких патологических процессов, как болезнь Альцгеймера и болезнь Паркинсона [21,24]. В целом дисбаланс железа в организме способствует избыточному накоплению токсичных металлов в центральной нервной системе (марганца, меди, кобальта, кадмия, алюминия и др) [25].

Марганец также является приоритетным загрязнителем питьевой воды в рудоносных районах Дальнего Востока, как правило на водопроводах с подземными источниками. Его происхождение большей частью природное, хотя он также образуется в водопроводных трубах в результате жизнедеятельности водной микрофлоры. А также в результате промышленного загрязнения почвы, например, в результате неправильного удаления сухозаряженных

батарей или других токсичных отходов [26]. Присутствие повышенных концентраций марганца в питьевой воде, как и в случае с железом, может приводить к изменениям в состоянии здоровья как взрослого, так и детского населения. Марганец — минеральный элемент, который одновременно является эссенциальным и потенциально токсичным, все зависит от величины дозы его поступления в организм. Он играет важную роль в ряде физиологических процессов, но в избытке может быть мощным нейротоксикантом [25,27,28,29].

Хотя конкретные механизмы поглощения и транспорта марганца до конца еще не изучены, некоторые публикации свидетельствуют о том, что железо и марганец могут иметь общие абсорбционные и транспортные пути. С конкуренцией марганца с железом за системы транспорта связывают развитие железодефицитной анемии при нормальном поступлении железа [30,31]. И наоборот, поглощение марганца из еды уменьшается с увеличением содержания железа в пище. Кроме того, уровень железа в организме человека может влиять на биологическую доступность марганца. Кишечная абсорбция марганца увеличивается при недостатке железа, и увеличение запасов железа (уровни ферритина) связаны со снижением поглощения марганца. Мужчины обычно поглощают меньше марганца, чем женщины, это может быть связано с тем, что мужчины, как правило, имеют более высокие запасы железа. Кроме того, дефицит железа увеличивает риск накопления марганца в головном мозге [25,30].

Марганец обычно присутствует в подземных водах в результате выветривания и выщелачивания марганцевых минералов из горных пород в водоносные горизонты, его концентрации могут в воде могут варьировать в широких пределах. Однако работ, посвященных воздействию марганца водного происхождения на здоровье населения крайне мало. В научных исследованиях взрослого и детского населения выявлено, что высокие уровни марганца в воде могут оказывать нейротоксическое действие [32,33]. Так в Бангладеш установлено, что повышенная концентрация марганца в воде (средняя концентрация-800 мкг/л) имеет связь со снижением коэффициента интеллекта (IQ) у 142 детей не старше 10 лет [34]. В Канаде, медицинское обследование 362 детей 6–13 лет показало, что дети, подвергавшиеся высоким концентрациям марганца, обладали более гиперактивным и оппозиционным поведением [35]. Эти данные дополняет исследование, выполненное в Канаде, в котором была выявлена взаимосвязь между снижением памяти, моторными функциями и длительным потреблением марганца с водой на уровне более 100 и 180 мкг/л, соответственно [36]. Иными словами, центральная нервная система является органом-мишенью для избыточного поступления марганца в ионной форме в организм [32,29].

Доказано, что помимо негативного воздействия на центральную нервную систему, хроническое потребление питьевой воды с повышенным содержанием марганца может быть триггерным фактором для развития болезней мочеполовой системы, кожи и подкожно-жировой клетчатки, напряжения тиреоидной сферы, осложнений беременности и родов, аллергических реакций, нарушений клеточного иммунитета и неспецифической резистентности организма, а также обладает мутагенной активностью [27,30,31,37]. В настоящее время референтная доза марганца для поступления с питьевой водой, используемая

в методологии оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, принята на уровне 0,14 мг/кг.

