

УДК 556.314:504.064.2
DOI 10.17513/use.38144

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

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

¹ФГБУН Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, e-mail: Kolubaeva@inbox.ru;

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск;

³ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н.П. Лаврова» Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск

В работе приведены результаты исследований химического состава природных вод (подземных, речных и озерных) Ямало-Ненецкого автономного округа. Вода является жизненно важным ресурсом, качество и доступность которого влияют на здоровье и благополучие человека. Как правило, население крупных городов использует подземные воды централизованных систем водоснабжения, вместе с тем население отдаленных районов, а также и коренные жители, ведущие кочевой образ жизни, пьют воду непосредственно из рек и водоемов без какой-либо водоподготовки. Природные воды территории исследований подвержены влиянию как природных, так и антропогенных факторов, что может отражаться на их химическом составе. Анализ результатов химического состава природных вод на несоответствие гигиеническим нормативам показал, что по обобщенным показателям качества вод и элементам макрокомпонентного состава, как правило, превышений относительно ПДК не обнаружено. Исключением является органический углерод, содержания которого максимальны в озерных водах и минимальны в более глубоких подземных водах. Среди элементов микрокомпонентного состава вод обнаружены превышения относительно установленных нормативов для железа и марганца. Данные по содержанию в водах железа и марганца использовались для оценки неканцерогенного риска для детской (до 6 лет) и взрослой возрастных групп, при этом рассматривался только пероральный путь поступления химических веществ в организм с питьевой водой. Установлено, что основной неканцерогенный риск для здоровья человека создает железо, для которого определены для обеих возрастных групп настораживающий уровень и для детской возрастной группы высокий уровень риска. При употреблении вод с высоким содержанием железа существует опасность возникновения заболеваний неинфекционного характера. Употребление речных и тем более озерных вод, содержащих высокие концентрации органических веществ, влияющих на органолептические свойства воды, может способствовать ухудшению здоровья людей.

Ключевые слова: водоснабжение, химический состав, общее железо, растворенное органическое вещество, здоровье населения, неканцерогенный риск

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Минобрнауки России 13.2251.21.0130 (номер соглашения в Государственной интегрированной информационной системе управления общественными финансами «Электронный бюджет» 075-15-2022-241/2).

FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF NATURAL WATER AND ITS IMPACT ON HUMAN HEALTH ON THE NORTH OF WESTERN SIBERIA

¹Kolubaeva Yu.V., ^{1,2}Ivanova I.S., ^{2,3}Shirokova L.S.

¹Tomsk branch of the A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, e-mail: Kolubaeva@inbox.ru;

²National Research Tomsk State University, Tomsk;

³N.P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk

The results of studies of the chemical composition of natural waters (ground, river and lake waters) of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug are presented in the article. Water is a vital resource, the quality and availability of which affects human health and well-being. As a rule, the population of large cities uses groundwater from centralised water supply systems; however, the population of rural areas, as well as indigenous nomadic populations, drink water directly from rivers and water bodies without any water treatment. The natural water of the study area is affected by environmental and anthropogenic factors, which may be affected by their chemical composition. Analysis of the results of the chemical composition of natural waters for non-compliance with hygienic standards demonstrated that, as a rule, no exceedances of threshold limit value (TLV) were found for generalized water quality indicators and elements of macro-component composition. The exception is organic carbon, the content of which is maximum in lake waters and minimum in deeper groundwater. Among the elements of microcomponent composition, were found to exceed the limits for iron and manganese. The data on the content of iron and manganese in water were used for assessment of non-carcinogenic risk for children (up to 6 years old) and adult age groups, considering only the oral route of chemical substances into the body with drinking water. It was found that the main non-carcinogenic risk to human health is from iron, for which both age groups are identified as alarming and the

children's age group as high risk. The use of water with a high iron content carries the risk of non-communicable diseases. The consumption of river and lake waters that contain high concentrations of organic matter, which affect the organoleptic properties of the water, may contribute to the decline in human health.

Keywords: water supply, chemical composition, total iron, dissolved organic matter, public health, non-carcinogenic risk

The work was carried out with financial support from the Russian Ministry of Education and Science grant 13.2251.21.0130 (agreement number in the State Integrated Information System for Public Finance Management "Electronic Budget" 075-15-2022-241/2).

