



Читать
онлайн
Read
online

Колубаева Ю.В.¹, Иванова И.С.¹, Широкова Л.С.^{2,3}

Оценка риска развития неканцерогенных эффектов при использовании воды нецентрализованных источников водоснабжения Томской области

¹ФГБУН «Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука» Сибирского отделения Российской академии наук, Томский филиал, 634055, Томск, Россия

²ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова» Уральского отделения Российской академии наук, 163000, Архангельск, Россия

³ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», 634050, Томск, Россия

Введение. Железо является широко распространённым элементом в подземных водах, применяемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения. При использовании вод нецентрализованных источников водопользования обезжелезивание, как правило, не проводится. При употреблении таких вод населением в питьевых целях вероятен риск возникновения неблагоприятных последствий для здоровья.

Материалы и методы. Исследовано 46 источников нецентрализованного водоснабжения (частные скважины, колодцы, родники). При оценке риска для здоровья рассматривался пероральный путь поступления химических веществ в организм с питьевой водой.

Результаты. Повсеместно распространены воды с концентрациями Fe и Mn, многократно превышающими нормативные значения. В единичных случаях вода имеет высокие показатели общей жёсткости и содержания SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- . Основной неканцерогенный риск создаёт железо, редко нитраты. Для этих элементов определены настораживающий и высокий уровни риска. Для остальных компонентов значения коэффициента опасности укладываются в диапазон минимального и допустимого уровней риска. Вероятность возникновения вредных эффектов для детской возрастной группы возможна при содержании железа 5 мг/л и более, для взрослой – 11 мг/л и более.

Ограничения исследования. Ограничение исследования связано с неполным маршрутом воздействия химических веществ, поскольку при оценке рисков были рассмотрены только односредовое воздействие (питьевая вода) и один путь поступления веществ (пероральный). Кроме того, исследовано лимитированное количество источников нецентрализованного водоснабжения.

Заключение. Определены уровни риска для здоровья детской и взрослой групп населения. По результатам характеристики риска установлено, что для детской возрастной группы (до 6 лет) риск возникновения неканцерогенных эффектов значительно выше, чем для взрослой возрастной группы, что подтверждено результатами расчётов. При употреблении железосодержащих вод в питьевых целях существует опасность возникновения патологий неинфекционного характера.

Ключевые слова: нецентрализованное водоснабжение; химический состав; общее железо; здоровье населения; неканцерогенный риск

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует предоставления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Колубаева Ю.В., Иванова И.С., Широкова Л.С. Оценка риска развития неканцерогенных эффектов при использовании воды нецентрализованных источников водоснабжения Томской области. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(9): 1111–1118. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1111-1118> <https://www.elibrary.ru/sgoruo>

Для корреспонденции: Колубаева Юлия Викторовна, канд. геолого-минералогических наук, науч. сотр. лаб. гидрогеохимии и геоэкологии Томского филиала ФГБУН «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука» СО РАН, 634055, Томск. E-mail: kolubaeva@inbox.ru

Участие авторов: Колубаева Ю.В. – концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, статистическая обработка, написание текста; Иванова И.С. – сбор материала и обработка данных, редактирование; Широкова Л.С. – редактирование текста. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование поддержано Российским научным фондом, проект № 20-77-10084.

Поступила: 22.04.2022 / Принята к печати: 04.08.2022 / Опубликована: 30.09.2022

Yuliya V. Kolubaeva¹, Irina S. Ivanova¹, Liudmila S. Shirokova^{2,3}

Assessment of risk for the development of non-carcinogenic effects in using water from non-centralized water suppliers in the Tomsk region

¹Tomsk branch of the Trofimuk institute of petroleum geology and geophysics, Siberian branch of RAS, Tomsk, 634055, Russian Federation;

²N. Laverov Federal center for integrated Arctic research, Ural branch of RAS, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation;

³Tomsk State University, Tomsk, 634050, Russian Federation

Introduction. Iron is a widespread element in groundwater, which is used for domestic and drinking water supply. When using waters from non-centralized sources, deironing of waters, as a rule, is not carried out. When such waters are used for drinking purposes, there is a likely risk of negative effects for public health.

Materials and methods. Forty six sources of non-centralized water supply (private wells, water wells, springs) were studied. It considered assessing the health risk with oral administration of the components through drinking water into the body.

Results. For single samples in the chemical composition of waters there were determined high contents of total hardness, SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- . Waters with Fe and Mn concentrations many times higher than the normative values are widespread. The main non-carcinogenic risk is iron and nitrates, which have been identified as warning and high risk levels. For other components, the values of the hazard coefficient are within the range of the minimum and acceptable levels of risk. The probability of occurrence of negative effects for the children's age group is possible with an iron content of 5 mg/l and more, for an adult – 11 mg/l and more.

Limitations. The limitation related to the incomplete route of exposure to chemical components, since only one medium (drinking water) and only one route of exposure (oral exposure) was considered on the risk assessment. This study is also limited by the number of water samples.

Conclusion. The health risk associated with high iron content in water has been set for children and adults. For the children's group (up to 6 years), the risk of developing diseases of non-infectious etiology is significantly higher, than for the adult group, as shown by the results. When iron-containing waters are used for drinking purposes, there is a risk of non-infectious pathologies.

Keywords: non-centralized water supply; chemical composition; total iron; population health; non-carcinogenic risk

Compliance with ethical standards: this study does not require the submission of review of the biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Kolubaeva Yu.V., Ivanova I.S., Shirokova L.S. Assessment of risk for the development of non-carcinogenic effects in using water from non-centralized water suppliers in the Tomsk region. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(9): 1111-1118. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1111-1118> <https://www.elibrary.ru/sgopyo> (In Russian)

For correspondence: Yuliya V. Kolubaeva, MD, PhD, researcher of the laboratory of hydrogeochemistry and geocology of the Tomsk branch of the Trofimuk institute of petroleum geology and geophysics, Siberian branch of RAS, Tomsk, 634055, Russian Federation. E-mail: kolubaeva@inbox.ru

Information about the authors:

Kolubaeva Yu.V., <https://orcid.org/0000-0001-7934-5172> Ivanova I.S., <https://orcid.org/0000-0001-6240-2724> Shirokova L.S., <https://orcid.org/0000-0002-3843-2066>

Contribution: Kolubaeva Yu.V. – the concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing a text; Ivanova I.S. – collection and processing of material, editing; Shirokova L.S. – editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study was supported by the Russian Science Foundation, Project 20-77-10084.

