УДК 556.314:544.54 http://doi.org/10.21440/2307-2091-2024-2-82-92

Гидроминеральные ресурсы Тобольского района Тюменской области

Андрей Сергеевич АЛЕКСАНДРОВ*
Татьяна Владимировна СЕМЕНОВА
Владимир Анатольевич БЕШЕНЦЕВ
Сима Васильевна ВОРОБЬЕВА

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Аннотация

Актуальность работы. Гидроминеральные ресурсы, несомненно, являются одним из важнейших элементов природы, обеспечивающим жизнедеятельность населения и поддерживающим экосистему. От качества подземных вод зависит и состояние окружающей среды. Гидроминеральные ресурсы Тобольского района Тюменской области развиты в трех основных гидрогеологических комплексах мезозойского бассейна, по условиям формирования подземные воды в этом бассейне седиментационные, их осадочные толщи накапливались в морских условиях.

Результаты исследования. Рассмотрено значение Тюменского месторождения минеральных вод, наиболее перспективного и самое крупного в России по запасам промышленных йодных вод, имеющего большое значение для промышленного освоения. Особое внимание уделено температуре, так как она является одним из важнейших факторов, способствующих высвобождению йода и накоплению его в подземных водах. Скопления высококонцентрированных йодных вод связаны с крупными гидрогеологическими структурами, отличающимися значительной мощностью осадочных образований. Наиболее значительные концентрации йода связаны с подземными водами, в составе которых доминирует хлор, а далее в йодных водах, как правило, следует гидрокарбонат-ион. Постоянными компонентами йодсодержащих подземных вод являются бор, бром, фтор, марганец, алюминий, кремний.

В работе рассматриваются различные оценки анализа запасов гидроминеральных ресурсов юга Тюменской области, рассмотрены возможности промышленного использования этих вод. Отмечено, что подземные воды представляют собой сложную многокомпонентную систему, включающую целый комплекс неорганических и органических соединений. Концентрации и возможность накопления в подземных водах макрокомпонентов определяются геолого-гидрогеологическими условиями данного района и во многом зависят от минерального состава водовмещающих пород.

Выводы. В статье проанализированы экологические последствия попадания вод свободно фонтанирующих скважин в естественные водотоки и на их водосборные площади.

***Ключевые слова*:** ресурсы, геотермальные воды, рекреация, водотоки, самоизливающиеся скважины, свободное фонтанирование, экологические последствия.

Введение

Начиная с 1951 г. Тюменская область стала площадкой для масштабных исследований по поиску и разведке нефтегазовых месторождений [1]. Во всех районах юга области (за исключением Уватского района) месторождений углеводородного сырья промышленного значения найдено не было, а большинство разведочных скважин было законсервировано [2].

Подземные воды исследуемой территории являются ценным полезным ископаемым и могут быть использованы для различных целей (хозяйственно-питьевое водоснабжение, химическая промышленность, бальнеология, для теплоэнергетических целей и для поддержания пластового давления нефтяных пластов).

По произведенной разведке и предварительной оценке рассматриваемого района выявлено 103 месторождения подземных вод с общими балансовыми запасами всех категорий 743,58 тыс. м^3/сут [3, 4], ресурсы подземных вод составляют около 3 млн м^3/сут, или 1095,000 млн м^3/год [2].

Одним из наиболее перспективных является Тюменское месторождение, расположенное в Тобольском районе Тюменской области, самое крупное в России по запасам промышленных йодных вод (46,8 % общероссийских запасов), которое включает 4 разведанных участка: Тобольский, Черкашинский, Сергеевский и Инжуринский [5].

Для промышленного освоения наиболее перспективным является Черкашинский участок. На данном участке были проведены буровые работы на 19 разведочных гидрогеологических скважинах и комплекс геологических, геофизических и гидрогеологических наблюдений и исследований [6].

✉asaleksandrov1991@gmail.com

Балансовые запасы подземных промышленных вод утверждены в ГКЗ СССР (протокол № 4850 от 30.03.1966 г.), на Черкашинском участке Тюменского месторождения подземных промышленных йодных вод в количестве и по категориям А + В + C_1 они составили 92 тыс. м^3/сут, что могло обеспечивать добычу йода в количестве до 873 т/год.

Запасы йодных вод Тюменского месторождения, учтенные в нераспределенном фонде недр, на 01.01.2016 г. составляли по категориям А + В + C_1 174,8 тыс. м^3/сут, категория C_2 – 9,5 тыс. м^3/сут, а это уже 1746 т йода в год. При этом не учитывались ценные микроэлементы – бром, бор, редкие металлы.

Региональная оценка ресурсов и запасов промышленных вод позволила выявить и оценить смежные с Черкашинским участки Тюменского месторождения. Их запасы позволяют при необходимости ориентироваться на увеличение производства йода в Тобольском районе до 5 тыс. т/год. В конце 1990-х гг. неоднократно предпринимались попытки начать разработку Черкашинского участка недр с целью извлечения минеральных компонентов (йод, бром, бор и пр.), но ввиду невыполнения условий лицензионного соглашения (работы так и не были начаты) лицензии аннулировались. В 2007 г. Управление по недропользованию по Тюменской области вновь объявляло аукцион на право пользования недрами с целью добычи промышленных вод на Черкашинском участке недр. Аукцион был признан несостоявшимся в связи с отсутствием заявок.

Вместо того чтобы извлекать ценный для медицины, промышленности и сельского хозяйства ресурс, скважины законсервировали, через десятки лет их устья разрушились, геотермальные воды начали изливаться на поверхность земли и поверхностные водные объекты [7].

С 2008 г. было проведено рекогносцировочное обследование технического состояния 70 законсервированных геологоразведочных скважин, в том числе 27 скважин в Тобольской группе. Всего проявление пластовых флюидов наблюдали в 21 случае, в тобольской группе – 13, тобольские скважины наиболее «старые», пробурены до 1970 г. Они относятся к I классу опасности как изливающие высокоминерализованные воды и нуждающиеся в незамедлительном проведении ремонтно-изоляционных и ликвидационных работ [8]. Среди них наиболее изучена скважина № 36-РГ Черкашинского участка.