Вода как один из факторов, оказывающих влияние на здоровье населения, может рассматриваться как с положительной, так и с негативной стороны. При этом негативная сторона, связанная с возрастающим техногенным загрязнением не только рек и водоемов, но и подземных вод, на сегодняшний день вызывает все большее беспокойство. Вода для человека является жизненно важным ресурсом, доступ к которому способствует социально-экономическому развитию территорий и определяет уровень жизни населения, заболеваемость которого может быть обусловлена качеством воды [1]. Об этом свидетельствуют данные экспертов ВОЗ, по которым около 80% заболеваний прямо или косвенно связаны с особенностями водного фактора. На территории Ямало-Ненецкого автономного округа около 20% населения использует для хозяйственно-питьевых нужд воду, не отвечающую санитарным нормам. Как известно, на севере Западной Сибири сосредоточены огромные запасы углеводородного сырья, активная добыча которого способствует социально-экономическому развитию территорий. Однако увеличивающаяся с каждым годом антропогенная нагрузка, вызванная интенсивным освоением арктических территорий Западной Сибири, несомненно, оказывает влияние на все компоненты окружающей среды, в том числе и на природные воды, где нефть (в том числе и нефтепродукты – фенолы, полиароматические соединения) является одним из основных загрязнителей, поступление которых происходит главным образом при аварийных разливах из трубопроводов [2, 3].

Активная добыча углеводородов, заболоченность, климатические изменения, наличие многолетнемерзлых пород – все это, несомненно, оказывает влияние на химический состав природных вод данной зоны. Кроме того, многолетнемерзлые породы осложняют доступ населения к питьевым пресным подземным водам, которые являются наиболее приоритетными при организации хозяйственно-питьевого водоснабжения в силу своей защищенности от возможного антропогенного загрязнения. Следует также

отметить, что коренное население Арктики ведет кочевой образ жизни и употребляет «сырую» воду (без какой-либо водоподготовки) непосредственно из рек и водоемов [4]. В этой связи целью исследования является изучение химического состава подземных вод, а также озерных и речных вод, которые могут использоваться населением в качестве возможных источников питьевых вод; проверка данных химического анализа вод на соответствие нормативам качества; оценка неканцерогенного риска для здоровья, обусловленного употреблением вод с высокими концентрациями содержащихся в них компонентов.

Материалы и методы исследования

В 2020–2022 гг. на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) сотрудниками ТФ ИНГГ СО РАН были проведены комплексные гидрогеохимические исследования, результаты которых положены в основу данной работы. В результате проведенных экспедиционных работ из водозаборных скважин глубиной от 5 до 244 м было отобрано 25 проб подземных вод, также в качестве возможных источников питьевых вод дополнительно были отобраны пробы из 13 рек и 6 крупных озер (рис. 1).

В каждой точке опробования проводились измерения быстроменяющихся показателей: температуры, pH, электропроводности, окислительно-восстановительного потенциала. На базе лаборатории ТФ ИНГГ СО РАН были определены содержания основных макрокомпонентов (SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) и биогенных соединений (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}) методом капиллярного электрофореза («Капель-205», Люмэкс, Россия); концентрации HCO_3^- определены методом титрования. Содержание растворенного органического углерода (Corg) определено методом высокотемпературного каталитического окисления (TOC-6000, Shimadzu, Япония) в Лаборатории георесурсов и окружающей среды г. Тулузы (GET, Франция), концентрации микроэлементов определены методом ICP-MS (Agilent 7500, Agilent Technologies, США).