Received: April 22, 2022 / Accepted: August 04, 2022 / Published: September 30, 2022

Введение

Железо, будучи широко распространённым элементом в подземных водах хозяйственно-питьевого назначения, существенно осложняет водоснабжение во многих регионах России. В пределах Российской Федерации, по имеющимся данным, около 50% скважин хозяйственно-питьевого назначения содержат железо в концентрациях 0,3–3,0 мг/л, при этом показатель, превышающий норму (более 0,3 мг/л)¹ встречается в широких пределах – 15–88% проб. К числу субъектов Российской Федерации с высоким содержанием железа в нецентрализованных источниках водоснабжения принадлежит и Томская область (см. рисунок), расположенная на территории Западно-Сибирского артезианского бассейна и его горно-складчатого обрамления (Саяно-Алтайской складчатой области), образующих провинцию железосодержащих вод [1]. Железосодержащими водами в отличие от железистых минеральных С.Р. Крайнов и соавт. называют воды с повышенным содержанием железа [2]. Проблеме формирования железосодержащих вод данного региона посвящён ряд исследований, в числе которых и работы авторов данной статьи [3, 4].

Как известно, основным способом снижения высоких концентраций железа при эксплуатации городских водозаборов является применение метода аэрации подземных вод на станциях обезжелезивания. При использовании вод нецентрализованных источников водопользования в отличие от централизованных систем водоснабжения предварительной водоподготовке, как правило, не уделяется должного внимания, а порой она и вовсе отсутствует. В этих случаях присутствующее в питьевой воде в повышенных концентрациях (от 0,3 мг/л и выше) железо придаёт ей горьковатый металлический привкус, мутность и жёлто-бурую окраску. При бытовом водопользовании образуются пятна ржавчины на белье и санитарных приборах. Существенно и то, что вода, содержащая повышенные концентрации железа, способствует развитию железобактерий [5, 6]. При отмирании бактерий внутри водопроводных труб, на фильтрах водопроводных кранов, а также на стенках каптажных устройств накапливается плотный осадок. В этом осадке (или обросте) содержится целый комплекс микроорганизмов, но его основу составляют железобактерии. Это, в частности, было

показано на примере изучения микробного оброста из водопровода централизованного водоснабжения г. Томска [7]. Некоторые данные по изучению микробиологического состава вод территории Томской области представлены также в работах авторов данного исследования [3, 8]. Из воды извлекаются вещества, которые являются источником энергии для микроорганизмов, и в неё же поступают продукты их метаболизма. В итоге микробиологические процессы, происходящие в обросте труб, приводят к изменению качества воды, при длительном употреблении которой могут также возникнуть нарушения здоровья.

В настоящее время проблеме негативного влияния химического состава вод ненадлежащего качества на состояние здоровья человека посвящено достаточное количество научных работ, в том числе обобщающих современные научные представления по данной проблеме [9, 10]. Есть работы как отечественных, так и зарубежных авторов, посвящённые изучению влияния высоких концентраций железа в питьевой воде на заболеваемость населения. Так, исследованиями, проведёнными на территории России, установлены достоверные прямые корреляционные связи между концентрациями железа в питьевой воде и некоторыми видами неинфекционных заболеваний [11–16], среди которых чаще всего встречается атопический дерматит. В работах зарубежных авторов, исследовавших зависимость состояния здоровья человека от содержания железа в питьевой воде, выявлена роль высоких концентраций железа в развитии воспалительных заболеваний кишечника [17] и нейродегенеративных заболеваний [18, 19].

Наряду с исследованиями по выявлению зависимостей между уровнями содержания химических веществ в питьевой воде и заболеваемостью населения в последние годы многими авторами как на территории России, так и зарубежных стран широко применяется методология оценки риска для здоровья. Использование данных методических подходов позволяет оценивать опасность возникновения вредных для организма эффектов, которые могут быть вызваны содержаниями тех или иных веществ в воде. Результаты таких исследований, проведённых в последние несколько лет, отражены в работах [20–24], в том числе и на территории Томской области [25–28].

В отличие от аналогичных исследований, проведённых другими авторами на данной территории, в рамках настоящей работы предполагается дополнить и расширить аспекты затрагиваемой нами проблемы. Данная работа является логическим продолжением ранее проведённых исследований [8], в которых в качестве критериев оценки качества вод по химическим (ионы, биогенные элементы, микро-элементы) и биологическим (микробиологический состав) показателям применялись гигиенические нормативы.

¹ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации (постановление от 28.01.2021 г. № 2, зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2021 г. № 2296).

Цель исследования – оценка неканцерогенного риска для детской и взрослой возрастных групп, обусловленного хроническим употреблением в питьевых целях вод из нецентрализованных источников водоснабжения с повышенным содержанием железа и других компонентов. В данной статье не рассматривались вопросы, связанные с риском возникновения канцерогенных эффектов.

Материалы и методы

Материалом исследований стали результаты контроля неглубокозалегающих подземных вод источников нецентрализованного водоснабжения (частных скважин, колодцев и родников), полученные авторами в разные годы (в период с 2009 по 2017 г.). Преимущественно это воды неоген-четвертичного водоносного комплекса, все они отобраны на небольших глубинах и относятся к грунтовым. Исследование проводилось в 27 населённых пунктах, осреднение данных проведено по 46 отобраным пробам воды.

Отбор проб производили непосредственно на устье скважин после откачки застоявшейся в обсадных трубах воды. В каждой точке гидрогеохимического опробования на месте измеряли физико-химические показатели воды: Eh, pH, температуру и электропроводность. Для проведения аналитических работ в специально подготовленные чистые бутылки отбирали пробы воды. Химический состав вод исследовали в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета. Для определения концентрации компонентов химического состава применяли следующие методы: титрование (HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}), турбидиметрия (SO_4^{2-}), пламенная фотометрия (Na^+ , K^+), фотоколориметрия (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , Si, Fe общее), ионная хроматография (SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}), атомно-абсорбционная спектроскопия (Mg^{2+} , Mn).

Камеральную обработку данных производили с применением методов математической статистики в программе Microsoft Excel 2016. Средние концентрации компонентов рассчитывали с учётом закона распределения. В качестве оценки математического ожидания (среднего значения) принимали среднее арифметическое или среднее геометрическое (для компонентов, чьё поведение описывается лог-нормальным законом).

Наименование химического типа воды дано с учётом содержания макрокомпонентов более 25 мг-экв% в порядке убывания их концентрации.

При оценке содержания в воде железа и других компонентов использовали гигиенические нормативы, утверждённые СанПиН 1.2.3685-21.

