

А. Ф. Сухорукова^{1}, Н. И. Яндола^{1,2}*

Особенности геохимии подземных вод криолитозоны зоны сочленения Западно-Сибирского и Енисей-Хатангского артезианских бассейнов

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский национальный исследовательский университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация

*e-mail: SukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В работе показаны особенности геохимии надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных контактирующих вод верхней части криолитозоны района исследования. Для всех типов воды характерен пестрый химический состав, который объясняется разнообразием состава водовмещающих пород, существенным превышением концентрации железа, марганца, алюминия, кремния, окисляемости, обусловленный процессами криогенной метаморфизации подземных вод. Показано, что в надмерзлотных водах закономерно максимальный набор загрязняющих веществ, а именно: свинец, хром, фтор, ртуть, мышьяк, селен, бензапирен (относятся к первому и второму классу опасности).

Ключевые слова: криолитозона, гидрогеохимия, пресные подземные воды, загрязняющие вещества, водоснабжение, арктические районы Сибири

A. F. Sukhorukova^{1}, N. I. Yandola^{1,2}*

Features of the geochemistry of groundwater in the permafrost zone of the junction zone of the West Siberian and Yenisei-Khatanga artesian basins

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

*e-mail: SukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru

Abstract. The paper shows the features of the geochemistry of suprapermafrost, interpermafrost and subpermafrost contact waters in the upper part of the permafrost zone of the study area. All types of water are characterized by a variegated chemical composition, which is explained by the diversity of the composition of water-bearing rocks, a significant excess of the concentration of iron, manganese, aluminum, silicon, oxidizability, due to the processes of cryogenic metamorphization of groundwater. It is shown that in suprapermafrost waters, the maximum set of pollutants is regular, namely: lead, chromium, fluorine, mercury, arsenic, selenium, benzopyrene (they belong to the first and second hazard classes).

Keywords: cryolitozone, water chemistry, fresh groundwater pollutants, water supply, Arctic regions of Siberia

Введение

Геокриологические условия района исследования характеризуются практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород. Криогенные толщи различного генезиса развиты непосредственно с поверхности практиче-

ски на всех элементах рельефа, определяя особенности распространения подземных вод верхнего гидрогеологического этажа и, как следствие, химического состава вод. Начиная с середины прошлого века, в связи с активным освоением этого нефтегазодобывающего региона, остро стоит вопрос об обеспечении пресными водами качественного питьевого водоснабжения населения, хозяйственно-техническими водами других водопотребителей. Необходимо отметить, что в целом арктические районы Сибири имеют достаточно слабую гидрогеохимическую изученность, в последние десятилетия не проводятся региональные исследования по фоновым значениям состава.

Актуальность исследования связана с необходимостью детализации представлений о геохимии различных типов пресных вод в криолитозоне. Целью настоящей работы является анализ основных показателей химического состава вод верхней части криолитозоны в зависимости от их положения в разрезе (надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных контактирующих), пригодность для водоснабжения населения, выявление основных загрязняющих веществ.

Методы и материалы

В настоящей работе проанализированы данные Единого фонда геологической информации России (ЕФГИ) [1] в зоне сочленения Западно-Сибирского и Енисей-Хатангского артезианских бассейнов по поисковым, картировочным, разведочно-эксплуатационным, наблюдательным скважинам (более 200 скважин), в которых дана характеристика криогенного состояния пород, что позволило выделить три типа вод, по отношению к мерзлым толщам.

По данным ЕФГИ наиболее изучены воды Ямало-Ненецкого автономного округа в пределах Тазовского (68 скважин, водопотребители: Русское НГМ, Заполярное НГКМ, Русское ГНМ, Северо-Русское МППВ, Новозаполярный объект ПСП Арктикгаз, Харбейское НГМ, п. Тазовский), Пуровского (17 скважин, водопотребители: Северо-Часельское НГКМ, Матюйяхинский ПВУ, Уренгойский АУППВ), Красноселькупского (56 скважин, водопотребители: Красноселькупское МППВ, Термокарстовое ГКМ, Черничное НГКМ, Южно-Русское НГМ, п. Красноселькуп, п. Сидоровск) районов. В пределах арктических районов Красноярского края существенно меньше данных о пресных водах, в верхней части криолитозоны, так в Туруханском районе 27 скважин, пройденных для объектов ЗАО "Ванкорнефть", населения г. Игарка, с. Горошиха и Фарково), в Таймырский Долгано-Ненецкий район (20 скважин, объекты АО "РОСГЕО", население госпромхоза «Таймырский»).