Целью проводимых исследований является изучение особенностей гидрогеологических условий южных райо-

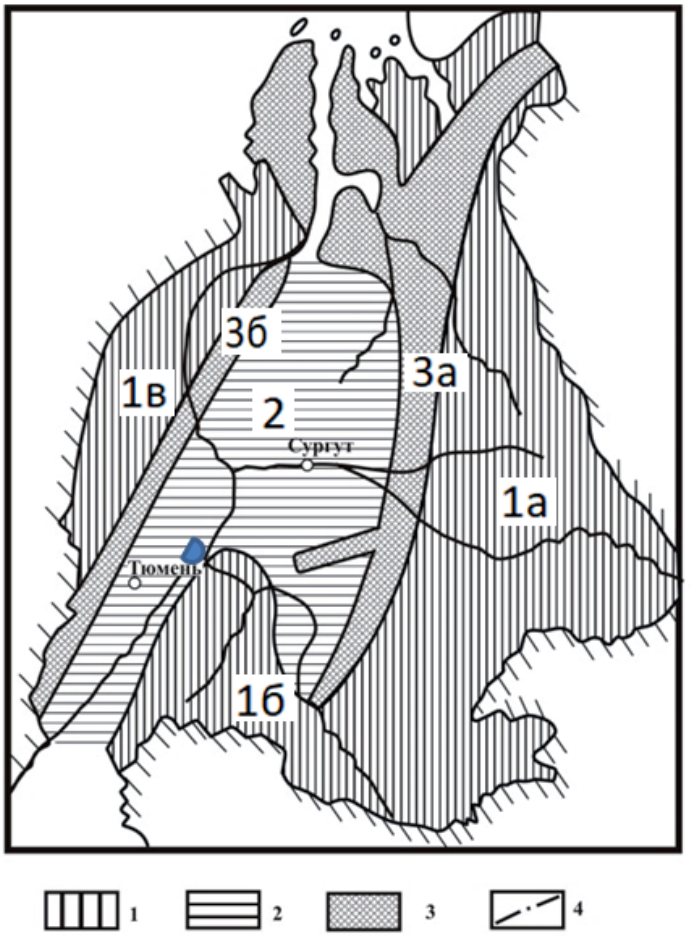

Рисунок 1. Водонапорные системы Западно-Сибирского мегабассейна: *1–3* – водонапорные системы: *1* – инфильтрационная (*1а* – восточная, *1б* – юго-западная, *1в* – приуральская зоны); *2* – элизионная литостатическая (западный мегаблок); *3* – элизионная геодинамическая (*3а* – Омско-Гыданская структурная зона; *3б* – Восточно-Уральский краевой шов); *4* – граница водонапорных систем; – территория исследования

Figure 1. Water-pressure systems of the West Siberian megabasin: *1–3* – water-pressure systems: *1* – infiltration (*1а* – eastern, *1б* – south-western, *1в* – Ural zones); *2* – elision lithostatic (western megablock); *3* – elision geodynamic (*3а* – Omsk-Gydan structural zone; *3б* – East Ural marginal suture); *4* – boundary of water-pressure systems; – study area

Таблица 1. Изменение минерализации и генетического типа пластовых вод по разрезу Тобольского района
Table 1. Changes in mineralization and genetic type of formation waters along the section of the Tobolsk district

Площадь	Возраст (свита)					Типы воды по разрезу (по В. А. Сулину)
	K_1ap-al K_2sm	K_1h-b K_1v	Ач	J	PZ	
Тобольская	17–17,5	12,6–18,0	9–15,6	10,4–22,8	9,33–14,9	Хлор-кальциевый
Абалакская	–	16,0–18,9	–	23,7	–	Хлор-кальциевый
Инжуринская	–	17,7–19,9	–	23,9	–	Гидрокарбонатно-натриевый
Черкашинская	–	12,2–18,8	–	14	–	Хлор-кальциевый

нов Западно-Сибирского мегабассейна и оценка использования гидроминеральных ресурсов юга Тюменской области.

Методы. Основой данной работы послужило изучение химического состава Тюменского месторождения, исследуемый объект расположен в Тобольском районе Тюменской области.

Пробы воды для химического анализа отбирали на станциях, местоположение которых регистрировали посредством GPS/ГЛОНАСС – спутниковой системы навигации, используя проекты компании Google – Google Earth и OpenStreetMap. Исследования качества воды для химического анализа производили стандартными методами в соответствии с ГОСТ Р 51-92-2000, ГОСТ 17.1.5.01-80, РД 52.24.609-2013.

Химический анализ воды включал показатели: качественные и количественные показатели, с помощью прибора «КАПЕЛЬ®-104Т» – высокоэффективного капиллярного электрофореза с УФ фотометрическим детектором определяли йодид- и бромид-ионы. Химический анализ воды выполняли согласно аттестованным методикам и утверждённым документам.

Фактический материал получен при обработке геологических, гидрогеологических и геофизических материалов по разведочным скважинам, пробуренным различными организациями в рассматриваемом районе; в работе использованы структурные карты, анализы пластовых вод и водорастворенных газов, а также различные фондовые и опубликованные материалы.

Природные водонапорные системы района. Для строения ЗСМБ характерно сочленение трех разновозрастных мегаблоков земной коры, которые образовались в конце палеозоя в результате сближения Русской и Сибирской платформ. В это время произошло закрытие рифейско-раннепалеозойского Сибирского океана, в связи с этим фундаментом для Западно-Сибирской геосинеклизы послужило сочленение трех разновозрастных мегаблоков земной коры с резко отличающимися геодинамическими режимами: западного, представляющего собой активную окраину континента, восточного и юго-западного с пассивным режимом [9]. Мегаблоки сочленяются по системе глубинных разломов.

К юго-западному и восточному мегаблокам приурочены инфильтрационные водонапорные системы, являющиеся отражением геодинамического режима пассивной окраины континента.

В пределах западного мегаблока выделяется элизионная литостатическая водонапорная система, которая развивалась в процессе устойчивого прогибания и накопления в мезозое глинистых толщ большой мощности, обогащенных органическим веществом. Элизионная геодинамическая водонапорная система сформировалась на участках сочленения тектонических мегаблоков (Омско-Гыданская структурная зона, Восточно-Уральский краевой шов, Аганский и Худуттейский рифты) и разделяет эксфильтрационные и инфильтрационные водонапорные системы [10].

Природные водонапорные системы Западно-Сибирского мегабассейна приведены на рис. 1.

Анализ фактического материала, касающегося общей минерализации подземных вод, их ионно-солевого состава, пластовых давлений на территории рассматриваемого района показал, что данные воды относятся к элизионной литостатической водонапорной системе. Господствующий элизионный водообмен обусловил формирование гидродинамической системы с повышенным напором подземных вод, достигающим 1,3 условного гидростатического. Для данной водонапорной системы характерна инверсионная вертикальная гидрогеохимическая зональность, уменьшение общей минерализации от 17 г/дм^3 в апт-сеномане до 9,33 г/дм^3 в палеозойских отложениях [11].

Инверсионная гидрогеохимическая зональность наблюдается на Тобольской и Черкашинской разведочных площадях, где отмечается тенденция к уменьшению с глубиной минерализации от 17–17,5 г/дм^3 в апт-сеномане до 9,33–14,9 г/дм^3 в палеозойских отложениях, а также сопровождается ростом содержания гидрокарбонат-иона и уменьшением иона кальция (табл. 1).

На рис. 2 приведены данные по уменьшению минерализации с глубиной на Сергеевской, Черкашинской, Уватской и Тобольской площадях.

Как видно из рис. 2, на Сергеевской, Черкашинской, Уватской и Тобольской площадях происходит уменьшение минерализации с глубиной. Начальные пластовые давления в районе исследований достигают здесь 1,27 условного гидростатического давления (Северо-Демьянская площадь), что характерно для элизионной литостатической водонапорной системы.