Известно, что территория Дальнего Востока России является частью обширной биогеохимической провинции с выраженным дефицитом некоторых биогенных элементов в объектах окружающей среды. В частности, в воде систем питьевого водоснабжения, по материалам лабораторных исследований в Республике Саха, Еврейской автономной области, Магаданской области и Приморском крае, содержится очень мало кальция, магния, фтора и других микронутриентов [38,39,40,41,42]. Такие воды принято классифицировать по общей минерализации как ультрапресные (0,5 г/л), по жесткости — очень мягкие (до 1,5 мг-экв/л) или мягкие (1,5–3 мг-экв/л.). Очень низкая минерализация питьевой воды является безразличной для состояния здоровья населения.

В последнее десятилетие возросло число научных публикаций, результаты которых свидетельствуют о связи ряда патологических состояний с длительным потреблением слишком мягких питьевых вод, содержащих мало карбонатов и гидрокарбонатов кальция и магния, необходимых для нормальной жизнедеятельности человека [40,43,44,45]. К тому же длительное проживание на территориях с выраженным дисбалансом кальция и магния в питьевой воде является одним из патогенетических факторов риска камнеобразования в органах мочевого выделения [42,46]. Ранее была доказана причинно-следственная связь высокой частоты сердечно-сосудистой патологии, в том числе и гипертонической болезни и ишемической болезни сердца, с хроническим потреблением мало минерализованных питьевых вод [44,47]. На Дальнем Востоке России к территориям высокого риска развития сердечно-сосудистой патологии, прежде всего, следует отнести прибрежную полосу северо-западного сектора Тихого Океана, особенно ее южную часть, восточнее горной системы Сихотэ-Алинь в Приморском крае. Вода в системах водоснабжения населения на континентальном побережье региона имеет наиболее низкую минерализацию и максимально выраженный дефицит магния и кальция [1,40,46]. Ценность биогенных элементов водного происхождения для организма человека объясняется их практически стопроцентной биодоступностью, тогда как этот показатель в продуктах питания достигает только 25–40%, и то, главным образом, в молоке и молочных продуктах.

Завершая обзор научных публикаций, следует указать на сообщения об усилении токсичности для организма свинца, мышьяка, потребляемых с очень мягкой мало минерализованной питьевой водопроводной водой [44,45,48]. Это явление может быть свойственно и для органических продуктов хлорирования питьевой воды, однако публикации по этому вопросу в доступной литературе отсутствуют. Вероятность изменения токсичности техногенных загрязнителей питьевой воды в зависимости от степени ее минерализации, требует перехода от традиционных подходов, ограничивающих лишь верхние, предельно допустимые концентрации тех или иных веществ в питьевой воде по органолептическим и токсикологическим признакам вредности, к оптимизационному подходу, регламентирующему минимальные уровни содержания биогенных элементов, формирующих общую жесткость воды. Такой подход, уже реализованный в гигиеническом нормировании качества

расфасованной в емкости питьевой воды, несомненно отражает наиболее прогрессивные тенденции развития учения о питьевых водах и является актуальным для дальневосточного региона.

Представленный анализ научной литературы позволяет сформировать программу исследований с целью научного

обоснования комплекса профилактических мероприятий, направленных на ослабление неблагоприятного влияния качества питьевой воды в системах водоснабжения на здоровье населения Дальнего Востока, что имеет особое значение в связи с ожидаемой интенсификацией экономического развития этого региона страны.