Наиболее полные анализы воды представлены в 150 пробах, которые были использованы для оценки особенностей химического состава над-, меж- и подмерзлотных вод, с учетом ПДК для питьевых вод [2].

Геологическое строение

В пределах района исследований чехол новейших отложений представлен образованиями не древнее плиоцен-раннеплейстоценового возраста, с максимальной мощностью до 200 м. Нижняя часть разреза, залегающая на верхнеме-

ловых отложениях, сложена морскими опесчаненными глинами, на которых залегают четвертичные отложения, а на некоторых участках последние находятся непосредственно на меловых породах.

Отложения верхнего мела представлены песчаниками, алевролитами, глинами. Песчано-алевритовые породы рыхлые, слабосцементированные. Палеоценовые и эоценовые отложения распространены фрагментарно и представлены глинами, в верхней части песками и супесями. Основная часть четвертичных отложений представлена морскими, ледниково-морскими песками, супесями, гравием, галькой. Также широко распространены голоценовые пойменные аллювиальные, и озерно-аллювиальные осадки, менее отложения первой и второй надпойменных террас крупных рек [3, 4].

Геокриологические условия

Геокриологические условия западной части района исследования в течение длительного времени контролируются физико-географическими условиями. Район относится к Западному сектору Арктики, в определенной мере переходному от сугубо морского климата европейской территории России к континентальному климату Восточной Сибири. В мерзлом состоянии находятся породы различного генезиса и возраста, мощность может меняться от первых десятков до 300 и более метров, в зависимости от геоморфологического положения и наличия отепляющих факторов. Под акваториями Обской, Тазовской, Гыданской и Енисейской губ, под основными руслами Обь, Пур, Таз, Енисей и других рек, под озерами развиты сквозные талики. Также распространены несквозные талики под многочисленными озерами и руслами большинства рек. Следует отметить наличие генетически неоднородной толщи многолетнемерзлых пород, состоящей из эпикриогенных (верхняя) и синкриогенных (нижняя часть разреза) отложений, что объясняется сложным процессом их образования [3, 4, 5].

Наличие широко распространенной и сложнопостроенной толщи многолетнемерзлых пород исключило из водообмена значительную часть подземных вод и наложило отпечаток на формирование и существование подземных вод верхнего гидрогеологического этажа, сформировав сезонноталые, надмерзлотные, межмерзлотные, подмерзлотные воды, сквозных и несквозных таликов. Подземные воды верхнего этажа имеют локальное питание за счет атмосферных осадков, конденсационных процессов, оттаивания подземных вод. Водовмещающие породы представлены валунно-галечниковыми отложениями, песками, песчаниками, глинами алевролитистыми от четвертичного до верхнемелового возраста.

Химический состав верхних ярусов сформировался под влиянием морских трансгрессий, криогенной метаморфизации и климатических условий на современном этапе. Техногенез пресных подземных вод арктических районов обусловлен широкомасштабным освоением углеводородного сырья [4, 5].

Результаты и обсуждение

Геохимическая характеристика подземных вод

Были проанализированы данные по трем различным типам вод криолитозоны, которые выделены на основании литологического описания пород с указа-

нием их мерзлотного состояния по 40 параметрам (табл. 1). Необходимо отметить, что по мнению многих исследователей [6, 7], общий природный гидрохимический облик пресных подземных вод определяют следующие компоненты: общая минерализация, соотношение макрокомпонентов, окисляемость, жесткость, кремний, железо, марганец, алюминий.