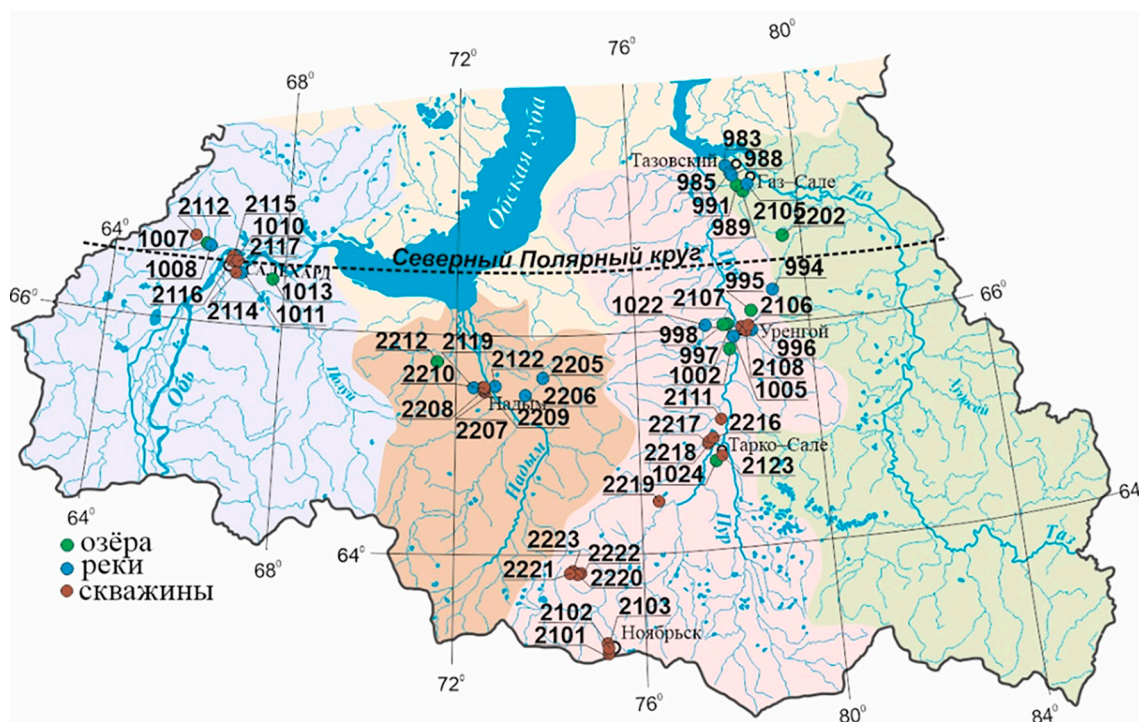


Рис. 1. Схема отбора проб природных вод на территории ЯНАО

Наименование химического типа воды дано с учетом содержания макрокомпонентов более 25 мг-экв% в порядке убывания их концентрации. При оценке содержания в воде компонентов использовали гигиенические нормативы, утвержденные СанПиН 1.2.3685-21 [5].

Оценка риска для здоровья проведена с учетом развития неканцерогенных эффектов при воздействии химических веществ, загрязняющих источники водоснабжения. Неканцерогенные эффекты выражаются в отсутствии опасности развития злокачественных новообразований при воздействии факторов окружающей среды. Оценку риска развития неканцерогенных эффектов при длительном употреблении вод в питьевых целях проводили на основе расчета коэффициента опасности (HQ) отдельно для каждой пробы воды как для взрослого, так и для детского населения (в возрасте до 6 лет) согласно Р 2.1.10.1920–042 [6], по формуле

$$HQ = I / RfD,$$

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

$$I = \frac{Cw \cdot V \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365},$$

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 несущественна, такое воздействие характеризуется как допустимое. Если же $HQ > 1$, вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению значения данного коэффициента. Характеристика неканцерогенного риска проводится по результатам расчетов HQ в соответствии с принятой в [7] классификацией уровней риска.

Результаты исследования и их обсуждение

Поверхностные воды являются ультрапресными с минерализацией от 10 до 140 мг/л (табл. 1).