Литература

1. Ковальчук В. К., Маслов Д. В. Гигиенические проблемы химического состава питьевой воды систем водоснабжения Приморского края. Тихоокеанский медицинский журнал. 2006; (3): 60–63.
2. DeMarini DM. A review on the 40th anniversary of the first regulation of drinking water disinfection by-products. *Environ Mol Mutagen*. 2020 Jul; 61(6):588–601.
3. Koval'chuk VK. Estimate of the Providing of Iron in Adolescents Consuming Tap Water with Increased Iron Content. *American Journal of Environmental Protection*. 2019; 8 (1): 17–21.
4. Валеев Т. К., Сулейманов Р. А., Орлов А. А., Бактыбаева З. Б., Рахматуллин Н. Р. Оценка риска здоровью населения, связанного с качеством питьевой воды. Здоровье населения и среда обитания. 2016; (9): 17–19.
5. Коньшина Л. Г. Оценка риска здоровью детей, обусловленного химическим составом питьевой воды источников нецентрализованного водоснабжения Екатеринбурга. Гигиена и санитария. 2019; 98(9): 997–1003.
6. Рахманин Ю. А., Онищенко Г. Г. Современные гигиенические проблемы централизованного обеспечения населения питьевой водой и пути их решения. В книге: Экологические проблемы современности: выявление и предупреждение неблагоприятного воздействия антропогенно детерминированных факторов и климатических изменений на окружающую среду и здоровье населения. Материалы Международного Форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды. 2017; 7–12 с.
7. Погоньшева И. А., Погоньшев Д. А. Актуальные проблемы взаимосвязи окружающей среды и здоровья человека в странах Европейского союза. Обзор литературы. Гигиена и санитария. 2019; 98(5): 473–477.
8. Uhl M, Santos RR, Costa J et al. Chemical Exposure: European Citizens' Perspectives, Trust, and Concerns on Human Biomonitoring Initiatives, Information Needs, and Scientific Results. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(4):1532.
9. Дерябкина Л. А., Марченко Б. И., Плуготаренко Н. К., Южно А. И. Оценка эффективности применения преаммонизации в целях снижения канцерогенного риска от тригалогенметанов в питьевой воде. Анализ риска здоровью. 2020; (3): 70–77.
10. Лужецкий К. П., Чигвинцев В. М., Вековщина С. А., Вандышева А. Ю., Эйсфельд Д. А. Оценка нарушений углеводного и жирового обмена у детей в условиях пероральной экспозиции хлорорганических соединений. Гигиена и санитария. 2020; 99 (11): 1263–1270.
11. Клейн С. В., Вековщина С. А. Приоритетные факторы риска питьевой воды систем централизованного питьевого водоснабжения, формирующие негативные тенденции в состоянии здоровья населения. Анализ риска здоровью. 2020; (3):49–60.
12. DeMarini DM. A review on the 40th anniversary of the first regulation of drinking water disinfection by-products. *Environ Mol Mutagen*. 2020; 61(6): 588–601.
13. Smith RB, Edwards SC, Best N, Wright J, Nieuwenhuijsen MJ, Toledano MB. Birth weight, ethnicity, and exposure to trihalomethanes and haloacetic acids in drinking water during pregnancy in the Born in Bradford cohort. *Environ Health Perspect*. 2016; 124(16): 681–689.
14. Wang Y, Zhu G, Engel B. Health risk assessment of trihalomethanes in water treatment plants in Jiangsu Province, China. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2019; 170 (15): 346–354.
15. Zeng Q., Wang YX, Xie SH, Xu L, Chen YZ, Li M, Yue J, Li YF, Liu AL, Lu WQ. Drinking-water disinfection by-products and semen quality: a cross-sectional study in China. *Environ Health Perspect*. 2014; 122(11): 741–746.