Первый тип — надмерзлотные воды сквозных и несвязных таликов, мощность водоносной толщи составляет от 12 до 40, кровля криогенной толщи на глубинах от 18 до 128 м. Воды этого типа характеризуются разнообразным химическим составом: преобладают гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, встречаются гидрокарбонатно-хлоридные магниевые-кальциевые, гидрокарбонатно-хлоридные натриево-магниевые-кальциевые, хлоридно-сульфатные магниевые-кальциевые.

Надмерзлотные воды ультрапресные и пресные с минерализацией 24-675 (средняя 240) мг/дм³, для них характерно существенное превышение (по ПДК) средней концентрации (мг/дм³): марганца (0,35), железа (2,4), кремния (18,1), в меньшей степени алюминия (0,22) и аммиака (2,3), окисляемости (5,5). Отмечено превышение в отдельных пробах ПДК для свинца, хрома, мышьяка, ртути, селена, фтора, нефтепродуктов, бензапирена (табл. 1) и максимально высокое значение кремния в надмерзлотных водах, по сравнению с другими типами вод.

Второй тип – межмерзлотные воды, мощность первого от поверхности слоя в мерзлом состоянии составляет 6 – 70 м, далее следуют талые породы водоносной толщи мощностью от 10 до 70 м. Состав вод весьма разнообразен: для большинства проб отмечен гидрокарбонатный натриево-кальциевый, определен также гидрокарбонатно-сульфатный натриевый, гидрокарбонатный магниевый-кальциевый, хлоридно-гидрокарбонатный натриевый составы.

Таблица 1

Химический состав пресных подземных вод криолитозоны зоны сочленения Западно-Сибирского и Енисей-Хатангского бассейнов

	Ед. изм.	Надмерзлотные воды (52 пробы)	Межмерзлотные воды (37 проб)	Подмерзлотные контактирующие воды (61 проба)	ПДК для питьевых вод
1	2	3	4	5	6
рН		6,3-8,2 7,3 (52)	6,5-8,0 7,2 (34)	5,8-9,4 7,4 (45)	6,5-8,5
П.ок.		2,4-14,9 5,5 (47)	2,6-9,5 5,9 (17)	2,6-27,0 7,7 (20)	5
М	мг/дм ³	24-675 240 (42)	77-712 339 (31)	37- 2867 586 (61)	1000
HCO ₃ ⁻		12-268 155 (37)	12-268 215 (19)	12-268 184 (61)	
SO ₄ ²⁻		0-427 23 (50)	2-57 10 (32)	0-36 8 (58)	500

	Ед. изм.	Надмерзлотные воды (52 пробы)	Межмерзлотные воды (37 проб)	Подмерзлотные контактирующие воды (61 проба)	ПДК для питьевых вод
Cl ⁻		2-318 21 (52)	1-240 25 (19)	1-1250 67 (58)	350
Ca ²⁺		1-59 25 (44)	2-19 23 (22)	2-19 33 (57)	
Mg ²⁺		1-55 15 (43)	0,2-20 10 (21)	0,8-168 22 (53)	50
Na ⁺ + K ⁺		2-180 26 (30)	5-327 51 (20)	0-692 62 (52)	200
Общ. ж.	мг-экв/ дм ³	0,9-6,9 3,0 (50)	1,1-4,8 3,1 (26)	0,8-31 4,6 (59)	7
NH ₄		0,4-8,0 2,3 (23)	1,2-11,0 6,6 (10)	0,05-9,9 2,0 (13)	1,5
NO ₂		0,002-0,025 0,04 (14)	0,003-0,058 0,11 (13)	0,02-2,9 0,9 (5)	3
NO ₃		0,1-5,7 2,3 (12)	0,4-12,7 4,1 (11)	0,1-5,8 1,2 (19)	45
PO ₄		0,1-2,7 1,7 (10)	0,1- 3,7 1,5 (11)	н/д	3,5
Fe		0,2-11,2 2,4 (43)	0,9-11,2 3,1 (24)	0,04-22,2 5,0 (32)	0,3
Al		0,02-0,57 0,22 (13)	0,02- 0,58 0,24 (15)	0,02-0,59 0,34 (23)	0,2
Be		<0,0001 (5)	<0,0001 (3)	<0,0001 (8)	0,0002
Cd		<0,0001 (5)	<0,0001 (4)	<0,0001(6)	0,001
Mn		0,01-1,8 0,35 (38)	0,03-1,9 0,3 (24)	0,01-2,1 0,5 (33)	0,1
Cu		0,01-0,99 0,11 (26)	0,0001-0,42 0,15 (16)	0,0005-0,68 0,06 (19)	1
F		0,14-3,46 1,5 (10)	<0,15 (4)	0-1,37 0,3 (7)	1,5
Mo		<0,001 (6)	<0,001 (3)	<0,001 (7)	0,25
Ni		0,001-0,02 0,004 (10)	<0,005 (3)	<0,005 (7)	0,02
Pb		0,001-0,02 0,01 (12)	<0,002 (3)	<0,002 (12)	0,01
Sr		0,01-0,05 0,15 (5)	0,01-0,05 0,15 (5)	0,03-5,5 1,1 (12)	7
Zn		0,001-1,5 0,1 (20)	<0,005 (4)	0,005-0,12 0,027 (17)	1
Cr		0,001- 2,1	0,04-2,1 (2)	0,005-0,02	0,05

