

УДК 556.314: 544.54
DOI: 10.18799/24131830/2025/11/5043
Шифр специальности ВАК: 1.6.6
Научная статья



Геохимические особенности подземных вод отдельных участков Тюменского месторождения

А.С. Александров✉, В.А. Бешенцев, А.А. Пономарев

Тюменский индустриальный университет, Россия, г. Тюмень

✉asaleksandrov1991@gmail.com

Аннотация. Актуальность. Минеральные воды Тюменского месторождения являются уникальными, в них выделяются особенности геологических формаций и современных геодинамических процессов. Несмотря на то, что в природе минеральные воды широко распространены, они отличаются разнообразием химического, газового и изотопного состава. В работе особое внимание уделяется гидроминеральным ресурсам Тюменского месторождения, расположенным на Черкашинском и Тобольском участках Тобольского района Тюменской области, которые можно рассматривать как особый гидроминеральный район. В 2024 г. одновременно с развитием концептуальных основ использования термальных минеральных ресурсов в Тюменской области недалеко от д. Шестакова был открыт новый геотермальный комплекс. В настоящее время с потенциальными инвесторами ведутся переговоры о создании гостиничных объектов с термальными водами, расположенных непосредственно в Тобольске. Учитывая возможность комплексного использования подземных вод мезозойских осадочных образований в Тобольском районе, изучение современного химического состава подземных вод и оценка радиологической среды, рассматриваемые в данном исследовании, имеют большое значение. **Цель:** представление результатов исследования подземных вод Тюменского месторождения, в частности анализ химического состава и радиоактивных веществ данных минеральных вод Черкашинского и Тобольского участков Тюменской области. **Методы.** Отбор проб выполнялся в соответствии с общепринятыми методиками. Анализ и обработка эмпирических данных проводились с использованием программ Microsoft Excel, Surfer. Географические координаты скважин документировались с помощью навигатора GPS/GLONASS в сочетании с использованием программных платформ Google Earth и OpenStreetMap. **Результаты и выводы.** Развитие подземных вод в гидрогеологическом бассейне мезозоя представляют собой многогранную систему, позволяющую выявить современные характеристики подземных вод Тюменского месторождения. Проанализированные данные о геохимических особенностях района исследования позволяют говорить о специфике подземных вод Тобольского и Черкашинского участков. Вода в скважинах исследуемых участков является хлоридно-натриевой I типа с общей минерализацией 15,3–17,9 г/дм³, слабощелочной (pH – 7,1–8,2), с высоким содержанием хлоридов – 9,2–10,6 г/дм³, ионов натрия – 5,6–6,6 г/дм³, микроэлементов: брома – 59,3–66,4, йода – 24,1–26,7, бора – 44,0–57,5 мг/дм³. В целом ионный состав вод скважин является довольно однообразным. Согласно СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009», максимальное содержание ²²⁶Ra в воде – 0,68, то есть не превышает норматив. Уровень поверхностной радиоактивности также не превышает допустимых значений.

Ключевые слова: минеральные воды, Черкашинский участок, Тобольский участок, скважины, подземные воды, химический состав, радиоактивные вещества

Для цитирования: Александров А.С., Бешенцев В.А., Пономарев А.А. Геохимические особенности подземных вод отдельных участков Тюменского месторождения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 11. – С. 15–26. DOI: 10.18799/24131830/2025/11/5043