16. Parvez S, Ashby JL, Kimura SY, Richardson SD. Exposure Characterization of Haloacetic Acids in Humans for Exposure and Risk Assessment Applications: An Exploratory Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(3):471.
17. Кикун П. Ф., Кислицына Л. В., Богданова В. Д., Сабирова К. М. Гигиеническая оценка качества питьевой воды и риски для здоровья населения Приморского края. Гигиена и санитария. 2019; 98(1): 94–101.
18. Evlampidou I, Font-Ribera L, Rojas-Rueda D, Gracia-Lavedan E, Costet N, Pearce N, et al. Trihalomethanes in Drinking Water and Bladder Cancer Burden in the European Union. *Environ Health Perspect*. 2020;128(1):17001.
19. Жуковская. Е.В., Павлова Г. П., Румянцев А. Г. Нейрокогнитивные нарушения при сидеропенических состояниях у детей и подростков (обзор). Микроэлементы в медицине. 2016; 17(3): 8–13.
20. Olivares M, Uauy R. Essential nutrients in drinking water. *Nutrients in drinking water*. Geneva: WHO. 2005; 41–60.
21. Егорова Н. А., Канатникова Н. В. Железо, его метаболизм в организме человека и гигиеническое нормирование в питьевой воде. Обзор. Часть 2. Гигиена и санитария. 2020; 99 (5): 504–508.
22. Mertens C, Marques O, Horvat NK, Simonetti M, Muckenthaler MU, Jung M. The Macrophage Iron Signature in Health and Disease. *Int J Mol Sci*. 2021; 22(16): 8457.
23. Fonseca-Nunes A, Jakszyn P, Agudo A. Iron and cancer risk a systematic review and meta-analysis of the epidemiological evidence. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2014; 23(1):12–31.
24. Ficiara E, Munir Z, Boschi S, Caligiuri ME, Guiot C. Alteration of Iron Concentration in Alzheimer's Disease as a Possible Diagnostic Biomarker Unveiling Ferroptosis. *Int J Mol Sci*. 2021; 22(9): 4479.
25. Давыдова Н. О., Нотова С. В., Кван О. В. Влияние элементного статуса организма на когнитивные функции. Микроэлементы в медицине. 2014; 15, (3): 3–9.
26. Frisbie SH, Mitchell EJ, Dustin H. World Health Organization Discontinues Its Drinking-Water Guideline for Manganese. *Environ Health Perspectives*. 2012; 120(6): 775–778.
27. Мосияш С. А., Орлов А. А., Панкратова Ю. А., Долматова Т. Е., Шашуловская Е. А., Радзаевская Е. Б. Содержание марганца в воде источников водоснабжения Саратовской области — динамические наблюдения. Здоровье населения и среда обитания. 2016; 9: 50–52.
28. Erikson KM, Aschner M. Manganese: Its Role in Disease and Health. *Met Ions Life Sci*. 2019; 14: 19.
29. Blanc PD. The early history of manganese and the recognition of its neurotoxicity, 1837–1936. *Neurotoxicology*. 2018; (64): 5–11.
30. Bjorklund G, Dadar M, Peana M, Rahaman MS, Aaseth J. Interactions between iron and manganese in neurotoxicity. *Arch Toxicol*. 2020; 94(3): 725–734.
31. Мазунина Д. Л. Негативные эффекты марганца при хроническом поступлении в организм с питьевой водой. Экология человека. 2015; (3): 25–31.
32. Iyare PU. The effects of manganese exposure from drinking water on school-age children: A systematic review. *Neurotoxicology*. 2019; (73): 1–7.
33. Bjorklund G, Chartrand MS, Aaseth J. Manganese exposure and neurotoxic effects in children. *Environ Res*. 2017; (155): 380–384.
34. Wasserman GA, Liu X, Parvez F, Ahsan H, Levy D, Factor-Litvak P, Kline J, Van Geen A, Slavkovich V, Lolocono NJ, Cheng Z,