	Ед. изм.	Надмерзлотные воды (52 пробы)	Межмерзлотные воды (37 проб)	Подмерзлотные контактирующие воды (61 проба)	ПДК для питьевых вод
		0,3 (9)		0,015 (10)	
Co		0,001-0,02 0,008 (9)	0,005-0,0013 0,001 (4)	0,005 (7)	0,1
Ba		<0,05 (3)	0,06-0,11 0,14 (4)	0,01-0,1 0,05 (4)	0,7
B		<0,05 (3)	0,01-0,29 0,15 (4)	0,05-0,17 0,26 (11)	0,5
As		0,01-0,015 0,01 (5)	<0,005 (5)	0,001-0,005 0,004 (10)	0,01
Hg		0,0005-0,1 0,0009 (4)	<0,0005 (4)	<0,00005 (7)	5E-04
Se		0,0001-0,237 0,1 (4)	0,0001-0,01 0,005 (4)	0,0002-0,003 0,002 (9)	0,01
Si		8,0-33,4 18,1 (17)	1,7-9,9 7,2 (5)	2,7-22,2 11 (14)	10
Нефтепродукты		0,05-1,7 0,3 (13)	0,05-0,53 0,25 (13)	0,005-0,44 0,11 (14)	0,1
Бензапирен		0,0005- 0,007 (2)	0,00061 (1)	н/д	0,0005
АПАВ		0,002-0,36 0,09 (10)	0,005-0,16 0,05 (6)	0,025 (9)	0,5
Фенольный индекс		0-0,18 0,001 (16)	0,0012 (1)	0,005-0,001 0,006 (66)	0,25
Общ. бета-активность	Бк/ дм ³	0,1 (5)	0,1-0,35 (3)	0,02-0,89 0,3 (13)	1
Общ. альфа-активность		0,02(5)	0,02-0,05 (3)	0,003-0,86 0,14 (13)	0,2

Примечание: П.ок. – перманганатная окисляемость; Об.ж. – общая жесткость; М – общая минерализация; АПАВ – поверхностно активные вещества; н/д – нет данных; жирным шрифтом выделены значения с превышением ПДК.

Межмерзлотные воды ультрапресные и пресные с минерализацией 77-712 мг/дм³ (средняя 339), для них значительно превышена (по ПДК) средняя концентрация (мг/дм³): марганца (0,3), железа (3,1), аммиака (6,6), нефтепродуктов (0,25), в меньшей степени алюминия (0,24), окисляемости (5,9). Отмечено превышение в отдельных пробах ПДК хрома, брома, в одной пробе превышение концентрации бензапирена, который относится к первому, самому высокому классу опасности табл. 1.