UDC 556.314: 544.54
DOI: 10.18799/24131830/2025/11/5043
Scientific paper



Geochemical features of groundwater in selected areas of the Tyumen field

A.S. Aleksandrov✉, V.A. Beshentsev, A.A. Ponomarev

Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation

✉asaleksandrov1991@gmail.com

Abstract. Relevance. Mineral waters of the Tyumen deposit are unique, they highlight the features of geological formations and modern geodynamic processes. Despite the fact that mineral waters are widespread in nature, they differ in a variety of chemical, gas and isotopic composition. The work pays special attention to the hydromineral resources of the Tyumen deposit located in the Cherkashinsky and Tobolsk sites of the Tobolsk district of the Tyumen region, which can be considered as a special hydromineral area. In 2024, simultaneously with the development of the conceptual foundations for the use of thermal mineral resources in the Tyumen region, not far from Shestakov a new geothermal complex was opened. Negotiations are currently underway with potential investors to create hotel facilities with thermal waters located directly in Tobolsk. Considering the possibility of integrated use of groundwater from Mesozoic sedimentary formations in the Tobolsk region, the study of the modern chemical composition of groundwater and the assessment of the radiological environment considered in this study are of great importance. **Aim.** To present the results of studying the underground waters of the Tyumen deposit, in particular, the analysis of the chemical composition and radioactive substances of these mineral waters of Cherkashinsky and Tobolsk sites of the Tyumen region. **Methods.** Sampling was carried out in accordance with generally accepted methods. The analysis and processing of empirical data were carried out using Microsoft Excel and Surfer programs. The geographical coordinates of the wells were documented using the GPS/GLONASS navigator in combination with the use of the Google Earth and OpenStreetMap software platforms. **Results and conclusions.** The development of groundwater in the Mesozoic hydrogeological basin is a multifaceted system that allows us to identify the modern characteristics of the groundwater of the Tyumen deposit. The analyzed information on the geochemical features of the study area allows us to talk about the chemical composition of the groundwater of the Tobolsk and Cherkashinsky sites. The water in the wells of the studied sites is type I sodium chloride with a total mineralization of 15.3–17.9 g/dm³, slightly alkaline (pH – 7.1–8.2), with a high content of chlorides – 9.2–10.6 g/dm³, sodium ions – 5.6–6.6 g/dm³, trace elements: bromine – 59.3–66.4, iodine – 24.1–26.7, boron – 44.0–57.5 mg/dm³. In general, the ionic composition of borehole waters is rather monotonous. According to SanPiN 2.6.1.2523-09 "Standards of radiation safety NRB-99/2009", the maximum content of 226 Ra in water is 0.68, that is, it does not exceed the standard. The level of surface radioactivity also does not exceed the permissible values.

Keywords: mineral waters, Cherkashinsky site, Tobolsk site, wells, groundwater, chemical composition, radioactive substances

For citation: Aleksandrov A.S., Beshentsev V.A., Ponomarev A.A. Geochemical features of groundwater in selected areas of the Tyumen field. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2025, vol. 336, no. 11, pp. 15–26. DOI: 10.18799/24131830/2025/11/5043

Введение

Подземные воды были обнаружены на южных просторах Тюменской области благодаря разведочным скважинам, пробуренным в период с 1950-х по 1980-е гг. в поисках месторождений нефти и природного газа, а также йодо-бромных источников воды. Запасы минеральных вод в Западной Сибири расположены преимущественно в мезозойских формациях, а также в других районах со значительными осадочными отложениями [1, 2].

Запасы минеральных вод в Западной Сибири значительны, выявлено множество месторождений, хотя в настоящее время эксплуатируется менее половины из них [3]. Д.А. Новиков отмечает, что минеральные воды в Западной Сибири характеризуются

уникальными гидрогеологическими и геохимическими свойствами, которые отличают их от минеральных вод других регионов мира [4]. Тюменская область обладает исключительными запасами подземных минеральных термальных вод (около 3 млн м³), расположенных в Западно-Сибирском бассейне [5].

Несмотря на обилие запасов минеральных вод, Западная Сибирь сталкивается с такими проблемами, как удаленность, отсутствие инфраструктуры и проблемы защиты окружающей среды, которые препятствуют их полному использованию [6, 7].

Минеральные воды Тобольского района Тюменской области, как и во многих других нефтегазоносных бассейнах Западной Сибири, имеют пре-

имущественно седиментогенное происхождение, при этом значительная метаморфизация происходит в результате взаимодействия с осадочными породами [8, 9].

Наиболее крупным из рассматриваемых месторождений термальных вод является Тюменское месторождение с большим содержанием йода [10]. Термальные воды приурочены здесь к нижнемеловому (неокомскому) водоносному комплексу, который вскрывается на всю мощность скважинами глубиной от 1700 до 2000 м.

Характеристики минеральных вод в основном зависят от их химического состава [11–13], а в связи с этим целью является анализ химического состава минеральных подземных вод неокомского водоносного комплекса Тобольского и Черкашинского участков Тобольского района.