Таблица 1

Основные физико-химические показатели состава природных вод

Компонент, ед. изм.	Поверхностные воды		Подземные воды		ПДК [5]
	Озерные	Речные	Четвертичный ВК	Эоценолигоценовый ВК	
pH	<u>4,9–6,1</u> 5,7	<u>5,52–7,9</u> 6,8	<u>5,5–7,9</u> 6,2	<u>5,6–7,4</u> 6,8	6–9
Минерализация, мг/л	<u>10,2–27,8</u> 16,6	<u>14–140</u> 55	<u>28–287</u> 115	<u>41–357</u> 131	1000
Сорг*, мг/л	<u>8,7–44,2</u> 20,8	<u>1,3–21,3</u> 10	<u>0,4–12,7</u> 2,1	<u>0,6–9,5</u> 4,1	5
HCO ₃ ⁻ , мг/л	<u>4,3–22,0</u> 11,0	<u>4,8–87,8</u> 35,6	<u>17,7–210,0</u> 71,6	<u>26,8–204,0</u> 94,0	
SO ₄ ²⁻ , мг/л	<u>1,0–2,1</u> 1,8	<u>0,9–10,8</u> 3,8	<u>< 0,5–25,7</u> 8,3	<u>< 0,5–4,2</u> 1,3	500
Cl ⁻ , мг/л	<u>0,1–0,6</u> 0,3	<u>0,1–15</u> 2,7	<u>< 0,5–18,0</u> 2,7	<u>< 0,5–86,7</u> 1,3	350
Ca ²⁺ , мг/л	<u>0,4–3,0</u> 1,3	<u>1,3–15,2</u> 6,3	<u>2,6–30,7</u> 14,1	<u>1,8–32,9</u> 11,3	
Mg ²⁺ , мг/л	<u>0,1–1,3</u> 0,6	<u>0,9–6,2</u> 2,4	<u>0,6–26,5</u> 4,2	<u>1,2–16,1</u> 4,9	50
Na ⁺ , мг/л	<u>0,3–2,1</u> 0,8	<u>0,3–16,6</u> 3,5	<u>1,2–13,4</u> 2,6	<u>2,1–83,8</u> 4,7	200
K ⁺ , мг/л	<u>< 0,5–2,0</u> 0,4	<u>< 0,5–1,8</u> 0,5	<u>0,5–4,0</u> 0,7	<u>< 0,5–3,0</u> 1,5	
NH ₄ ⁺ , мг/л	<u>< 0,5–2,1</u> 0,7	<u>< 0,5–1,5</u> 0,4	<u>< 0,5–1,7</u> 0,8	<u>< 0,5–4,6</u> 0,8	1,5
NO ₃ ⁻ , мг/л	<u>< 0,2–1,7</u> 0,87	<u>< 0,2–0,7</u> 0,18	<u>0,34–24,1</u> 1,1	<u>< 0,2–0,48</u> 0,25	45
PO ₄ ³⁻ , мг/л	< 0,25	<u>< 0,2–0,9</u> 0,2	<u>< 0,25–2,8</u> –	<u>< 0,25–4,4</u> 0,7	3,5
Fe общ, мг/л	<u>0,2–1,4</u> 0,6	<u>0–1,8</u> 0,8	<u>0,01–14,8</u> 2,4	<u>1,4–9,1</u> 3,6	0,3
Mn, мкг/л	<u>0–90,1</u> 18	<u>0–59,9</u> 14	<u>1,1–1394,7</u> 453,7	<u>154,7–918,7</u> 364,3	100
Li, мкг/л	<u>0–1</u> 0,3	<u>0–2,4</u> 0,6	<u>0,5–3,4</u> 1,1	<u>0,5–7,7</u> 2,4	30
B, мкг/л	<u>0–4,1</u> 1	<u>0–18,3</u> 3,6	<u>0,9–92,9</u> 9,2	<u>4,8–342,5</u> 55,5	500
Al, мкг/л	<u>0–235,7</u> 62,6	<u>0–228,5</u> 28,7	<u>2,6–38,3</u> 7,9	<u>0,2–63,3</u> 6,5	200
Ni, мкг/л	<u>0–1,8</u> 0,48	<u>0–2,7</u> 0,45	<u>0,2–35,9</u> 5,1	<u>0,03–1,2</u> 0,25	20
Zn, мкг/л	<u>0–14,2</u> 2,7	<u>0–2,8</u> 0,5	<u>2,2–645,6</u> 9,6	<u>0,4–28,1</u> 3,6	5000
As, мкг/л	<u>0–0,9</u> 0,3	<u>0–1,3</u> 0,2	<u>0,02–3,9</u> 0,7	<u>0,07–9,3</u> 1,0	10

Примечание: в числителе – пределы содержаний, в знаменателе – среднее; ПДК – предельно допустимая концентрация компонента.