Оценка риска для здоровья проведена с учётом развития неканцерогенных эффектов при воздействии химических веществ, загрязняющих источники нецентрализованного водоснабжения. Неканцерогенные эффекты выражаются в отсутствии опасности развития злокачественных новообразований при воздействии факторов окружающей среды. Для неканцерогенных веществ предполагается существование пороговых уровней, ниже которых вредные эффекты не возникают. Оценку риска развития неканцерогенных эффектов при длительном употреблении вод в питьевых целях проводили на основе расчёта коэффициента опасности (HQ) отдельно для каждой пробы воды как для взрослого, так и для детского населения (в возрасте до 6 лет) по методике, разработанной Американским агентством по охране окружающей среды (US EPA) [29], и согласно Р 2.1.10.1920–04², по формуле:

$$HQ = I / RfD, \quad (1)$$

где I – средняя суточная доза при пероральном поступлении химического вещества с питьевой водой, мг/(кг · день);

² Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. 2004. 143 с.

RfD – референтная (безопасная) доза при хроническом пероральном поступлении химического вещества с питьевой водой, мг/(кг · день). Среднесуточную дозу поступления химического вещества (I) оценивали по формуле:

$$I = (Cw \cdot V \cdot EF \cdot ED) / (BW \cdot AT \cdot 365), \quad (2)$$

где Cw – концентрация вещества в воде, мг/л; V – величина водопотребления, л/сут (для взрослых – 2, для детей – 1); EF – частота воздействия, дней/год (350); ED – продолжительность воздействия, лет (для взрослых – 30, для детей – 6); BW – масса тела, кг (для взрослых – 70, для детей – 15); AT – период осреднения экспозиции, лет (для взрослых – 30, для детей – 6).

При $HQ < 1$ вероятность развития у человека вредных эффектов при ежедневном поступлении вещества в течение жизни незначительна, такое воздействие характеризуется как допустимое. Если же $HQ > 1$, вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению значения этого коэффициента. Характеристика неканцерогенного риска проводится по результатам расчётов HQ в соответствии с принятой в Руководстве³ классификацией уровней риска.

Результаты

Обобщённые результаты изучения химического состава вод представлены в табл. 1. Исследуемые подземные воды, за исключением двух проб, полученных в сёлах Инкино и Плотниково (см. рисунок), являются пресными и характеризуются значениями общей минерализации от 130,4 до 1089 мг/л при среднем 505 мг/л. Значения pH находятся в пределах от 6,3 (слабокислые) до 8,5 (слабощелочные), преобладают нейтральные воды (при среднем pH = 7,1). Величина общей жёсткости определяется в пределах от очень мягких (0,7 мг-экв/л) до очень жёстких (16,1 мг-экв/л). По анионно-катионному составу воды относятся преимущественно к гидрокарбонатным кальциевым (63% от общего количества) или кальциево-магниевым (15%).

Для остальных вод наблюдается смешанный анионно-катионный состав, при этом в анионном составе таких вод появляются хлорид-ионы, сульфат-ионы и нитраты, что не является характерной чертой исследуемых нами вод и, вероятно, свидетельствует о влиянии антропогенных факторов. По данным табл. 1 видно, что содержание NO_3^- в несколько раз превышает установленные для этого показателя гигиенические нормативы. При детальном изучении результатов анализа каждой отдельной пробы воды обнаружено, что в водах с максимально высоким содержанием нитратов (до 176,3 мг/л), как правило, фиксируются очень высокие концентрации SO_4^{2-} и Cl^- (максимумы которых составляют 132,7 и 153 мг/л соответственно), а также значения показателя общей жёсткости до 16,1 мг-экв/л. Очевидно, что химический состав таких вод существенно трансформируется, тип воды при этом становится гидрокарбонатно-хлоридным кальциевым, гидрокарбонатно-нитратно-сульфатным кальциевым, а повышенные содержания макрокомпонентов вносят значительный вклад в изменение солёности воды, которая достигает 1089 мг/л. Такие воды были отобраны в населённых пунктах Инкино, Плотниково, Новоюгино, Коларово, Батурино, Малое Протопопово (см. рисунок).

Наряду с высокими концентрациями перечисленных элементов макрокомпонентного состава вод отмечается превышение гигиенических нормативов по содержанию железа (см. табл. 1). Как видно из таблицы, значительным превышением (до 124 раз) по сравнению с ПДК характеризуется не только максимальное содержание железа (равное 37,2 мг/л), но и среднее его значение (5,6 мг/л), что почти в 20 раз превышает нормативное значение. На долю подземных вод с превышением содержания железа относительно ПДК

³ Руководство по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска. М., 2017. 68 с.

Таблица 1 / Table 1

Химический состав подземных вод источников нецентрализованного водоснабжения района исследований
Chemical composition of groundwater at non-centralized suppliers in the study area

Компонент Component	Минимум Minimum	Максимум Maximum	Среднее ± <i>m</i> Average ± <i>m</i>	Количество проб для расчёта среднего, <i>n</i> Number of samples for calculation sample mean, <i>n</i>	ПДК* Threshold limit values (TLV)*
pH	6.3	8.5	7.1 ± 0.07	46	6–9
Общая жёсткость, мг-экв/л Total hardness, mg-eq/L	0.7	16.1	5.8 ± 0.5	46	10
Ионы и элементы, мг/л: Ions and elements, mg/L:					
HCO ₃ ⁻	98.0	770.0	345.0 ± 24.0	46	–
SO ₄ ²⁻	0.2	132.7	14.0 ± 4.4	46	500
Cl ⁻	0.45	153.0	18.9 ± 5.0	46	350
Ca ²⁺	7.0	280.0	90.0 ± 7.5	46	–
Mg ²⁺	3.0	69.5	16.0 ± 1.9	46	50
Na ⁺	3.75	105.0	18.9 ± 3.5	46	200
K ⁺	0.23	15.0	1.26 ± 1.1	46	–
NO ₃ ⁻	0.05	176.3	0.5 ± 1.44	46	45
NH ₄ ⁺	0.04	4.4	1.0 ± 0.15	46	1.5
PO ₄ ³⁻	0.05	1.1	0.23 ± 0.04	46	–
Si	2.0	18.8	9.3 ± 0.7	43	20
Fe	0.01	37.2	5.6 ± 1.0	46	0.3
Mn	0.004	1.7	0.36 ± 0.01	26	0.1
Общая минерализация Total dissolved solids (TDS)	130.4	1089.0	505.1 ± 35.3	46	1500

Примечание. *m* – стандартная ошибка среднего; * – предельно допустимая концентрация в соответствии с СанПиН 1.2.3685–21.