Территория исследуемого района представляет собой плоско-волнистую равнину, распространяющуюся к западу и северо-западу, включая частично поймы рек Тобол и Иртыш. Территория покрыта густой сетью рек, как крупных, так и мелких их притоков.

На исследуемой территории Тобольского района Тюменской области расположены Черкашинский и Тобольский участки термальных йодных и йодно-бромных вод (рис. 1).

Фактический материал и методика исследования. Пробы воды для химического анализа отбирали на исследуемых скважинах Черкашинского и Тобольского участков, процедуры химического анализа воды выполнялись в соответствии с ГОСТ 31861-2012. Капиллярный электрофорез «Капель-104Т» применяли для химического анализа воды, в частности для количественной оценки химических компонентов и свойств проб воды.

Геологоразведочный скинтилляционный аппарат SRP-88N использовался для количественной оценки интенсивности поверхностной радиоактивности, а также в качестве радиометрического прибора для оценки внешних условий окружающей среды. Лабораторные исследования выполнялись в АО «Региональный Аналитический Центр» г. Тюмени.

В работе использованы структурные карты, дана оценка пластовых вод, а также использованы архивные и опубликованные материалы.

Гидрогеологическое строение. В геологическом строении Черкашинский и Тобольский участки расположены в юго-западной периклинальной части Западно-Сибирской геосинеклизы, где мезозойско-кайнозойские отложения платформенного чехла трансгрессивно и с угловым несогласием залегают на подстилающих образованиях доюрского основания.