Значения pH варьируют в широком диапазоне от 4,9 до 7,9, но преимущественно характерна нейтральная и слабокислая среда. В анионном составе преобладает гидрокарбонат ион, в катионном – главным образом кальций и магний. Озерные воды характеризуются минимальными значениями

минерализации (от 10 до 28 мг/л) и pH (4,9–6,1), при этом в них отмечены максимальные концентрации органических веществ (Сорг от 8,7 до 44,2 мг/л). Кроме того, в озерных водах отмечены высокие концентрации иона аммония, содержания которого характеризуются сильной положительной

корреляцией со значениями Сорг. Воды рек по сравнению с озерными водами более минерализованные (до 140 мг/л), с более высоким показателем рН: воды ручьев и малых рек являются слабокислыми (5,5–6,0), воды крупных рек – слабощелочными (до 7,9). Концентрация Сорг снижается и изменяется в пределах от 1,3 до 21,3 мг/л.

Опробованные подземные воды приурочены к двум водоносным комплексам (ВК) – четвертичному и эоцен-олигоценному, которые являются основными источниками водоснабжения на территории исследований. Четвертичный ВК, имеющий повсеместное распространение на территории ЯНАО, в качестве источника водоснабжения используется в основном в г. Салехарде. Среднее значение величины рН вод составляет 6,2, варьируя в пределах от 5,5 до 7,9. Воды являются ультрапресными с минерализацией от 28 до 287 мг/л, низкие содержания солеобразующих элементов Ca^{2+} и Mg^{2+} характеризуют воды как очень мягкие. Эоцен-олигоценный ВК пользуется широким распространением в центральной части ЯНАО и является основным источником водоснабжения в г. Ноябрьск, Муравленко, Тарко-Сале и пос. Уренгой (рис. 1). Воды данного ВК являются нейтральными, ультрапресными с минерализацией от 41 до 357 мг/л, очень мягкими. По химическому типу воды эоцен-олигоценного ВК, так же как и воды четвертичного ВК, как правило, являются гидрокарбонатными кальциево-магниево-

ми. При сравнении с озерными и речными водами исследуемой территории, подземные воды характеризуются минимальными содержаниями растворенных органических веществ, максимальные концентрации которых достигают 12,7 мг/л (по Сорг) в неглубоко залегающих водах четвертичного ВК, ниже с глубиной концентрации Сорг снижаются (рис. 2). Большая часть органических веществ в природных водах представлена гуминовыми кислотами, которыми воды обогащаются при их вымывании из почв и торфов, а также в процессе разложения остатков растений. При проведенном более детальном анализе состава растворенных органических веществ было установлено наличие органических соединений, источниками которых является нефть. Так, в водах рек Обь, Пур и Надым были обнаружены гопаны, но максимальная их концентрация установлена в подземных водах четвертичного ВК, отобранных в п. Харп (0,2275 мкг/л). На присутствие нефтяного загрязнения вод также указывают циклогексаны, обнаруженные в водах р. Пур.

В целом же анализ результатов химического состава природных вод на несоответствие гигиеническим нормативам показал, что по элементам макрокомпонентного состава, а также по обобщенным показателям качества вод, как правило, превышений относительно ПДК не обнаружено. Лишь в единичных случаях встречаются незначительные превышения по NH_4^+ и PO_4^{3-} .