Гидроминеральные ресурсы

Как уже отмечалось, подземные воды исследуемой территории являются ценным полезным ископаемым и могут быть использованы для различных целей (теплоэнергетических, в химической промышленности, бальнеологии, для хозяйственно-питьевого водоснабжения и для поддержания пластового давления нефтяных пластов).

Рассматриваемый район обладает значительными запасами геотермальных вод, которые могут быть использованы в геотермальных электростанциях, промышленности, сельском хозяйстве и бытовом секторе [12].

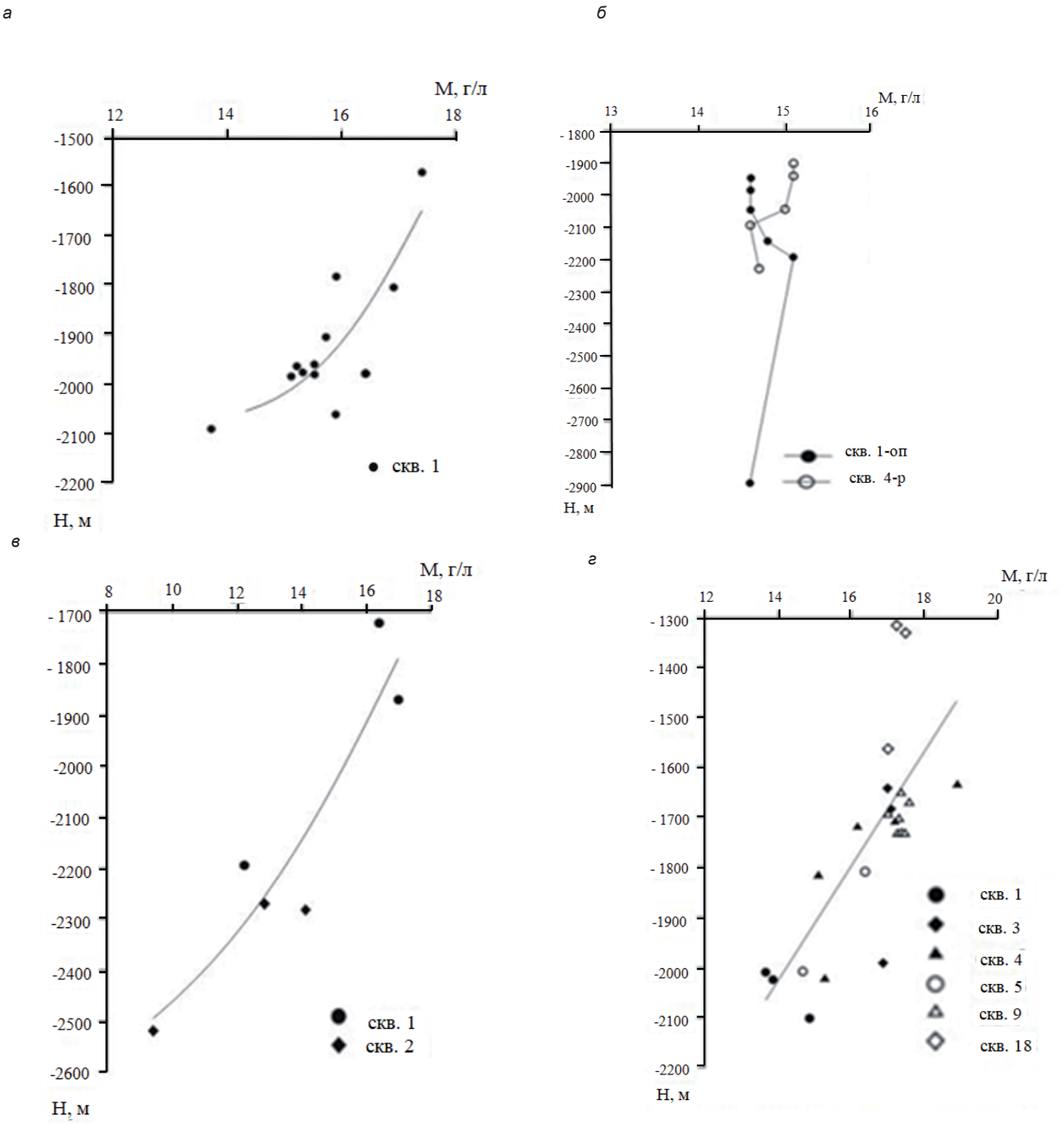

Рисунок 2. Изменение минерализации пластовых вод по разрезу площади:
а – Сергеевской; *б* – Уватской; *в* – Черкашинской; *г* – Тобольской
Figure 2. Changes in the salinity of formation waters along the section of the area:
а – Sergeevskaya; *б* – Uvatskaya; *в* – Cherkashinskaya; *г* – Tobolsk

Возможность использования термальных вод определяется рядом показателей: температурой, дебитом, напором, минерализацией, газонасыщенностью, коррозионной активностью, глубиной залегания, коллекторскими свойствами водоносных пластов и т. д.

Наиболее благоприятными для эксплуатации являются подземные воды, удовлетворяющие следующим показателям: водопроводимость коллекторов (более 30 м^2/сут), температура воды на изливе (выше 40 °С), минерализация подземных вод не более 10 г/дм^3, отсутствие солеотложений в трубах при эксплуатации, низкая коррозионная активность воды [11].

Наибольший практический интерес представляют термальные высокодебитные и высоконапорные воды апт-альб-сеноманского и неокомского гидрогеологических комплексов мезозойского гидрогеологического бассейна [10, 13].

Рассматриваемый район весьма перспективен для извлечения йодо-бромного сырья с установленными эксплуатационными запасами промышленных вод. В юрском комплексе содержание йода составляет 1–32 мг/дм^3, неокомском 19–33 мг/дм^3, в апт-сеноманском 16–22 мг/дм^3. Наиболее высокое содержание йода приурочено к морским

Таблица 2. Химический состав пластовых вод поисково-разведочных скважин (по данным В. М. Матусевича, Р. Г. Прокопьевой)
Table 2. Chemical composition of formation waters of prospecting and exploration wells (according to V. M. Matusevich, R. G. Prokopyeva)