- Zheng Y, Graziano JH. Water manganese exposure and children's intellectual function in Araihaazar, Bangladesh. *Environ Health Perspect.* 2006; 114(1): 124–9.
35. Bouchard MF, Sauve S, Barbeau B, Legrand M, Brodeur ME, Bouffard T, Limoges E, Bellinger DC, Mergler D. Intellectual impairment in school-age children exposed to manganese from drinking water. *Environ Health Perspect.* 2011; 119(1): 138–43.
36. Oulhote Y, Mergler D, Barbeau B, Bellinger DC, Bouffard T, Brodeur ME, Saint-Amour D, Legrand M, Sauve S, Bouchard MF. Neurobehavioral function in school-age children exposed to manganese in drinking water. *Environ Health Perspect.* 2014; 122(12): 1343–50.
37. Карпова М. В., Землянова М. А., Мазунина Д. Л. Биомаркеры цитогенетических нарушений при внешнесредовой изолированной экспозиции населения марганцем, стабильным стронцием из питьевой воды. *Гигиена и санитария.* 2016; 95(1): 102–105.
38. Луговая Е. А., Степанова Е. М. Особенности состава питьевой воды Магадана и здоровья населения. *Гигиена и санитария.* 2016; 95 (3): 241–246.
39. Кузнецова Л. И., Чевычелов А. П. Мониторинг химического состава поверхностных вод в зоне хозяйственного освоения Амуро-Якутской железнодорожной магистрали. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики.* 2019; 24 (1): 92–102.
40. Юрченко С. Г. Распределение и формы нахождения железа и марганца в водопроводной воде г. Владивостока. *Вода: химия и экология.* 2012; 1: 17–23.
41. Поляков В. Ю., Ревуцкая И. Л., Крохалёва С. И. Оценка перорального поступления железа с питьевой водой города Биробиджана для различных возрастных групп населения. *Экология человека.* 2018; 1: 20–25.
42. Коршунова Н. В., Гнитюк О. А., Гнитюк А. А. Влияние питьевой воды на формирование мочекаменной болезни среди населения Амурской области. *Амурский медицинский журнал.* 2019; 3 (27): 54–56.
43. Huang Y, Ma X, Tan Y, Wang L, Wang J, Lan L et al. Consumption of Very Low Mineral Water Is Associated with Lower Bone Mineral Content in Children. *J Nutr.* 2019; 149(11): 1994–2000.
44. Ткаченко А. В., Слинкова Т. А., Дробышева О. М., Ильченко Г. В. Профилактика дефицита магния в организме. *Медико-фармацевтический журнал «Пульс».* 2020; 6: 22.
45. Bjorklund G, Dadar M, Chirumbolo S, Aaseth J. High Content of Lead Is Associated with the Softness of Drinking Water and Raised Cardiovascular Morbidity: A Review. *Biol Trace Elem Res.* 2018; 186(2): 384–394.
46. Ковальчук В. К., Маслов Д. В. Влияние питьевой воды систем хозяйственно-питьевого водоснабжения на возникновение уrolитиаза у населения Приморского края в 1991–2015 годах. *Гигиена и санитария.* 2021; 100 (4): 300–306.
47. Яхияев М. А., Салихов Ш. К., Абдулкадырова С. О., Асельдерова А. Ш., Сурхаева З. З., Казанбиева П. Д., и др. Содержание магния в окружающей среде и заболеваемость населения артериальной гипертензией. *Гигиена и санитария.* 2019; 98(5): 494–497.
48. Плитман С. И. Методологические аспекты оптимизации санитарных условий водопользования населения восточных и северных районов РСФСР. Автореф. дис. докт. мед. наук. М.: 1990.