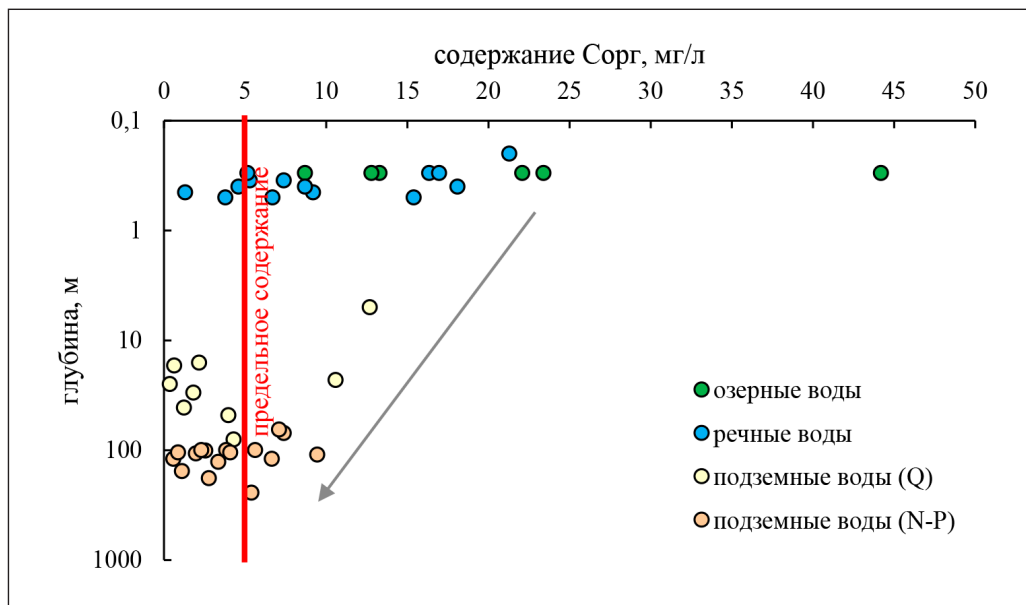


Рис. 2. Зависимость содержаний Сорг в природных водах от глубины

Стоит отметить, что высокие концентрации органического углерода, источниками которого в основном является торф и нефтяные углеводороды, характерны не только для поверхностных вод (озер и малых рек), но и в некоторых пробах подземных вод его содержание превышает норматив (5 мг/л) в несколько раз, что может свидетельствовать о наличии гидравлической связи как с поверхностными водами, так и с нижележащими пластовыми водами.

Среди элементов микрокомпонентного состава в поверхностных водах наблюдается повсеместное превышение относительно установленных нормативов [5] для Fe общ (табл. 1), в подземных водах – для железа и марганца, причем максимальные концентрации характерны для неглубоких (5 м) вод, отобранных вблизи г. Надыма, относящихся к четвертичному ВК, что, вероятнее всего, обусловлено наличием торфов, проницаемых песчаных отложений, и заболоченных территорий, способствующих обогащению вод растворенным органическим веществом и накоплению данных элементов.

На основе данных о содержании в водах Fe общ и Mn и стандартных значений факторов экспозиции были рассчитаны средние суточные дозы веществ при пероральном поступлении с питьевой водой для детской и взрослой возрастных групп. Полученные результаты и значение референтной дозы

(RfD) использовали для расчета коэффициента опасности (HQ) (табл. 2).

По данным, приведенным в табл. 2, видно, что максимальные значения коэффициента опасности для марганца не превышают единицы, а для железа – варьируют в широком диапазоне. При этом максимальные величины HQ для детской возрастной группы отличаются большими значениями (в два раза) по сравнению со взрослой возрастной категорией, что объясняется большей дозой токсического вещества, поступающей в организм, на единицу массы тела ребенка по сравнению со взрослым человеком.

По результатам расчетов HQ в соответствии с классификацией, приведенной в руководстве по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска [7], установлено, что ситуация по марганцу не вызывает опасения, так как значения коэффициента опасности для данного компонента укладываются в диапазон минимального и допустимого уровней риска для обеих возрастных групп (табл. 3). В отличие от марганца, для железа небольшой процент проб попадает в настораживающий уровень риска, а для детской возрастной группы – даже в высокий уровень риска, однако такая ситуация отмечается в единичном случае (около г. Надыма, частная скважина глубиной 5 м), что наглядно иллюстрируется зависимостью, приведенной на рис. 3.

Таблица 2

Результаты расчетов коэффициента опасности по возрастным группам

Компонент	RfD	HQ для возрастных групп			
		Дети		Взрослые	
		Минимум	Максимум	Минимум	Максимум
Feобщ	0,3	0,0	3,16	0,0	1,35
Mn	0,14	0,0	0,64	0,0	0,27

Таблица 3

Распределение результатов расчета HQ по уровням риска в % от общего числа опробованных вод

Компонент	Уровень риска							
	Минимальный (< 0,1)		Допустимый (0,11–1,0)		Настораживающий (1,1–3,0)		Высокий (> 3)	
	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые
Feобщ	22,7	50	63,6	45,5	11,4	4,5	2,3	0
Mn	63,6	84,1	36,4	15,9	0	0	0	0

способствует развитию болезней желудка и кишечника, сопровождающихся моторными и секреторными нарушениями.