Note: *m* – standard error of mean; * – TLV according to SanPiN 1.2.3685–21.

приходится 80% от общего числа исследованных в точках пробоотбора, что свидетельствует о повсеместном распространении этого явления на территории Томской области. Максимумы по содержанию Fe были зафиксированы в водах, отобранных в скважинах таких населённых пунктов, как д. Малое Протопопово, г. Стрежевой, сёла Ярское, Юдино, Новокороткино, Чигара (см. рисунок). Значительные превышения относительно норматива также характерны для сопутствующего железу элемента – марганца, среднее и максимальное содержание которого равно 0,36 и 1,7 мг/л, что выше ПДК в 3,5 и 17 раз соответственно.

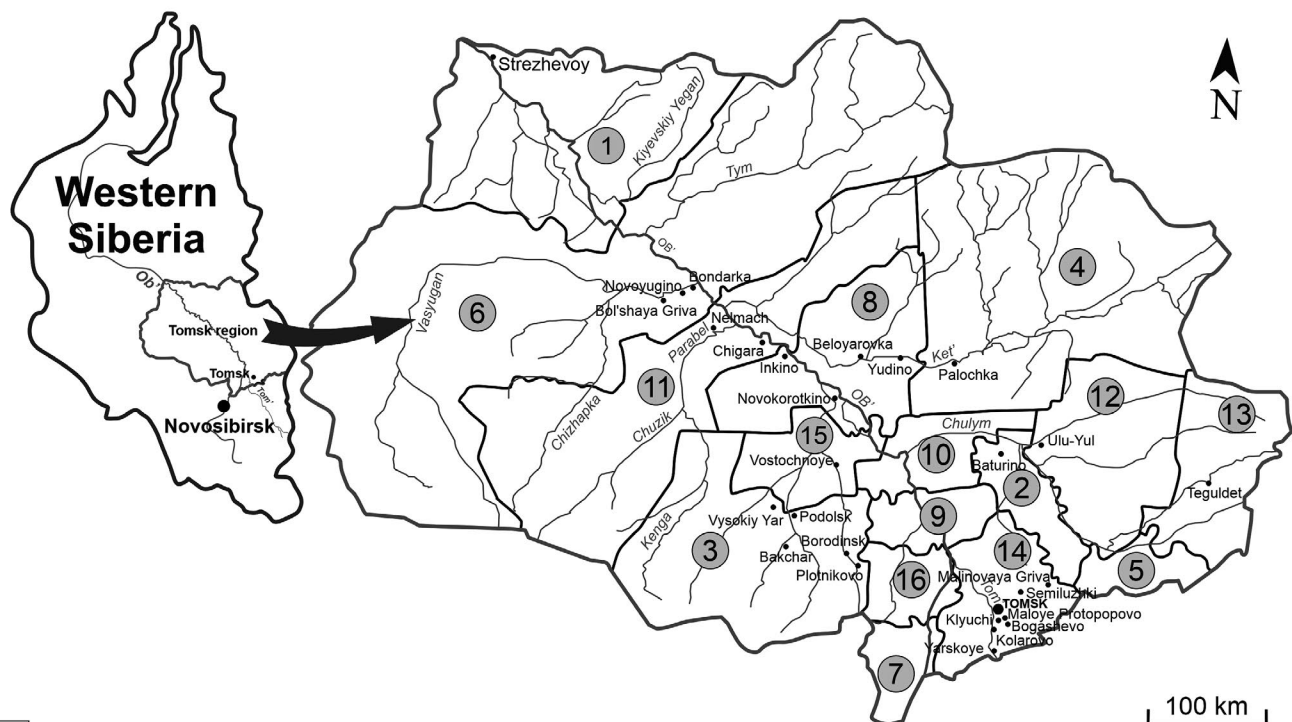
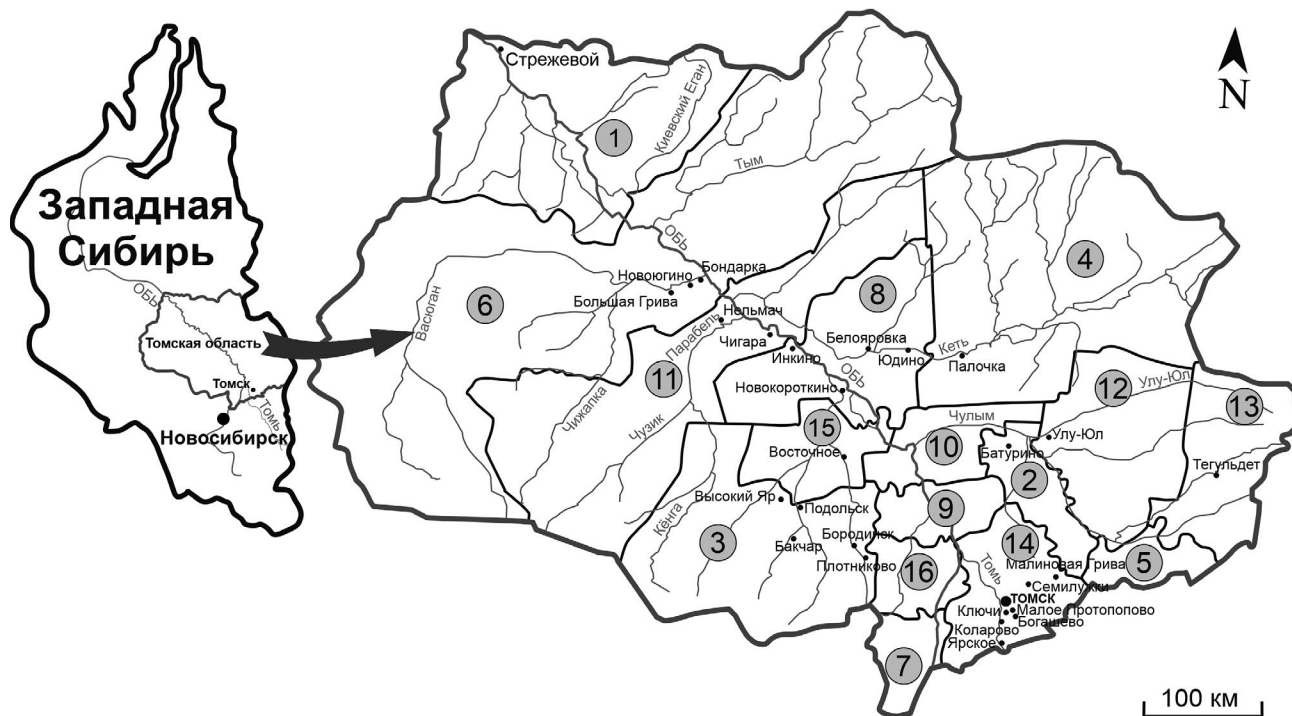
Таблица 2 / Table 2