References

1. Kovalchuk VK, Maslov DV. Gigienicheskie problemy himicheskogo sostava pit'evoy vody sistem vodosnabzheniya Primorskogo kraja. *Tihookeanskij medicinskij zhurnal.* 2006; (3): 60–63. Russian.
2. DeMarini DM. A review on the 40th anniversary of the first regulation of drinking water disinfection by-products. *Environ Mol Mutagen.* 2020 Jul; 61(6):588–601.
3. Koval'chuk VK. Estimate of the Providing of Iron in Adolescents Consuming Tap Water with Increased Iron Content. *American Journal of Environmental Protection.* 2019; 8 (1): 17–21.
4. Valeev TK, Sulejmanov RA, Orlov AA, Baktybaeva ZB, Rahmatullin NR. Ocenka riska zdorov'ju naselenija, svjazannogo s kachestvom pit'evoy vody. *Zdorov'e naselenija i sreda obitanija.* 2016; (9): 17–19. Russian.
5. Konshina LG. Ocenka riska zdorov'ju detej, obuslovlennogo himicheskim sostavom pit'evoy vody istochnikov necentralizovannogo vodosnabzhenija Ekaterinburga. *Gigiena i sanitarija.* 2019; 98(9): 997–1003.
6. Rahmanin JuA, Onishhenko GG. Sovremennye gigienicheskie problemy centralizovannogo obespechenija naselenija pit'evoy vodoj i puti ih reshenija. V knige: *Jekologicheskie problemy sovremennosti: vyjavlenie i preduprezhdenie neblagoprijatnogo vozdeystvija antropogenno determinirovannyh faktorov i klimaticeskikh izmenenij na okruzhajushhuju sredu i zdorov'e naselenija. Materialy Mezhdunarodnogo Forumu Nauchnogo soveta Rossijskoj Federacii po jekologii cheloveka i gigiene okruzhajushhej sredy.* 2017; 7–12 s.
7. Pogonyshva IA, Pogonyshv DA. Aktual'nye problemy vzaimosvjazi okruzhajushhej sredy i zdorov'ja cheloveka v stranah Evropejskogo sojuza. *Obzor literatury. Gigiena i sanitarija.* 2019; 98(5): 473–477. Russian.
8. Uhl M, Santos RR, Costa J, et al. Chemical Exposure: European Citizens' Perspectives, Trust, and Concerns on Human Biomonitoring Initiatives, Information Needs, and Scientific Results. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(4):1532.
9. Derjabkina LA, Marchenko BI, Plugotarenko NK, Juhno AI. Ocenka jeffektivnosti primenenija preammonizacii v celjah snizhenija kancerogenno riska ot trigalogenmetanov v pit'evoj vode. *Analiz riska zdorov'ju.* 2020; (3):70–77. Russian.
10. Luzheckij KP, Chigvincev VM, Vekovshinina SA, Vandysheva AJu, Jejsfel'd DA. Ocenka narushenij uglevodnogo i zhirovogo obmena u detej v uslovijah peroral'noj jekspozicii hlrororganicheskikh soedinenij. *Gigiena i sanitarija.* 2020; 99 (11): 1263–1270. Russian.
11. Klejn SV, Vekovshinina SA. Prioritetnye faktory riska pit'evoy vody sistem centralizovannogo pit'evogo vodosnabzhenija, formirujushhie negativnye tendencii v sostojanii zdorov'ja naselenija. *Analiz riska zdorov'ju.* 2020; (3):49–60. Russian.
12. DeMarini DM. A review on the 40th anniversary of the first regulation of drinking water disinfection by-products. *Environ Mol Mutagen.* 2020; 61(6): 588–601.
13. Smith RB, Edwards SC, Best N, Wright J, Nieuwenhuijsen MJ, Toledano MB. Birth weight, ethnicity, and exposure to trihalomethanes and haloacetic acids in drinking water during pregnancy in the Born in Bradford cohort. *Environ Health Perspective.* 2016; 124(16): 681–689.
14. Wang Y, Zhu G, Engel B. Health risk assessment of trihalomethanes in water treatment plants in Jiangsu Province, China. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2019; 170 (15): 346–354.
15. Zeng Q, Wang YX, Xie SH, Xu L, Chen YZ, Li M, Yue J, Li YF, Liu AL, Lu WQ. Drinking-water disinfection by-products and semen quality: a cross-sectional study in China. *Environ Health Perspective.* 2014; 122(11): 741–746.
16. Parvez S, Ashby JL, Kimura SY, Richardson SD. Exposure Characterization of Haloacetic Acids in Humans for Exposure and Risk Assessment Applications: An Exploratory Study. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(3):471.
17. Kiku PF, Kislicyna LV, Bogdanova VD, Sabirova KM. Gigienicheskaja ocenka kachestva pit'evoy vody i riski dlja zdorov'ja naselenija Primorskogo kraja. *Gigiena i sanitarija.* 2019; 98(1): 94–101. Russian.
18. Evlampidou I, Font-Ribera L, Rojas-Rueda D, Gracia-Lavedan E, Costet N, Pearce N, et al. Trihalomethanes in Drinking Water and Bladder Cancer Burden in the European Union. *Environ Health Perspect.* 2020;128(1):17001.
19. Zhukovskaja. EV, Pavlova GP, Rumjancev AG. Nejrokognitivnye narushenija pri sideropenicheskikh sostojanijah u detej i podrostkov (obzor). *Mikrojelementy v medicine.* 2016; 17(3): 8–13. Russian.