Заключение

Таким образом, результаты изучения основных физико-химических показателей состава природных вод территории ЯНАО показывают, что общий природный гидрогеохимический облик изучаемых вод определяют главным образом такие компоненты, как гидрокарбонат-ион, кальций и магний. Воды являются ультрапресными, с высоким содержанием растворенных органических веществ, концентрации которых с глубиной уменьшаются.

При анализе данных химического состава на соответствие нормативам качества вод установлено, что основным элементом, содержание которого повсеместно превышает нормы ПДК, является железо. Высокие содержания данного элемента в водах могут объясняться как природными условиями формирования их химического состава, так и вторичным загрязнением самих водопроводных систем, а также особенностями водоподготовки на водозаборных станциях.

Основной неканцерогенный риск для здоровья населения ЯНАО создает железо. Для выбранной детской возрастной группы риск значительно выше, чем для взрослой. При употреблении в питьевых целях вод с высоким содержанием в них железа существует опасность возникновения патологий неинфекционного характера.

При оценке рисков возникновения заболеваний у населения, обусловленных качеством питьевой воды, необходимо учитывать не только макро- и микрокомпонентный состав вод, но и групповой состав содержащегося в них растворенного органического вещества, поскольку некоторые соединения и продукты их деградации обладают канцерогенными и мутагенными свойствами, оказывающими негативное влияние на здоровье человека.

Список литературы

1. Зайцева Н.В., Сбоев А.С., Клейн С.В., Вековщина С.А. Качество питьевой воды: факторы риска для здоровья населения и эффективность контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора // Анализ риска здоровью. 2019. № 2. С. 44–55. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.05.
2. Алтунина Л.К., Сваровская Л.И., Ященко И.Г., Ельчанинова Е.А. Экологическое состояние водных объектов на территории нефтедобывающих комплексов Среднего Приобья // Нефтехимия. 2017. Т. 57, № 3. С. 340–345. DOI: 10.7868/S0028242117020034.
3. Волкова Н.А., Иванова И.С., Соколов Д.А., Колубаева Ю.В., Чуйкина Д.А. Концентрации и источники полициклических ароматических углеводородов в воде и донных отложениях рек северных нефтегазодобывающих территорий Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334, № 4. С. 135–148. DOI: 10.18799/24131830/2023/4/3924.
4. Bogdanova E., Lobanov A., Andronov S.V., Soromotin A., Popov A., Skalny A.V., Shadyko O., Callaghan T.V. Challenges of Changing Water Sources for Human Wellbeing in the Arctic Zone of Western Siberia // Water. 2023. Vol. 15, Is. 8. P. 1577. DOI: 10.3390/w15081577.
5. 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) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>. (дата обращения: 04.10.2023).
6. 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.
7. Руководство по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска. М., 2017. 68 с.
8. Лапенко В.В., Бикбулатова Л.Н., Терникова Е.М. Эколого-физиологическая оценка химического состава водопроводной воды городов Ханты-Мансийск и Салехард // Ульяновский медико-биологический журнал. 2020. № 3. С. 159–167. DOI: 10.34014/2227-1848-2020-3-159-167.
9. Егорова Н.А., Канатникова Н.В. Влияние железа в питьевой воде на заболеваемость населения г. Орла // Гигиена и санитария. 2017. № 11. С. 1049–1053. DOI: 10.47470/0016-9900-2017-96-11-1049-1053.
10. 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 // American Journal of Epidemiology. 2008. Vol. 168, Is. 9. P. 1065-1072. DOI: 10.1093/aje/kwn218.
11. Brewer G.J. Risks of copper and iron toxicity during aging in humans // Chemical Research in Toxicology. 2010. Vol. 23, Is. 2. P. 319-326. DOI: 10.1021/tx900338d.