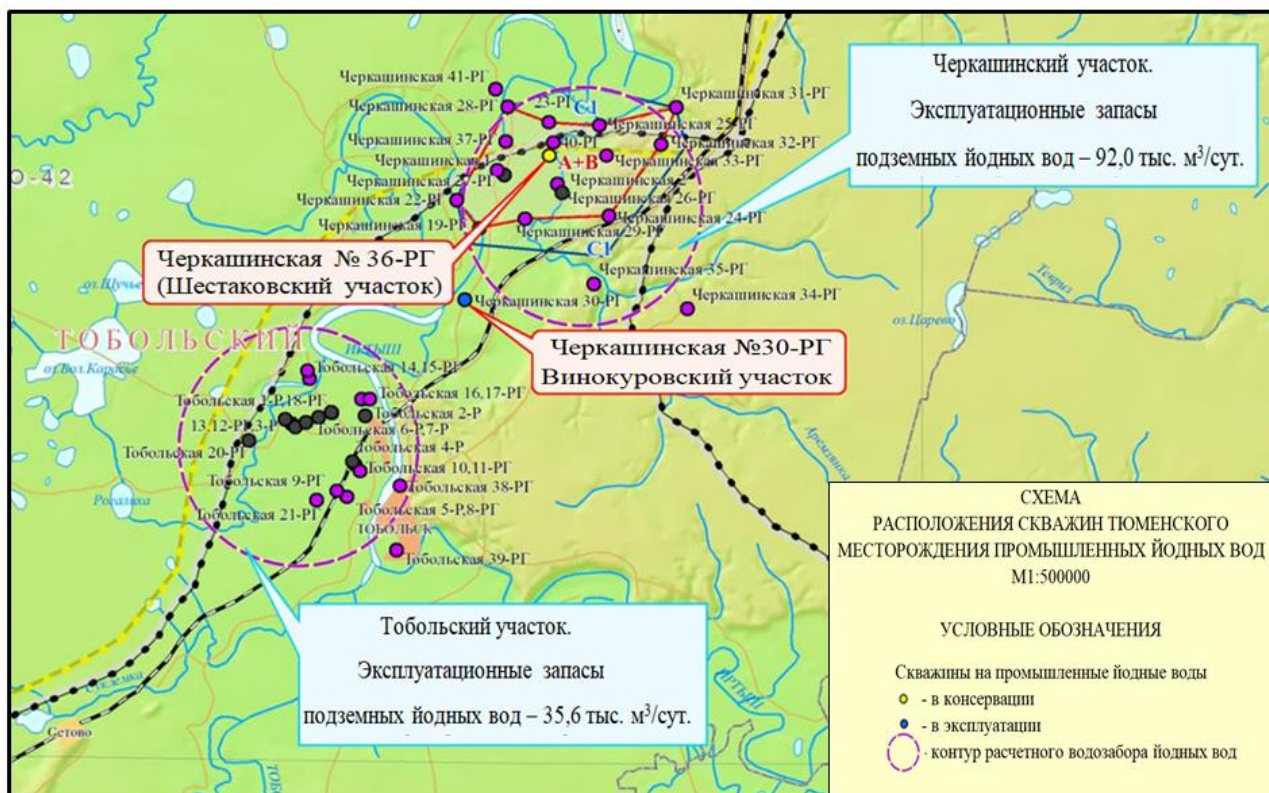


Рис. 1. Тобольский и Черкашинский участки Тюменского месторождения Тобольского района Тюменской области [14]
Fig. 1. Tobolsk and Cherkashinsky sites of the Tyumen deposit in the Tobolsk district of the Tyumen region [14]

Следует отметить, что доюрские образования на исследуемой территории изучены недостаточно. Нерасчлененные образования протерозоя выделяются главным образом по структурному принципу, согласно которому наиболее древние из них приурочены к сводовым частям крупнейших антиклинорных зон фундамента Западно-Сибирской плиты. Раннеюрское время свидетельствует о морском генезисе образований на данной территории и, как правило, подтверждает широкое распространение морской трансгрессии в Западной Сибири, которая привела к быстрой смене континентального режима осадконакопления на морской на большей части Западной Сибири. В ранневаланжинское–раннеготеривское время процессы осадконакопления зависели от скорости прогибания, колебаний уровня моря. Некомпенсированное прогибание в доготеривское время, в начале готерива–барреме, было существенно компенсировано усилением осадконакопления в сокращенном по площа-

ди бассейне. Накопление базальных слоев юры происходило в условиях постоянно расширяющейся трансгрессии, при определении критических значений толщин отложений, в разрезе появляются нижнеюрские образования во время шеркалинской свиты. Необходимо выделить, что шеркалинская свита южнее Тобольского района не распространяется. Раннеальбское время характеризуется началом трансгрессии бореального моря, продолжавшейся до конца раннего мела [15].

В составе верхнего отдела меловых отложений и Тобольского, и Черкашинского участков выделяют уватскую, кузнецовскую, березовскую и ганькинскую свиты. Талицкая свита приурочена к палеоцену. Для неё характерны глины темно-серые со слабым зеленоватым оттенком, плотные с оскольчатым изломом, тонколистватослоистые (рис. 2, геологический разрез по линии скважин № 33–36; расположение скважин – на рис. 1).