Месторождение, площадь	Номер скважины	Интервал испытания, м	Химический состав воды				
			Бензол, мкг/дм³	Толуол, мкг/дм³	Кислоты, мг/дм³		Микроэлементы, мкг/дм³
					Общие	Летучие	
Инжуринская	1	1705–2025	40	–	384	–	Очень мало
	2	1789–2060	40	–	804	390	Hg – 15,6
	3	1677–1850	50	–	618	540	Hg – 15,6
Сергеевская	43	1968–1847	50	–	433	–	Очень мало
	44	1919–2044	50	–	1100	1440	Очень мало
	45	AC h-b	50	–	1100	200	Очень мало
	46	1571–1582	H	–	1200	166	Очень мало
	49	1860–2105	–	–	471	–	Hg – 17,3
	50	1897–2075	–	–	474	1230	Hg – 17,3
Туртасская	1	1480–1494	Очень много микрокомпонентов, мкг/дм³: Pb – 35; Cu – 24; Zn – 1152; Ni – 33; Co – 17; Cr – 129; V – 89; Ti – 2269; Mn – 750; Zr – 244; Ga – 17; Y – 61; Sc –17,4; In – 8,7; H_4SiO_4 = 153 мг/л; Al – 65 мг/л				
	1	1974–1982	Много микрокомпонентов, мкг/дм³: Pb – 114; Cu – 70; Zn – 191; Ni – 60; Co – 17; Cr – 34; V – 32; Ti – 1017; Mn – 604; Zr – 76; Mo – 2; Ga – 6,4; Y – 12; Sc – 7; Be – 2				
Тобольская	8РГ	1529–1747	–	–	367	600	
	5РГ	1723–1720	900	–	300	Н/опр.	Н/опр.

Примечание: Н/опр. – не определялось.

отложениям, характеризующимся максимальным метаморфизмом органического вещества [14]. На Черкашинском месторождении содержание йода составляет 26,1 мг/дм³ [15], концентрация брома в водах изменяется от 40 до 69 мг/дм³. Бор встречается в концентрациях, как правило, не превышающих 10–15 мг/дм³, однако на Тобольском и Черкашинском месторождениях подземных промышленных вод его содержание достигает 61,8–63,96 мг/дм³. Кондиционным считается для йодных вод содержание йода 18 мг/дм³, для йодо-бромных 10 мг/дм³ йода и 200 мг/дм³ брома, для бромных 250 мг/дм³ брома.

Объектом детальной разведки и подсчета эксплуатационных запасов промышленных подземных вод в рассматриваемом районе является наиболее водообильный, содержащий промышленные запасы йода готерив-барремский гидрогеологический комплекс, залегающий на данной территории на глубинах от 1550 до 1615 м, мощностью 220–270 м. Водовмещающие породы представлены песчаниками, чередующимися с алевролитами и аргиллитами [16].

По условиям формирования подземные воды мезозойского гидрогеологического бассейна седиментационные, их осадочные толщи накапливались в морских условиях.

Подземные воды рассматриваемого района имеют повышенные концентрации микроэлементов (табл. 2). Прежде всего это щелочноземельные элементы – рубидий и цезий, кондиционные содержания в водах для которых соответственно составляют 3,0 и 0,5 мкг/дм³. Повышенные содержания цезия выше кондиционных (0,57 мг/дм³) отмечены в юрском гидрогеологическом комплексе Тобольской площади (0,8 мг/дм³) и в неокомском гидрогеологическом комплексе Уватской площади.

Как видно из табл. 2, концентрации микрокомпонентов по многим показателям превышают кларковые концентрации Мирового океана. Как показывает мировой опыт, извлечение микроэлементов из морской воды наиболее целесообразно, так как получаются монометальные концентрации без примесей. Извлечение же микроэлементов из подземных вод рассматриваемого района может стать экономически эффективным.

Многие из отмеченных микрокомпонентов (Br, I, B, Mg, Co и др.) оказывают бальнеологическое воздействие на организм человека и являются минеральными лечебными водами. По концентрации и сочетанию бальнеологически активных компонентов подземные воды рассматриваемого района относятся к хлоридной, хлоридно-сульфатной и хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатной группам. По своему общему и микрокомпонентному составу они являются аналогами известных лечебных вод, используемых на курортах.

В пределах рассматриваемого района минеральные воды хорошо себя зарекомендовали как купальные воды при лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата, желудочно-кишечного тракта и пр. Ресурсы лечебных минеральных вод в рассматриваемом районе практически неограниченны. Повышенная температура решает энергетическую проблему подогрева ванн.

Актуальное решение проблемы предлагает О. Л. Павленко, которая считает, что очень выгодным с экономической точки зрения было бы комплексное использование подземных вод: например, добыча минеральной воды для лечебных целей и использование отработанных вод для водоснабжения теплонасосных установок при обогреве лечебного корпуса; другой вариант – закачка воды