Результаты расчётов коэффициента опасности

Calculated hazard quotient (HQ) values

Компонент Component	Референтная доза Reference Dose (RfD)	HQ для возрастных групп HQ for age groups			
		дети / children		взрослые / adults	
		min	max	min	max
Fe	0.3	0.002	7.9	0.001	3.4
Mn	0.14	0.001	0.78	0.0005	0.33
NO ₃ ⁻	1.6	0.002	7.0	0.0008	3.0
Ca ²⁺	41.4	0.01	0.43	0.005	0.18
Mg ²⁺	11	0.018	0.4	0.007	0.17

На основе данных о содержании в исследуемых водах химических веществ, концентрации которых вызывают опасение из-за высоких или очень высоких значений (железо, а также такие компоненты, как марганец, нитраты и кальций и магний, составляющие общую жёсткость), и стандартных значений факторов экспозиции для детской и взрослой возрастных категорий были рассчитаны средние суточные дозы веществ при пероральном поступлении с питьевой водой. Полученные результаты и значение референтной дозы (табл. 2) для перечисленных компонентов химического состава вод использовали для расчёта коэффициента опасности (HQ). Результаты расчётов показали широкий диапазон полученных значений последнего (см. табл. 2). При этом максимальные величины HQ всех химических веществ для детской возрастной группы отличаются в два раза большими значениями по сравнению со взрослой возрастной категорией. По данным, приведённым в табл. 2, видно, что основной риск для обеих возрастных групп создают железо и нитраты. Если рассматривать риск, связанный с содержанием железа в воде, то на детскую возрастную категорию приходится большее количество проб со значением HQ > 1 (46% против 13% во взрослой возрастной группе от общего числа всех исследованных вод). Значения HQ > 1 для взрослых достигаются при концентрации железа от 11 мг/л и более, для детей вероятность возникновения вредных эффектов возможна уже при содержании железа 5 мг/л и более. Что касается высоких содержаний нитратов в воде, то риск развития неканцерогенных эффектов у детского населения возможен при концентрации в воде NO₃⁻ около 25 мг/л и более, а для взрослого населения – около 60 мг/л и более. Для остальных химических веществ, как видно из табл. 2, максимальные величины коэффициента опасности не превышают приемлемых уровней риска для здоровья.



- Реки / Rivers
- Границы административных районов / Boundaries of administrative districts
- Населённые пункты и точки отбора подземных вод / Community and sampling site

- 3** Административные районы:
Districts:
- 1 – Александровский / Alexandrovsky
 - 2 – Асиновский / Asinovsky
 - 3 – Бакcharский / Bakcharsky
 - 4 – Верхнекетский / Verkhneketsky
 - 5 – Зырянский / Zyryansky

- 6 – Какрасовский / Kakrgasovsky
- 7 – Кожевниковский / Kozevnikovskiy
- 8 – Колпашевский / Kolpashevsky
- 9 – Кривошеинский / Krivosheinsky
- 10 – Молчановский / Molchanovsky

- 11 – Парабельский / Parabel
- 12 – Первомайский / Pervomayskiy
- 13 – Тегульдетский / Teguldetsky
- 14 – Томский / Tomsky
- 15 – Чаинский / Chainskiy
- 16 – Шерарский / Shegarskiy

Обзорная схема района исследований.
Location map of study area.

Таблица 3 / Table 3

Распределение результатов расчета HQ по уровням риска в % от общего числа опробованных вод
Distribution results of HQ calculation by risk levels in % of the total number of water samples

Компонент Component	Уровень риска / Risk level							
	Минимальный (0.1 и менее) Minimum (0.1 and less)		Допустимый Permissible (0.11–1.0)		Настораживающий Alarming (1.1–3.0)		Высокий (более 3) High (more than 3)	
	дети / children	взрослые / adults	дети / children	взрослые / adults	дети / children	взрослые / adults	дети / children	взрослые / adults
Fe	24	33	30	54	37	11	9	2
Mn	65	77	35	23	0	0	0	0
NO ₃ ⁻	78	80	11	13	4	7	7	0
Ca ²⁺	28	93	72	7	0	0	0	0
Mg ²⁺	74	96	26	4	0	0	0	0

В числе населённых пунктов, где были отобраны воды с самыми высокими концентрациями железа и нитратов, создающими максимальные значения риска развития неканцерогенных эффектов при использовании этих вод местным населением в питьевых целях, можно назвать г. Стрежевой, сёла Ярское, Юдино, Чигара, Новокороткино, д. Малое Протопопово (см. рисунок).

По результатам расчётов HQ в соответствии с классификацией, приведённой в Руководстве³ по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска, для выбранных возрастных групп оценивали частоту встречаемости значений HQ в том или ином диапазоне риска. Из табл. 3 видно, что ситуация по марганцу, а также кальцию и магнию (составляющих общую жёсткость) не вызывает опасения, значения коэффициента опасности для этих компонентов укладываются в диапазон минимального и допустимого уровней риска. В настораживающий уровень риска для детской и взрослой возрастных групп попадает небольшой процент отобранных вод, в химическом составе которых обнаружены высокие концентрации нитратов, и для 7% водоисточников в детской возрастной категории уровень риска характеризуется как высокий. Самая тяжёлая ситуация складывается по железу, поскольку доля проб, попавших в диапазон настораживающего уровня риска, для детского населения уже очень высока (37%), а для 9% исследованных вод риск оценивается как высокий. Во взрослой возрастной категории для 11% проб выявлен настораживающий уровень риска и для 2% – высокий.

Обсуждение

Результаты исследований показали, что в водах с повышенными концентрациями сульфатов и хлоридов одновременно наблюдались максимальные значения показателя общей жёсткости и содержания нитратов (см. табл. 1). На основе проведённых ранее собственных исследований, а также анализа опубликованных данных других авторов можно сделать вывод о том, что для территории Томской области высокое содержание перечисленных компонентов в воде не характерно и не связано с породами, слагающими водоносные горизонты, за исключением отдельных участков. Речь идёт о палеозойских образованиях Томского района (см. рисунок), содержащих подземные воды, водовмещающие отложения которых пиритизированы. В таком случае в водах может наблюдаться увеличение содержания сульфатов и некоторых других элементов, например, кальция и магния (увеличивающих показатель общей жёсткости), исследование таких вод авторами не проводилось. Накопление хлоридов при отсутствии загрязнения происходит в более глубоких горизонтах. Таким образом, присутствие в источниках

нецентрализованного водоснабжения хлоридов на уровне, превышающем гигиенические нормативы, может свидетельствовать о загрязнении вследствие находящихся неподалёку несанкционированных свалок, выгребных ям или бань, недопустимо близкого соседства источника водоснабжения с частным туалетом, попадания сточных вод, отходов человеческой деятельности, применения удобрений для роста огородных культур в завышенной концентрации и т. д. Такая ситуация наблюдается в единичных случаях, что подтверждается частотой встречаемости значений HQ, рассчитанного для нитратов, в диапазоне настораживающего и высокого уровней риска и полным отсутствием в данных диапазонах результатов расчётов HQ для кальция и магния (см. табл. 3).