20. Olivares M, Uauy R. Essential nutrients in drinking water. *Nutrients in drinking water*. Geneva: WHO. 2005: 41–60.
21. Egorova NA, Kanatnikova NV. Zhelezo, ego metabolizm v organizme cheloveka i gigienicheskoe normirovanie v pit'evoy vode. *Obzor. Chast' 2. Gigiena i sanitarija*. 2020; 99 (5): 504–508. Russian.
22. Mertens C, Marques O, Horvat NK, Simonetti M, Muckenthaler MU, Jung M. The Macrophage Iron Signature in Health and Disease. *Int J Mol Sci*. 2021; 22(16): 8457.
23. Fonseca-Nunes A, Jakszyn P, Agudo A. Iron and cancer risk a systematic review and meta-analysis of the epidemiological evidence. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2014; 23(1):12–31.
24. Ficiara E, Munir Z, Boschi S, Caligiuri ME, Guiot C. Alteration of Iron Concentration in Alzheimer's Disease as a Possible Diagnostic Biomarker Unveiling Ferroptosis. *Int J Mol Sci*. 2021; 22(9): 4479.
25. Davydova NO, Notova SV, Kvan OV. Vlijanie jelementogo statusa organizma na kognitivnye funkciony. *Mikrojelementy v medicine*. 2014; 15, (3): 3–9. Russian.
26. Frisbie SH, Mitchell EJ, Dustin H. World Health Organization Discontinues Its Drinking-Water Guideline for Manganese. *Environ Health Perspectives*. 2012; 120(6): 775–778.
27. Mosijash SA, Orlov AA, Pankratova JuA, Dolmatova TE, Shashulovskaja EA, Radzaevskaja EB. Soderzhanie marganca v vode istochnikov vodosnabzhenija Saratovskoj oblasti — dinamicheskie nabljudenija. *Zdorov'e naselenija i sreda obitanija*. 2016; 9: 50–52. Russian.
28. Erikson KM, Aschner M. Manganese: It's Role in Disease and Health. *Met Ions Life Sci*. 2019; 14: 19.
29. Blanc PD. The early history of manganese and the recognition of its neurotoxicity, 1837–1936. *Neurotoxicology*. 2018; (64): 5–11.
30. Bjorklund G, Dadar M, Peana M, Rahaman MS, Aaseth J. Interactions between iron and manganese in neurotoxicity. *Arch Toxicol*. 2020; 94(3): 725–734.
31. Mazunina DL. Negativnye jeffekty marganca pri hronicheskom postuplenii v organizm s pit'evoy vodoj. *Jekologija cheloveka*. 2015; (3): S. 25–31. Russian.
32. Iyare PU. The effects of manganese exposure from drinking water on school-age children: A systematic review. *Neurotoxicology*. 2019; (73): 1–7.
33. Bjorklund G, Chartrand MS, Aaseth J. Manganese exposure and neurotoxic effects in children. *Environ Res*. 2017; (155): 380–384.
34. Wasserman GA, Liu X, Parvez F, Ahsan H, Levy D, Factor-Litvak P, Kline J, Van Geen A, Slavkovich V, Lolocono NJ, Cheng Z, Zheng Y, Graziano JH. Water manganese exposure and children's intellectual function in Araihazar, Bangladesh. *Environ Health Perspect*. 2006; 114(1): 124–9.
35. Bouchard MF, Sauve S, Barbeau B, Legrand M, Brodeur ME, Bouffard T, Limoges E, Bellinger DC, Mergler D. Intellectual impairment in school-age children exposed to manganese from drinking water. *Environ Health Perspect*. 2011; 119(1): 138–43.