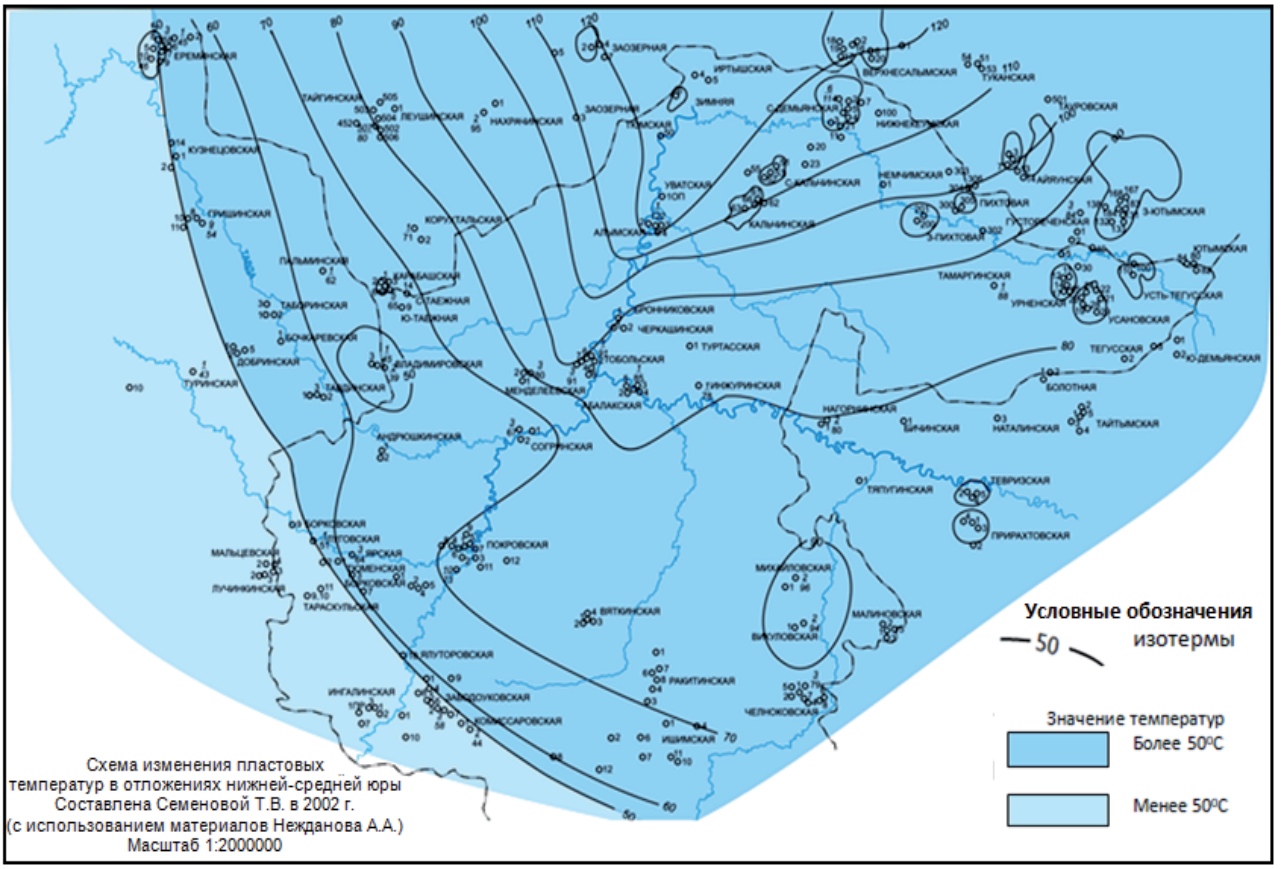

Рисунок 3. Схема изменения пластовых температур в отложениях нижней–средней юры
(составлена Т. В. Семеновой с использованием материалов А. А. Нежданова)
Figure 3. Scheme of changes in reservoir temperatures in Lower–Middle Jurassic deposits
(compiled by T. V. Semenova using materials by A. A. Nezhdanov)

в систему теплонасосов после извлечения из нее ценных компонентов.

Создание тройного цикла, когда добытая подземная вода сначала используется в качестве лечебной, затем из нее извлекаются микрокомпоненты, а после этого она подается в теплонасосную установку для обогрева зданий завода и лечебного корпуса [17].

Общее количество утвержденных запасов минеральных подземных вод, прошедших Государственную экспертизу на 1 января 2022 г., по Тюменской области (юг) составляют 13 213 тыс. м^3/сут (в том числе по кат. А – 2508 тыс. м^3/сут, кат. В – 10 213 тыс. м^3/сут, кат. C_1 – 492 тыс. м^3/сут и забалансовых – 500 тыс. м^3/сут) [18].

Анализ изменения температур подземных вод южной части Тюменской области показывает, что в первую очередь они контролируются особенностями тектонического строения района. Основными факторами, определяющими региональные закономерности изменения температур в отложениях осадочного чехла, являются тепловой поток из фундамента и мощность перекрывающих отложений. На распределение температур в разрезе осадочного чехла определенное влияние оказывает литологический состав пород, а также в краевых частях бассейна охлаждающее действие инфильтрационных вод.

В целом по территории рассматриваемого района характер распределения температур по юрскому, неокомскому и апт-альб-сеноманскому комплексам имеет схожие закономерности, а именно: для апт-альб-сеноманского комплекса на окраинах рассматриваемого района изолиния температуры имеет значение от 40 °С (Туринская, Лучинкинская, Заводоуковская, Комиссаровская площади), далее на север происходит равномерное увеличение температур. Наибольшая температура (+88 °С) зафиксирована на Нижнекеумской площади. Для неокомского и верхнеюрского комплекса южная часть района оконтуривается изолиниями 50° и 60 °С, далее на север и северо-восток происходит увеличение температуры до 90 °С (рис. 3).

Как видно из рис. 3, температурные минимумы отмечаются на Добринской, Мальцевской, Владимирской, Лучинкинской, Борковской площадях (+30…+46 °С), максимумы на Михайловской и Челноковской (+84…+85 °С). Максимальная пластовая температура (+90 °С) отмечается в скважине 100 Нижнекеумской площади.

Для нижне-среднеюрских отложений изотерма 50 °С протягивается в направлении с юго-востока на северо-запад. Наиболее низкие пластовые температуры зафиксированы на Владимирской, Луговской, Туринской, Заводоуковской площадях (+39…+58 °С). Максимальные пластовые температуры установлены на Тобольской (+91 °С), Бронноковской (+90 °С), Нахрачинской (+95 °С), Северо-Демьянской (114 °С), Уватской (+122 °С) площадях. Локальный температурный максимум зафиксирован на Челноковской (+95 °С), Викуловской (+94 °С) и Михайловской (+96 °С) площадях.

Таблица 3. Сравнительная характеристика вод Черкашинской скважины № 36-РГ и скважины рыбоводного хозяйства «Пышма»
Table 3. Comparative characteristics of the waters of the Cherkashinskaya well No. 36-RG and the well of the Pyshma fish farm

Показатели	Скважина № 36-РГ, Черкашинская площадь	Скважины рыбоводного хозяйства «Пышма»	$ПДК_р$	$ПДК_{с/г}$
pH	7,73	7,5–8,4	6,5–8,5	6,5–8,5
Минерализация, г/дм³	19,28	3,81–6,44	1,0	1,0
HCO_3, мг/дм³	494,4	311–537	–	–
SO_4, мг/дм³	1368,9	29–52	100	500
Cl, мг/дм³	9926,0	2550–3550	300	350
Na + K, мг/дм³	7204,8	2314–2970	120+50	200
Ca, мг/дм³	232,5	32–80	180	–
Mg, мг/дм³	58,3	13–46	40	50
Общая жесткость, мг-экв/дм³	16,4	2,9–5,7	–	–
N/NH_4, мг/дм³	40,74	1,1–6,5	0,4	1,5
N/NO_2	0,011	0,0–0,1	0,02	0,02
N/NO_3	0,10	0,0–0,22	9,1	45,0
PO_4, мг/дм³	< 0,05	0,06–0,16	0,05–0,2	–
$Fe_{общ}$, мг/дм³	0,99	0,14–2,04	0,1	–
ПО (перманганатная окисляемость)	1,60	2,0–3,0	10,0	–
$БПК_5$, мг, O_2/дм³	< 0,5	0,62	2,1	3,0
I^-, мкг/дм³	21,0	1,3–3,9	0,4	–
Br, мкг/дм³	50,0	6,0–21,4	1,35	–
B, мкг/дм³	11,9	9,4–5,7	–	–
Sr, мкг/дм³	33,4*	2,9–12,4	–	–
Ba, мкг/дм³	26,9*	4,3–10,8	*Данные И. Г. Сванидзе, Т. А. Кремлевой, А. В. Соромотина [26]	
F, мкг/дм³	3,4*	0,6–1,24		
Al, мкг/дм³	–	25–120		
Si, мкг/дм³	14,7*	12,5–15,1		

В целом для всего разреза аномально повышенными температурами выделяется участок от Челноковской, Малиновской, Викуловской площадей до Абалакской, Тобольской и Уватской площадей, температуры на которых на 8–10 °С выше, чем на соседних. Температурный градиент на Малиновской и Тобольской площадях составляет 4,5 °С/100 м, на Викуловской и Челноковской (в юрских отложениях) 4,8 °С/100 м при среднем их значении по ЗСМБ 2,8 °С/100 м [15, 19].