Для железа и марганца характерна иная ситуация: повышенные их концентрации не связаны с максимальными содержаниями нитратов, сульфатов, хлоридов и значениями общей жёсткости. Обогащению подземных вод этими компонентами, как правило, способствуют естественные природные условия. Основными, по нашему мнению, являются растворение водой алюмосиликатных минералов водовмещающих горных пород, а также наличие благоприятных условий (переходная глеевая околонеутральная среда и наличие органических веществ в водах) [4]. Это и объясняет повсеместное распространение на региональном уровне этих элементов в концентрациях выше ПДК. Результаты расчётов HQ железа свидетельствуют о высокой встречаемости HQ в диапазоне настораживающего и даже высокого уровней неканцерогенного риска для детской возрастной категории (см. табл. 3). Аналогичной картины при оценке уровней риска при воздействии марганца не наблюдается.

Нельзя не отметить негативного влияния высоких концентраций железа на органолептические свойства воды, которые строго регламентированы. Исследователями ещё в 2003 г. было показано [30], что в Томской области нет ни одного административного района, где бы вода отвечала нормативным требованиям по органолептическим показателям: запаху, цветности и мутности. Повсеместно вода имела запах интенсивностью 2–3 балла, цветность в Кargasокском, Чаинском и Шегарском районах (см. рисунок) находилась на уровне ПДК, а в Асиновском и Верхнекетском превышала установленные нормативы (20 градусов). Показатель мутности также зачастую был выше ПДК (1,5 мг/л). Таким образом, данная проблема давно интересует учёных, но и в настоящее время изучение формирования и распространения железосодержащих вод не потеряло своей актуальности. Значимость этого вопроса на сегодняшний день связана прежде всего с возможным негативным влиянием высоких концентраций железа на организм человека.

Опираясь на результаты, полученные нами в данной работе, а также на исследования других авторов, можно сделать

вывод о том, что риск для здоровья населения при использовании вод нецентрализованных источников водоснабжения территории исследований связан в первую очередь с избыточным содержанием железа. Постоянное употребление местным населением для питья таких вод, не прошедших предварительного обезжелезивания, может явиться непосредственной причиной нарушения здоровья. Поскольку большинство расчётных данных по значению HQ для кальция, магния, марганца и нитратов находится в диапазонах минимального и допустимого уровней риска, характеристика возможных негативных последствий, которые могут возникнуть от употребления вод с высоким содержанием этих элементов, нецелесообразна. Добавим лишь, что при употреблении вод с повышенными концентрациями соединений азота существует риск развития вредных эффектов, связанных с нарушением уровня гемоглобина в крови человека. Основной целью данной работы была оценка рисков от воздействия железа. Особое внимание уделено изучению литературы, посвящённой влиянию на здоровье человека высоких концентраций железа в воде. Из-за отсутствия подобных исследований применительно к источникам нецентрализованного водоснабжения мы были вынуждены использовать публикации по данной тематике, посвящённые исследованиям воды централизованных систем водоснабжения [11–19]. Авторами этих работ было показано, что на уровень распространённости некоторых болезней действует определённое сочетание параметров химического состава питьевой воды, в число которых входит железо; установлены прямые корреляционные зависимости между содержанием железа в воде и развитием целого ряда патологий неинфекционного характера. В их числе болезни кожи и подкожной клетчатки [11–13, 15], болезни мочеполовой системы [11, 14, 16], органов пищеварения (гастрит, дуоденит, колит) [11, 12, 16, 17], болезни печени [11], органов дыхания [11], болезни эндокринной [11, 15, 19] и костно-мышечной систем [11, 16], болезни крови и кроветворных органов [11], нейродегенеративные заболевания (болезнь Альцгеймера) [18, 19] и некоторые другие.

Увеличивающееся с каждым годом число работ, посвящённых изучению влияния на здоровье человека повышенных концентраций в воде химических веществ, в том числе железа, и выявленные в связи с этим заболевания подтверждают значимость выносимой нами на обсуждение проблемы. Безусловно, необходимо внимание потребителей к водоподготовке, направленной на удаление железа, которая является минимально необходимой мерой борьбы с негативными последствиями употребления в питьевых целях вод с высоким содержанием этого элемента.

В данной работе авторы предприняли попытку предварительной оценки неканцерогенного риска от действия отдельных химических веществ, преимущественно железа, содержащихся в воде. Достоверность итоговой оценки риска связана с некоторыми неопределённостями, прежде всего это оценка экспозиции (воздействия). При расчётах учитывали неполный маршрут воздействия химических веществ, поскольку была рассмотрена только одна среда – питьевая вода (воздух, почва, продукты питания не рассматривались) и только один путь поступления веществ (пероральный), в сравнении с которым кожное и ингаляционное воздействие – малозначимые пути. Данное исследование также лимитировано количеством исследованных источников водоснабжения. Увеличение их числа, несомненно, повысило бы надёжность результатов.

Заключение

В подземных водах нецентрализованных источников водоснабжения Томской области в единичных случаях наблюдаются сверхнормативные или повышенные значения общей жёсткости, содержания NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , что связано с загрязнением из-за отсутствия зон санитарной охраны и элементарных действий по уходу за источниками индивидуального пользования. Это делает невозможным использование таких вод в качестве источников питьевого водоснабжения. Железо и марганец присутствуют в концентрациях выше норм ПДК практически повсеместно, их накопление и распространение на региональном уровне связано с естественной геохимической средой.

Основной неканцерогенный риск создаёт железо, редко – нитраты. Риск развития неканцерогенных эффектов существует в ряде населённых пунктов. Для выбранной детской возрастной группы (до 6 лет) риск значительно выше, чем для взрослой, что объясняется большей дозой токсического вещества, поступающей в организм, на единицу массы тела ребёнка по сравнению со взрослым человеком. Вероятность возникновения вредных эффектов для детской возрастной группы возможна уже при содержании железа 5 мг/л и более, для взрослой – 11 мг/л и более. На основе полученных значений коэффициентов опасности для железа в обеих возрастных группах определены настораживающий и высокий уровни риска.