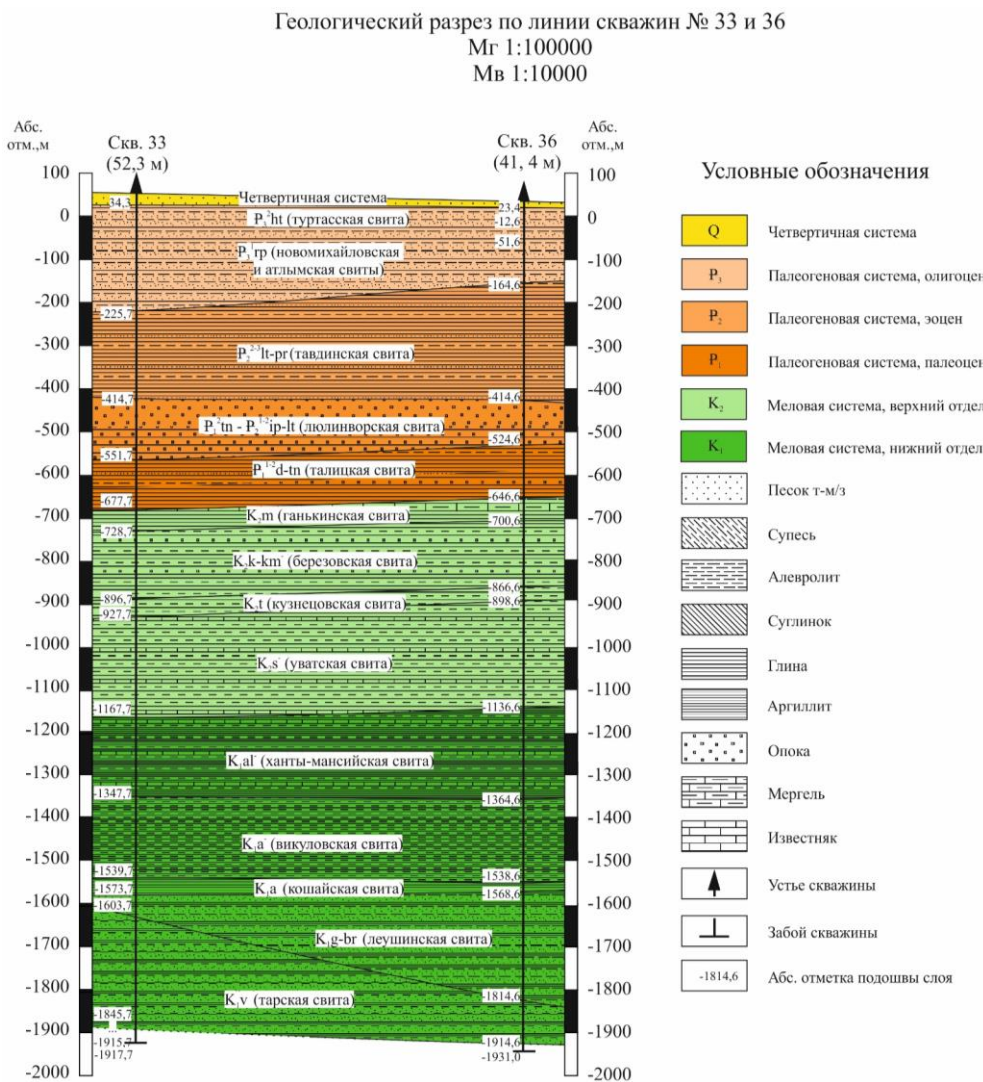


Рис. 2. Геологический разрез по линии скважин № 33–36 исследуемой территории
 Fig. 2. Geological section along the line of wells no. 33–36 of the studied territory

Неогеновые отложения широко развиты в пределах Черкашинского участка. Они встречаются в виде сохранившихся от размыва небольших фрагментов в цоколях террас. Система представлена континентальными образованиями миоцена и плиоцена. Здесь встречаются песчано-глинистые лигнитоносные отложения, отмечается чередование по вертикали прослоев песков, алевритов и глин [16].

Четвертичные отложения со стратиграфическим несогласием залегают на размывтой поверхности континентальных отложений палеогена и развиты повсеместно. Для четвертичных отложений характерны аллювиальные и озерно-аллювиальные пески, глины, супеси и суглинки.

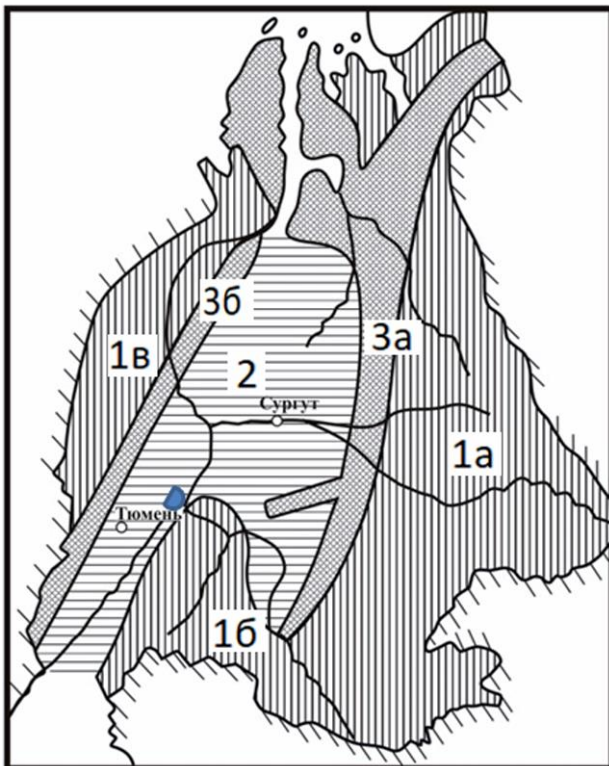


Рис. 3. Водонапорные системы Западно-Сибирского мегабассейна: 1 – инфильтрационная (1а – восточная, 1б – юго-западная, 1в – приуральская зоны); 2 – элизионная литостатическая (западный мегаблок); 3 – элизионная геодинамическая (3а – Омско-Гыданская структурная зона; 3б – Восточно-Уральский краевой шов); 4 – граница водонапорных систем; [17]; ● – территория исследования