Нерациональное использование гидроминеральных ресурсов. Гидроминеральные ресурсы юга Тюменской области имеют большой потенциал для экономического развития. Однако их нерациональное использование может привести к серьезным экологическим проблемам. Для использования гидроминеральных ресурсов требуется комплексный подход и контроль. Использование научных исследований и инновационных технологий позволит максимально эффективно использовать эти ресурсы. Кроме того, следует разработать экологические стандарты, чтобы минимизировать воздействие использования геотермальных вод на окружающую среду.

Как показывает опыт других регионов, правильное использование минеральных (геотермальных) вод может стать существенным фактором в развитии экономики. Минеральные (геотермальные) воды могут способствовать развитию туризма, созданию новых рабочих мест и привлекать инвестиции [20].

Однако нерациональное использование гидроминеральных ресурсов может иметь серьезные последствия. Так, при неправильной эксплуатации минеральных (геотермальных) вод может произойти их истощение или загрязнение. Нарушение баланса между добычей и накоплением этих вод может привести к их преждевременному истощению. Кроме того, неправильное обращение с отходами, выбрасываемыми при использовании геотермальных вод, может загрязнять природные водоносные слои и угрожать здоровью людей и животных.

Данную проблему рассматривает Ж. К. Ру в своей работе «Эволюция качества подземных вод во Франции: перспективы долгосрочного использования для потребления человеком». Он говорит о том, что не только свободные водоносные горизонты, несмотря на естественные физические и геохимические барьеры, недостаточно защищены от антропогенного поверхностного загрязнения, но и когда загрязняющие вещества достигают их, последствия никогда не бывают незначительными, будь то с точки зрения санитарии, экономики или природного наследия [21].

В табл. 3 приведены данные химического состава минеральных (геотермальных) вод скважины № 36-РГ Черкашинской площади (проба отобрана в сентябре 2017 г.) и для сравнения – скважины рыбоводного хозяйства «Пышма» (отобраны в период 1976–1981 гг.). Результаты химических анализов скважины № 36-РГ Черкашинской площади и скважины рыбоводного хозяйства «Пышма» приведены в табл. 3.

Вода из скважины № 36-РГ Черкашинской площади по химическому составу хлоридная натриевая III типа (по Алекину) [22], по величине минерализации соленая с

минерализацией 19,28 г/дм^3, тип вод хлоркальциевый (по Сулину), по величине общей жесткости – очень жесткие 16,4 мг-экв/дм^3, водородному показателю – нейтральные (pH = 7,73).

Для воды характерно высокое содержание микроэлементов (в среднем) мкг/дм^3: I – 21,0, Br – 50,0, F – 3,4, B – 11,9, Sr – 33,4, Ba – 26,9.

Воды скважин рыбоводного хозяйства «Пышма» по химическому составу хлоридные натриевые III типа (по Алекину), по величине минерализации солоноватые с минерализацией 3,81–6,44 г/дм^3, по величине общей жесткости – от мягких 2,9 мг-экв/дм^3 до умеренно жестких 5,7 мг-экв/дм^3, по водородному показателю – от нейтральных 7,5 до слабощелочных 8,4. В подземных водах рыбоводного хозяйства «Пышма» также присутствуют микроэлементы, но в более низких концентрациях.

За полувековой период накоплен большой опыт использования минеральных (геотермальных) вод для рыборазведения в Омске, Тюмени, Краснодарском крае [23] и небольшой пока еще опыт по выращиванию естественных кормов для подращивания молоди рыб [24, 25].

Стоки рыбоводных хозяйств «Пышма-96» и Тюменского рыбопитомника (ТРП) сбрасываются в реки Пышма и Балда (притоки р. Туры), стоки здравниц и баз отдыха – в озера и реки [27, 28], воды фонтанирующих скважин в Тобольском районе засоляют и загрязняют малые водотоки и водосборную площадь важнейших рыбохозяйственных рек – Иртыша и Тобола [29, 30], активизируют солончаковый процесс не только почв, донных грунтов, но и снежного покрова, угнетают растительность и сообщество донных организмов [3].

Заключение

Мы рассмотрели один из природных ресурсов – гидроминеральные ресурсы, характеризующийся в последние годы резким увеличением объемов и расширением сфер использования, в частности геотермальных вод. Технологии геотермальной энергетики начинают использоваться в энергетическом балансе нашей страны. Следует отметить, что новейшие энергетические технологии, использующие геотермальные ресурсы, безвредны для окружающей среды и близки к традиционным с точки зрения эффективности. Чтобы обеспечить высокую экономическую эффективность термальных вод, необходимо максимально использовать тепловой потенциал, который может быть достигнут при комплексном использовании этих вод.

Таким образом, ресурсы геотермальной воды на юге Тюменской области обладают большим потенциалом для экономического развития. Однако их нерациональное использование может привести к серьезным экологическим проблемам. Правильное использование геотермальных вод требует комплексного подхода и контроля. Использование научных исследований и инновационных технологий позволит использовать эти ресурсы максимально эффективно. Кроме того, важно разработать экологические стандарты, чтобы минимизировать воздействие использования геотермальных вод на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мусабеков Р. Х. Гидрохимия подземных вод Западно-Сибирской равнины // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 4. С. 477–488.
2. Старков В. Д., Тюлькова Л. А. Геологическая история и минеральные богатства Тюменской земли. Тюмень: ИПП «Тюмень», 1996. 191 с.
3. Вешняков Н. В. Гидрогеохимические особенности формирования термальных вод на юге Тюменской области // Геология и геофизика суши и континентального шельфа: вызовы и перспективы. М.: Прикладная геохимия, 2019. С. 230–234.
4. Вакин Е. А., Сугробов В. М. Основные результаты комплексных исследований и их применение при изучении геотермальных вод // Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротем. М.: Наука, 1986. С. 189–201.
5. Анисимова И. С. Геохимические характеристики подземных вод юга Тюменской области // Геология, геофизика и охрана окружающей среды. 2018. Т. 547. С. 57–61.
6. Михайлова Л. В., Александров А. С., Рычкова А. С. Загрязнение и фитотоксичность донных грунтов водотоков в районе самоизливающейся скважины № 36-РГ в Тобольском районе Тюменской области // Вестник рыбохозяйственной науки. 2018. Т. 5. № 2 (18). С. 80–92. https://elibrary.ru/gxggvz
7. Яковлев Ю. П., Волков А. И. Геотермальный потенциал Тюменской области и его использование // Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. Тюмень: ТИУ. 2020.
8. Инвентаризация и определение состояния скважин на пресную и минеральную воду, пробуренных в южной части Тюменской области: отчет о результатах геологоразведочных работ. Тюмень, 2008. 221 с.
9. Зоненштайн Л. П. Тектоника внутриконтинентальных складчатых поясов // Материалы 27 Междунар. геол. конгресса. М., 1984. Т. 7. С. 48–59.
10. Матусевич В. М., Семенова Т. В. Гидрогеологические условия Тобольского нефтеносного района // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия: материалы науч. конф. Томск: СО РАН, 2000. С.142–145.
11. Гидрогеология СССР. Т. XVI. Западно-Сибирская равнина / под ред. В. А. Нуднера. М.: Недра, 1970. 368 с.
12. Шиганова О. В. Сеноманский водоносный комплекс – источник трансграничных подземных вод многоцелевого использования в Западной Сибири // Тез. докл. IV Междунар. конгр. «Вода: экология и технология»: ЭКВАТЭК-2000. М.: СИБИКО Интернэшнл, 2000. С. 285–286.
13. Матусевич В. М., Бакуев О. В. Гидрогеологические предпосылки прогноза нефтегазоносности глубоких горизонтов Западно-Сибирского мегабассейна // Нефть и газ Западной Сибири. Проблемы добычи и транспортировки: материалы Всесоюз. науч.-техн. конф. Тюмень: ТИИ, 1985. С. 84–85.
14. Бондаренко С. С., Лубенский Л. А., Куликов Г. В. Геолого-экономическая оценка месторождений подземных промышленных вод. М.: Недра, 1988. 203 с.
15. Матусевич В. М., Семенова Т. В. Тобольский нефтеносный район – перспективная база гидроминеральных и топливно-энергетических ресурсов Тюменской области // Материалы Всерос. совещ. по подземным водам Востока Сибири. Иркутск, 2000. С. 124–126.
16. Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швец В. М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
17. Павленко О. Л. Типизация подземных минеральных вод юга Тюменской области // Материалы Всерос. совещ. по подземным водам Востока России. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003. С. 44–46.