При употреблении железосодержащих вод в питьевых целях существует опасность возникновения таких патологий неинфекционного характера, как болезни кожи, мочеполовой, эндокринной систем, органов пищеварения, нейродегенеративные заболевания и др.

Литература

(п.п. 6, 17–21, 23, 24, 28, 29 см. References)

1. Рыженко Б.Н., Шварцев С.Л., ред. *Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. Т.2: Система вода–порода в зоне гипергенеза*. Новосибирск; 2007.
2. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. *Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты*. М.: ЦентрЛит-НефтеГаз; 2012.
3. Лепокурова О.Е., Иванова И.С., Шварцев С.Л., Колубаева Ю.В., Наливайко Н.Г. Химический и микробиологический состав подземных вод децентрализованного водоснабжения южных и центральных районов Томской области. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2016; 327(5): 29–41.
4. Иванова И.С., Лепокурова О.Е., Покровский О.С., Шварцев С.Л. Железосодержащие подземные воды верхней гидродинамической зоны центральной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. *Водные ресурсы*. 2014; 41(2): 164. <https://doi.org/10.7868/S0321059614020084>
5. Лукашевич О.Д. О проблеме качества питьевой воды в системах централизованного и нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения в Томской области. В кн.: *Роговские чтения: Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии урбанизированных территорий. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвящённой 85-летию со дня рождения профессора Г.М. Рогова*. Томск; 2015: 79–84.
7. Хвашевская А.А., Наливайко Н.Г., Копылова Ю.Г. Железобактерии в природных водах Обь-Томского междуречья. *Вода: химия и экология*. 2015; (5): 76–84.
8. Колубаева Ю.В., Иванова И.С. Проблемы использования источников нецентрализованного водоснабжения на территории юга Томской области. *Вода и экология: проблемы и решение*. 2020; (4): 3–15. <https://www.semanticscholar.org/paper/PROBLEMS-OF-USING-SOURCES-OF-DECENTRALIZED-WATER-IN-Kolubaeva-Ivanova/f49ca49ae0a30efc833dbd16ff53d673703bbac>
9. Барабаш А.Л., Булгаков Н.Г. Влияние химико-микробиологического состава подземных питьевых вод на здоровье человека. *Успехи современной биологии*. 2015; 135(5): 480–95.
10. Иванов А.В., Тафеева Е.А., Давлетова Н.Х., Вавашкин К.В. Современные представления о влиянии качества питьевой воды на состояние здоровья населения. *Вода: химия и экология*. 2012; (3): 48–53.
11. Егорова Н.А., Канатникова Н.В. Влияние железа в питьевой воде на заболеваемость населения г. Орла. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(11): 1049–53. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1049-1053>

12. Григорьев Ю.И., Ляпина Н.В. Оценка риска загрязнения питьевой воды для здоровья детей Тульской области. *Гигиена и санитария*. 2014; 93(3): 23–6.
13. Безрукова Д.А., Джумагазиев А.А., Мясищева А.Б., Шелкова О.А. Качество питьевой воды и заболеваемость атопической патологией у детей и подростков, проживающих в условиях йодного дефицита и антропогенного загрязнения окружающей среды. *Экология человека*. 2010; (6): 24–9.
14. Кики П.Ф., Горборукова Т.В., Ананьев В.Ю. Распространенность экологозависимых заболеваний мочеполовой системы в биоклиматических зонах Приморского края. *Гигиена и санитария*. 2013; 92(5): 87–91.
15. Зубарева О.В., Аброськина Н.В., Князев Д.К. Оценка влияния качества питьевой воды на здоровье населения Волгоградской области. В кн.: *Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Пермь; 2018: 65–7.
16. Скударнов С.Е., Куркатов С.В. Неинфекционная заболеваемость населения и риски для здоровья в связи с качеством питьевой воды. *Гигиена и санитария*. 2011; 90(6): 30–2.
22. Конышина Л.Г. Оценка риска здоровью детей, обусловленного химическим составом питьевой воды источников нецентрализованного водоснабжения Екатеринбурга. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(9): 997–1003. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-9-997-1003>
25. Зиновик К.В., Хвощевская А.А., Солдатова Е.А. Химический состав подземных вод нецентрализованных источников водоснабжения Томского района Томской области. *Вопросы естествознания*. 2018; (1): 97–102.
26. Кончакова Н.В., Ушакова Н.С. Оценка экологического риска при использовании подземных вод Томской области в питьевых целях. В кн.: *Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии. Материалы Всероссийской конференции с международным участием с элементами научной школы*. Томск; 2015: 513–7.
27. Янкович Е.П., Осипова Н.А., Лыгин В.А., Лукашевич О.Д., Янкович К.С. Химический состав подземных вод как фактор риска для здоровья населения (на примере Томского района Томской области). *Современные проблемы науки и образования*. 2014; (3): 786–94.
30. Лукашевич О.Д., Пилипенко В.Г. Безопасность питьевого водоснабжения как межведомственная проблема. *Безопасность жизнедеятельности*. 2003; (12): 30–5.