Третий тип – подмерзлотные воды контактирующие, то есть водоносный горизонт залегает непосредственно под подошвой криогенной толщи, мощность которой меняется от 18 до 90 м, вскрытая мощность водоносного горизонта от 15 до 60 м. В связи с небольшой глубиной пройденных скважин (не более 130 м) остается открытым вопрос наличия мерзлых пород на больших глубинах. Преобладают гидрокарбонатно-хлоридные натриево-кальциево-магниевые по составу воды, встречаются гидрокарбонатные натриевые, гидрокарбонатные кальциево-магниевые, хлоридно-гидрокарбонатные натриевые, хлоридно-сульфатные кальциево-магниевые.

Минерализация третьего типа вод варьируется от ультрапресных до солоноватых, при средней минерализации 586 мг/дм^3 , для них также существенно превышены ПДК по окисляемости, среднему содержанию железа, марганца, алюминия, мышьяка, нефтепродуктов.

Необходимо отметить, что для всех трех типов превышение других компонентов, регламентируемых нормативными документами, не отмечено, общая альфа и бета-активность в пределах нормы табл. 1.

Заключение

Анализ обобщенных данных о составе основных типов пресных подземных вод криолитозоны района исследования позволил отследить тенденции изменения химического состава в соответствии с положением по отношению к мерзлым толщам. Для всех типов воды характерен пестрый химический состав, который объясняется разнообразием состава водовмещающих пород, (существенное превышение концентрации железа в десятки раз), марганца, алюминия, кремния. Отмечена повышенная перманганатная окисляемость, которая объясняется процессами криогенной метаморфизации подземных вод [6,7] вследствие многократного промерзания и оттаивания верхнего гидрогеологического комплекса. Также для всех типов вод отмечаются превышающие ПДК содержания аммония, нефтепродуктов вследствие техногенного загрязнения.

Необходимо отметить, что надмерзлотные воды закономерно имеют наименьшую величину минерализации (наиболее распространены ультрапресные воды) и максимальный набор загрязняющих веществ, а именно: свинец, хром, фтор, ртуть, мышьяк, селен, бензапирен (относятся к первому и второму классу опасности). Межмерзлотные и подмерзлотные контактные воды характеризуются несколько более высокими средними значениями окисляемости, минерализации, жесткости, железа, алюминия, марганца по сравнению с надмерзлотными водами, но количество загрязняющих элементов уменьшается, что свидетельствует о большей закрытости этих горизонтов от поверхностного загрязнения. Результаты, полученные в результате проведенной работы, свидетельствуют о том, что пресные подземные воды практически повсеместно не соответствуют нормам питьевого водоснабжения населения.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке проектов Министерства науки и высшего образования РФ FWZZ-2022-0014.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Единый фонд геологической информации о недрах [Электронный ресурс.]. URL: <https://efgi.ru>
2. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (с изменениями на 26 июня 2021 года). – М., 2021. – 65 с.
3. Трофимов В.Т., Васильчук Ю.К., Баду Ю.Б., Фирсов Н.Г. Карта криогенетических типов и льдистости верхней 10-метровой части многолетнемерзлых толщ Западно-Сибирской плиты. 1:1 000 000. –М.: ГУГК, 1985. – На 9 листах.
4. Трофимов В.Т., Васильчук Ю.К., Баулин В.В., Гречищев С.Е., Дубиков Г.И., Баду Ю.Б., Фирсов Н.Г. и др. Геокриология СССР, Западная Сибирь. –М.: Недра, 1989. – 454 с.
5. Сухорукова А.Ф. Современное состояние криолитозоны Енисей-Хатангского регионального прогиба // Ч. 2: Сб. матер. VI междунар. научного конгресса СГГА, Новосибирск, – 2010.
6. Фотиев С.М. Криогенный метаморфиз пород и подземных вод. – ГЕО, 2009. – 277 с.
7. Бешенцев В.А., Семенова Т.В. Криогенез пресных подземных вод Западно-Сибирской равнины (в пределах Ямало-ненецкого нефтедобывающего региона) // Геология, поиски и разведка месторождений нефти и газа. – 2014. – № 1. – С. 6-11.

© А. Ф. Сухорукова, Н. И. Яндола, 2023