18. Минеральные воды. URL: http://tmntfgi72.ru/miniralinie_vodi
19. Матусевич В. М., Нежданов А. А., Бакуев О. В. Перспективы нефтегазоносности южной части Тюменской области // Научно-технические проблемы Западно-Сибирского нефтегазового комплекса: межвуз. сборник науч. трудов. Тюмень, 1995. Т. 1. С. 73–78.
20. Шарипов Д. С., Дейнекин В. П., Судниченко Ю. В. Исследование геотермальных ресурсов для энергоснабжения Южного Урала // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. 2017. Т. 15. № 10. С. 96–101.
21. Roux J.-C. The evolution of groundwater quality in France: perspectives for enduring use for human consumption // Science of the Total Environment. 1995. Vol. 171. Issues 1–3. P. 3–16. http://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04695-x
22. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 444 с.
23. Боронецкая О. И. Использование геотермальных вод в рыбоводстве // Рыбное хозяйство. 2004. № 5. С. 54–56.
24. Чепуркина М. А., Семенова И. Н. Использование природных термальных вод для инкубации цист артемии // Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов: тез. доклада II Междунар. конф. (Тюмень, 15–17 нояб. 2011 г.). Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2011. С. 128–130.
25. Чепуркина М. А., Коваленко А. И., Макаренкова И. Ю. Использование геотермальных вод Тюменской области в рыбохозяйственных целях // Тобольск научный-2009: материалы VI науч.-практ. конф. (Тобольск, 13–14 нояб. 2009 г.). Тобольск, 2009. С. 117–120.
26. Сванидзе И. Г., Кремлева Т. А., Соромотин А. В. Воздействие подземных вод Западно-Сибирского артезианского бассейна на миграцию макро- и микроэлементов малых рек // Вестник ТюмГУ. Науки о Земле. 2012. № 12. С. 55–63.
27. Коваленко А. И., Князева Н. С. Влияние сброса минеральных вод на химический состав реки Балды // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, биология, охрана: тез. докладов II Всерос. конф. Борок, 2004. С. 36–37.
28. Исаченко-Боме Е. А., Коваленко А. И., Савиновская М. В., Тараканова Ю. С. Влияние минерализации на зообентос и зооперифитон реки Балды // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, биология, охрана: тез. докладов II Всерос. конф. Борок, 2004. С. 31.
29. Коваленко А. И., Александров А. С., Михайлова Л. В. Экологическая опасность геотермальных вод самоизливающихся скважин на площадь водосбора реки Иртыш в пределах Тобольского района Тюменской области // Современные научно-практические решения в АПК: сб. статей Всерос. науч.-практ. конф. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2017. Ч. 1. С. 324–336. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32527636
30. Сванидзе И. Г. Воздействие геотермальных вод на природную среду Тюменского региона, перспективы использования и рекомендации // Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов: тез. докладов II Междунар. конф. (Тюмень, 15–17 нояб. 2011 г.). Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2011. С. 113–115.

Статья поступила в редакцию 15 февраля 2024 года

UDC 556.314:544.54 http://doi.org/10.21440/2307-2091-2024-2-82-92

Hydromineral resources of the Tobolsk district of the Tyumen region

Andrey Sergeevich ALEKSANDROV*
Tat'yana Vladimirovna SEMENOVA
Vladimir Anatol'evich BESHENTSEV
Sima Vasil'evna VOROB'EVA

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Abstract

Relevance of the work. Hydromineral resources are undoubtedly one of the most important elements of nature, ensuring the vital activity of the population and supporting the ecosystem. The state of the environment also depends on the quality of groundwater. The hydromineral resources of the Tobolsk district of the Tyumen region are developed in three main hydrogeological complexes of the Mesozoic basin, according to the conditions of formation, groundwater in this basin is sedimentary, their sedimentary strata accumulated in marine conditions.

Results. The importance of the Tyumen mineral water deposit, the most promising and the largest in Russia in terms of reserves of industrial iodine waters, which is of great importance for industrial development, is considered. Particular attention is paid to temperature, as it is one of the most important factors contributing to the release of iodine and its accumulation in groundwater. Accumulations of highly concentrated iodine waters are associated with large hydrogeological structures characterized by significant thickness of sedimentary formations. The most significant concentrations of iodine are associated with groundwater, which is dominated by chlorine, and then in iodine waters, as a rule, the bicarbonate ion follows. The permanent components of iodine-containing groundwater are boron, bromine, fluorine, manganese, aluminum, and silicon.

The paper considers various estimates of the analysis of hydromineral resources reserves in the south of the Tyumen region, and considers the possibilities of industrial use of these waters. It is noted that the groundwater is a complex multicomponent system, including a whole complex of inorganic and organic compounds. Concentrations and the possibility of accumulation of macro-components in groundwater are determined by the geological and hydrogeological conditions of the area and largely depend on the mineral composition of the water-bearing rocks.

Conclusions. The article analyzes the environmental consequences of the ingress of water from freely gushing wells into natural watercourses and their catchment areas.

***Keywords*:** Resources, geothermal waters, recreation, watercourses, self-draining wells, free gushing, environmental consequences.