References

1. Ryzhenko B.N., Shvartsev S.L., eds. *Water-Rock System: Geological Evolution and Self-organization. Book 2. Water-Rock System in Supergene Environments [Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda–poroda. T.2: Sistema voda–poroda v zone gipergenez]*. Novosibirsk; 2007. (in Russian)
2. Kraynov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. *Chemistry of Groundwaters: Theoretical, Applied and Environmental Aspects [Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty]*. Moscow: TsentrLitNefteGaz; 2012. (in Russian)
3. Lepokurova O.E., Ivanova I.S., Shvartsev S.L., Kolubaeva Yu.V., Nalivaiko N.G. Chemistry and microbiology of self-supplied groundwaters in the southern and central Tomsk region. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*. 2016; 327(5): 29–41. (in Russian)
4. Ivanova I.S., Lepokurova O.E., Pokrovskiy O.S., Shvartsev S.L. Iron-containing groundwater in the upper hydrodynamic zone in the central part of West-Siberian artesian basin. *Vodnye resursy*. 2014; 41(2): 163–77. <https://doi.org/10.1134/S0097807814020080>
5. Lukashевич O.D. The problem of drinking water quality at public and nonpublic supplies of the Tomsk region. In: *Problems of Engineering Geology, Hydrogeology and Geoenvironment in Urban Areas. Proceedings Commemorative Rogov's Conference Russian with International Contribution, 85th Anniversary of Professor G.M. Rogov [Rogovskie chteniya: Problemy inzhenernoy geologii, gidrogeologii i geokologii urbanizirovannykh territoriy. Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 85-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.M. Rogova]*. Tomsk; 2015: 79–84. (in Russian)
6. WHO. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva; 2017.
7. Khvashchenskaya A.A., Nalivaiko N.G., Kopylova, Yu.G. Iron bacteria in natural waters of Ob-Tomsk interfluvium. *Voda: Khimiya i Ekologiya*. 2015; 5: 76–84. (in Russian)
8. Kolubaeva Yu.V., Ivanova I.S. Problems of using sources of decentralized water supply in the south of the Tomsk region. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2020; (4): 3–15. <https://www.semanticscholar.org/paper/PROBLEMS-OF-USING-SOURCES-OF-DECENTRALIZED-WATER-IN-Kolubaeva-Ivanova/f49ca49ae0a30efc833dbd16fbb53d673703bbac> (in Russian)
9. Barabash A.L., Bulgakov N.G. The influence of chemical and microbiological composition of underground waters on human health. *Uspekhi sovremennoy biologii*. 2015; 135(5): 480–95. (in Russian)
10. Ivanov A.V., Tafeeva E.A., Davletova N.Kh., Vavashkin K.V. Drinking water impact on human health. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2012; (3): 48–53. (in Russian)
11. Egorova N.A., Kanatnikova N.V. Effect of iron in drinking water on the morbidity rate in the population of the city of Orel. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(11): 1049–53. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1049-1053> (in Russian)
12. Grigor'ev Yu.I., Lyapina N.V. Assessment of risk of contamination of drinking water for the health of children in the Tula region. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2014; 93(3): 23–6. (in Russian)
13. Bezrukova D.A., Dzhumagaziev A.A., Myasishcheva A.B., Shelkova O.A. The quality of drinking water and primary morbidity of allergic diseases in children and teenagers, living in condition of the iodine deficit and anthropogenic environmental contamination. *Ekologiya cheloveka*. 2010; (6): 24–9. (in Russian)
14. Kiku P.F., Gorburokova T.V., Anan'ev V.Yu. The spread of ecology-dependent diseases of the genitourinary system in bioclimatic zones of the Primorsky Krai. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2013; 92(5): 87–91. (in Russian)
15. Zubareva O.V., Abroskina N.V., Knyazev D.K. Effect of drinking water quality on human health in the Volgograd region. In: *Risk Assessment for Sanitary and Epidemiological Safety and Consumer Rights Protection. Proceedings of the VIII All-Russian Conference with International Contribution [Aktual'nye voprosy analiza riska pri obespechenii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya i zashchity prav potrebitel'ev. Materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Perm'; 2018: 65–7. (in Russian)
16. Skudarnov S.E., Kurkatov S.V. Noncommunicable morbidity and public health risks associated with drinking water quality. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2011; 90(6): 30–2. (in Russian)
17. Aamodt G., Bukholm G., Jahnsen J., Moum B., Vatn M.H. The association between water supply and inflammatory bowel disease based on a 1990–1993 cohort study in southeastern Norway. *Am. J. Epidemiol.* 2008; 168(9): 1065–72. <https://doi.org/10.1093/aje/kwn218>
18. Campbell A. The role of aluminium and copper on neuroinflammation and Alzheimers disease. *J. Alzheimers Dis.* 2006; 10(2–3): 165–72. <https://doi.org/10.3233/jad-2006-102-304>
19. Brewer G.J. Risks of copper and iron toxicity during aging in humans. *Chem. Res. Toxicol.* 2010; 23(2): 319–26. <https://doi.org/10.1021/tx900338d>
20. Ghosh G.C., Khan M.J.H., Chakraborty T.K., Zaman S., Kabir A.E., Tanaka H. Human health risk assessment of elevated and variable iron and manganese intake with arsenic-safe groundwater in Jashore, Bangladesh. *Sci. Rep.* 2020; 10(1): 5206. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62187-5>
21. Rahman M.A., Islam M.R., Kumar S., Al-Reza S.M. Drinking water quality, exposure and health risk assessment for the school-going children at school time in the southwest coastal of Bangladesh. *J. Water Sanit. Hyg. Dev.* 2021; 11(4): 612–28. <https://doi.org/10.2166/washdev.2021.016>
22. Konshina L.G. Risk assessment of children's health due to the chemical composition of drinking water sources of the non-centralized water supply of the city of Ekaterinburg. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(9): 997–1003. <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-9-997-1003> (in Russian)
23. Soldatova E., Sun Z., Maier S., Drebot V., Gao B. Shallow groundwater quality and associated non-cancer health risk in agricultural areas (Poyang Lake basin, China). *Environ. Geochem. Health.* 2018; 40(5): 2223–42. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0094-z>
24. Seal K., Chaudhuri H., Pal S., Srivastava R.R., Soldatova E. A study on water pollution scenario of the Damodar river basin, India: assessment of potential health risk using long term database (1980–2019) and statistical analysis. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2022; 39(35): 53320–52. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19402-9>
25. Zinovik K.V., Khvashchenskaya A.A., Soldatova E.A. Chemical composition of groundwater of non-centralized water supply in the Tomsk district of Tomsk region. *Voprosy estestvoznaniya*. 2018; (1): 97–102. (in Russian)
26. Konchakova N.V., Ushakova N.S. Assessment of risks associated with the use of groundwaters for drinking purposes in the Tomsk region. In: *Modern Problems of Hydrogeology, Engineering Geology and Hydroecology of Eurasia. Proceedings of the All-Russian Conference with International Contribution [Sovremennye problemy gidrogeologii, inzhenernoy geologii i gidrogeokologii Evrazii. Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem c elementami nauchnoy shkoly]*. Tomsk; 2015: 513–7. (in Russian)
27. Yankovich E.P., Osipova N.A., Lgotin V.A., Lukashевич O.D., Yankovich K.S. Chemical composition of groundwater as a risk factor for health (Tomsk region of Tomsk region as an example). *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014; (3): 786–94. (in Russian)
28. Konchakova N.V., Ushakova N.S., Aikina T.Y. Ecological risk assessment of Tomsk region groundwater used for drinking purposes. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2016; 33(1): 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/33/1/012022>
29. US EPA. *Exposure Factors Handbook*. (EPA/600/R-09/052F). Washington, DC: United States Environmental Protection Agency; 2011.
30. Lukashевич O.D., PiliPENKO V.G. Water supply safety as an interdepartmental problem. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2003; (12): 30–5. (in Russian)