36. Oulhote Y, Mergler D, Barbeau B, Bellinger DC, Bouffard T, Brodeur ME, Saint-Amour D, Legrand M, Sauve S, Bouchard MF. Neurobehavioral function in school-age children exposed to manganese in drinking water. *Environ Health Perspect*. 2014; 122(12): 1343–50.
37. Karpova MV, Zemljanova MA, Mazunina DL. Biomarkery citogeneticheskikh narushenij pri vneshnesredovoj izolirovannoj jekspozicii naselenija margancem, stabil'nym stronciem iz pit'evoy vody. *Gigiena i sanitarija*. 2016; 95(1): 102–105. Russian.
38. Lugovaja EA, Stepanova EM. Osobennosti sostava pit'evoy vody Magadana i zdorov'ja naselenija. *Gigiena i sanitarija*. 2016; 95 (3): 241–246. Russian.
39. Kuznecova LI, Chevychelov AP. Monitoring himicheskogo sostava poverhnostnyh vod v zone hozjajstvennogo osvoenija Amuro-Jakutskoj zheleznodorozhnoj magistrali. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki*. 2019; 24 (1): 92–102. Russian.
40. Jurchenko SG. Raspredelenie i formy nahozhdenija zheleza i jekologija. 2012; 1: 17–23. Russian.
41. Poljakov VJu, Revuckaja IL, Krohaljova SI. Ocenka peroral'nogo postuplenija zheleza s pit'evoy vodoj goroda Birobidzhana dlja razlichnyh vozrastnyh grupp naselenija. *Jekologija cheloveka*. 2018; 1: 20–25. Russian.
42. Korshunova NV, Gnitjuk OA, Gnitjuk AA. Vlijanie pit'evoy vody na formirovanie mochekamЕННОj bolezni sredi naselenija amurskoj oblasti. *Amurskij medicinskij zhurnal*. 2019; 3 (27): 54–56. Russian.
43. Huang Y, Ma X, Tan Y, Wang L, Wang J, Lan L et al. Consumption of Very Low Mineral Water Is Associated with Lower Bone Mineral Content in Children. *J Nutr*. 2019; 149(11): 1994–2000.
44. Tkachenko AV, Slin'kova TA, Drobysheva OM, Il'chenko GV. Profilaktika deficita magija v organizme. *Mediko-farmaceuticheskij zhurnal "Pul's"*. 2020; 6: 22. Russian.
45. Bjorklund G, Dadar M, Chirumbolo S, Aaseth J. High Content of Lead Is Associated with the Softness of Drinking Water and Raised Cardiovascular Morbidity: A Review. *Biol Trace Elem Res*. 2018; 186(2): 384–394.
46. Kovalchuk VK, Maslov DV. Vlijanie pit'evoy vody sistem hozjajstvenno-pit'evogo vodosnabzhenija na vozniknovenie urolitiaz u naselenija Primorskogo kraja v 1991–2015 godah. *Gigiena i sanitarija*. 2021; 100 (4): 300–306. Russian.
47. Yakhiyayev MA, Salikhov ShK, Abdulkadyrova SO, Asel'derova AS, Surkhayeva ZZ, Kazanbiyeva PD i dr. Soderzhaniye magniya v okruzhayushchey srede i zabolevayemost' naseleniya arterial'noy gipertenziyey. *Gigiyena i sanitarija*. 2019; 98(5): 494–497. Russian.
48. Plitman SI. Metodologicheskie aspekty optimizacii sanitarnyh uslovij vodopol'zovanija naselenija vostochnyh i severnyh rajonov RSFSR. *Avtoref. dis. dokt. med. nauk. M.: 1990*. Russian.