REFERENCES

1. Musabekov R. Kh. 2008, Hydrochemistry of underground waters of the West Siberian Plain. *Vodnyye resursy* [Water resources], vol. 35, no. 4, pp. 477–488. (*In Russ.*)
2. Starkov V. D., Tyulkova L. A. 1996, Geological history and mineral wealth of the Tyumen land. Tyumen, 191 p. (*In Russ.*)
3. Veshnyakov N. V. 2019, Hydrogeochemical features of the formation of thermal waters in the south of the Tyumen region. Geology and geophysics of land and continental shelf: challenges and prospects. Moscow, pp. 230–234. (*In Russ.*)
4. Vakin E. A., Sugrobov V. M. 1986, The main results of complex studies and their application in the study of geothermal waters. Geothermal and geochemical studies of high-temperature hydrothemes. Moscow, pp. 189–201. (*In Russ.*)
5. Anisimova I. S. 2018, Geochemical characteristics of groundwater in the south of the Tyumen region. *Geologiya, geofizika i okhrana okruzhayushchey sredy* [Geology, geophysics and environmental protection], vol. 547, pp. 57–61. (*In Russ.*)
6. Mikhailova L. V., Aleksandrov A. S., Rychkova A. S. 2018, Pollution and phytotoxicity of bottom soils of watercourses within the area of a flowing oil well no.36-rg in Tobolsk district of Tyumen region. *Vestnik rybokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of Fishery Science], vol. 5, no. 2 (18), pp. 80–92. (*In Russ.*) https://elibrary.ru/gxggvz
7. Yakovlev Yu. P., Volkov A. I. 2020, Geothermal potential of the Tyumen region and its use. Architecture and architectural environment: issues of historical and modern development. Tyumen. (*In Russ.*)
8. 2008, Inventory and determination of the condition of fresh and mineral water wells drilled in the southern part of the Tyumen region: report on the results of geological exploration work. Tyumen, 221 p. (*In Russ.*)
9. Zonenstein L. P. 1984, Tectonics of intracontinental fold belts. Materials of the 27 International geological congress. Moscow, vol. 7, pp. 48–59. (*In Russ.*)
10. Matusevich V. M., Semenova T. V. 2000, Hydrogeological conditions of the Tobolsk oil-bearing region. Fundamental problems of water and water resources at the turn of the third millennium. Tomsk, pp.142–145. (*In Russ.*)
11. Nudner V. A. 1970, Hydrogeology of the USSR, vol. XVI. West Siberian Plain. Moscow, 368 p. (*In Russ.*)
12. Shiganova O. V. 2000, Cenomanian aquifer complex – a source of transboundary groundwater for multi-purpose use in Western Siberia. Thesis report of the IV International congress "Water: ecology and technology". Moscow, pp. 285–286. (*In Russ.*)

✉asaleksandrov1991@gmail.com

13. Matusevich V. M., Bakuev O. V. 1985, Hydrogeological prerequisites for forecasting the oil and gas content of deep horizons of the West Siberian megabasin. Oil and gas of Western Siberia. Problems of production and transportation. Tyumen, pp. 84–85. (*In Russ.*)
14. Bondarenko S. S., Lubensky L. A., Kulikov G. V. 1988, Geological and economic assessment of underground industrial water deposits. Moscow, 203 p. (*In Russ.*)
15. Matusevich V. M., Semenova T. V. 2000, The Tobolsk oil-bearing region is a promising base of hydromineral and fuel and energy resources of the Tyumen region. Materials of the All-Russian meeting on underground waters of Eastern Siberia. Irkutsk, 2000, pp. 124–126. (*In Russ.*)
16. Krainov S. R., Ryzhenko B. N., Shvets V. M. 2004, Geochemistry of groundwater. Theoretical, applied and environmental aspects. Moscow, 677 p. (*In Russ.*)
17. Pavlenko O. L. 2003, Typification of underground mineral waters in the south of the Tyumen region. Materials of the All-Russian meeting on groundwater in Eastern Russia. Irkutsk, pp. 44–46. (*In Russ.*)
18. Mineral water. (*In Russ.*) URL: http://tmntfgi72.ru/miniralinie_vodi
19. Matusevich V. M., Nezhdanov A. A., Bakuev O. V. 1995, Oil and gas potential prospects for the southern part of the Tyumen region. Scientific and technical problems of the West Siberian oil and gas complex. Tyumen, vol. 1, pp. 73–78. (*In Russ.*)
20. Sharipov D. S., Deinekin V. P., Sudnichenko Yu. V. 2017, Study of geothermal resources for energy supply of the Southern Urals. *Otkrytyye informatsionnyye i komp'yuternyye integrirovannyye tekhnologii* [Open information and computer integrated technologies], vol. 15, no. 10, pp. 96–101. (*In Russ*.)
21. 1995, Roux J.-C. The evolution of groundwater quality in France: perspectives for enduring use for human consumption. *Science of the Total Environment*, vol. 171, issues 1–3, pp. 3–16. http://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04695-x
22. Alekin O. A. 1970, Fundamentals of hydrochemistry. Leningrad, 444 p. (*In Russ.*)
23. Boronetskaya O. I. 2004, Use of geothermal waters in fish farming. *Rybnoye khozyaystvo* [Fishery], no. 5, pp. 54–56. (*In Russ.*)
24. Chepurkina M. A., Semenova I. N. 2011, Use of natural thermal waters for incubation of Artemia cysts. Environment and natural resources management. Thesis report of the II International conference. Tyumen, pp. 128–130. (*In Russ.*)
25. Chepurkina M. A., Kovalenko A. I., Makarenkova I. Yu. 2009, Use of geothermal waters of the Tyumen region for fishing purposes. Tobolsk scientific-2009, Materials of the VI scientific and practical conference. Tobolsk, pp. 117–120. (*In Russ.*)
26. Svanidze I. G., Kremleva T. A., Soromotin A. V. 2012, Impact of groundwater of the West Siberian artesian basin on the migration of macro- and microelements of small rivers. *Vestnik TyumGU. Nauki o Zemle* [Bulletin of Tyumen State University. Geosciences], no. 12, pp. 55–63. (*In Russ.*)
27. Kovalenko A. I., Knyazeva N. S. 2004, The influence of mineral water discharge on the chemical composition of the Balda River. Ecosystems of small rivers: biodiversity, biology, protection: Thesis report of the II All-Russian Conference. Borok, pp. 36–37. (*In Russ.*)
28. Isachenko-Bome E. A., Kovalenko A. I., Savinovskaya M. V., Tarakanova Yu. S. 2004, The influence of mineralization on zoobenthos and zooperiphyton of the Balda River. Ecosystems of small rivers: biodiversity, biology, protection: Thesis report of the II All-Russian Conference. Borok, pp. 31. (*In Russ.*)
29. Kovalenko A. I., Aleksandrov A. S., Mikhailova L. V. 2017, Ecological danger of geothermal water of self-draining wells on the catchment area of the Irtysh river in the Tobolsk district of the Tyumen region. Tyumen, part 1, pp. 324–336. (*In Russ.*) https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32527636
30. Svanidze I. G. 2011, Impact of geothermal waters on the natural environment of the Tyumen region, prospects for use and recommendations. Environment and management of natural resources. Thesis report of the II All-Russian Conference. Tyumen, pp. 113–115. (*In Russ.*)

The article was received on February 15, 2024