Fig. 3. Water pressure systems of the West Siberian megabasin: 1 – infiltration (1a – eastern, 1b – southwestern, 1v – Ural zones); 2 – lithostatic elision (western megablock); 3 – geodynamic elision (3a – Omsk-Gydan structural zone; 3b – East Ural regional seam); 4 – boundary of water supply systems; [17]; ● – studied area

Для строения Западно-Сибирского мегабассейна характерно сочленение трех разновозрастных мегаблоков земной коры, которые образовались в конце палеозоя в результате сближения Русской и Сибирской платформ. 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 и разделяет эксфильтрационные и инфильтрационные водонапорные системы [17]. Природные водонапорные системы Западно-Сибирского мегабассейна приведены на рис. 3.

Результаты и их обсуждение

Ионно-солевой состав подземных вод включает макро- и микроэлементы, а также радионуклиды. Также природные воды содержат органические вещества, водорастворимые соли, коллоиды и механические примеси. К числу главных ионов, содержащихся в природных водах, относятся ионы Na, Mg, Ca, SO₄, Cl и HCO₃. Однако в ионно-солевом составе подземных вод Западной Сибири преобладают ионы натрия, кальция, хлорида и бикарбоната.

Минеральная вода Черкашинского и Тобольского участков согласно классификации Н.И. Толстихина [18] относится к соленым. По ОСТ 41-05-263-86 подземные воды подразделяются на пресные (до 1 г/дм³), слабосоленые (1–3 г/дм³), соленые (3–5 г/дм³), сильносоленые (5–10 г/дм³), слабосоленые (10–20 г/дм³), соленые (20–35 г/дм³) и сильносоленые (35–50 г/дм³) [19]. В соответствии с данной классификацией вода скважины Тобольского района относится к слабосоленым водам хлоридного класса натриевой группы. Классификация природных вод по химическому составу, предложенная О.А. Алекиным, считается наиболее приемлемой для природных вод, так как в её основу положены два принципа: преобладающие ионы и соотношения между ними. По классификации О.А. Алекина, вода хлоридного класса натриевой группы II типа [20].

Химический состав вод Тобольского и Черкашинского участков различается, несмотря на то, что территории находятся недалеко друг от друга. Это наиболее ярко отражается в усредненных значениях компонентов химического состава подземных вод (табл. 1).

Таблица 1. Усредненные значения компонентов химического состава подземных вод Тобольского и Черкашинского участков

Table 1. Average values of the components of the chemical composition of groundwater of Tobolsk and Cherkashinsky sites

Тобольский участок Tobolsk site	Показатели, мг/дм ³ Indicators, mg/dm ³	Черкашинский участок Cherkashinsky site
7,64	pH	7,7
17,4	Минерализация Mineralization	17,00
308,0	Ca	248,2
45,7	Mg	43,87
6360,1	Na	6243,4
10244,0	Cl	9982,3
429,1	HCO ₃	478,6
60,7	Br	61,1
25,1	J	26,0

Уровни минерализации, выявленные в Западной Сибири, изменчивы: несколько ниже в северной части региона и повышены в южной [21].

Если посмотреть на минерализацию подземных вод Тобольского и Черкашинского участка (рис. 4, 5), то можно наблюдать следующие особенности:

- на Тобольском участке происходят незначительные изменения значений минерализации;
- минерализация составляет в основном в пределах 16–17 мг/дм³;
- на Черкашинском участке уровень минерализации колеблется в отличие от Тобольского. В районе скважин № 25 и 28 минерализация составляет 15,7 и 15,3 мг/дм³, далее увеличивается до 17,0 мг/дм³ в районе скважин № 36 и 23;
- остальные скважины имеют минерализацию от 16,6 до 16,9 мг/дм³.

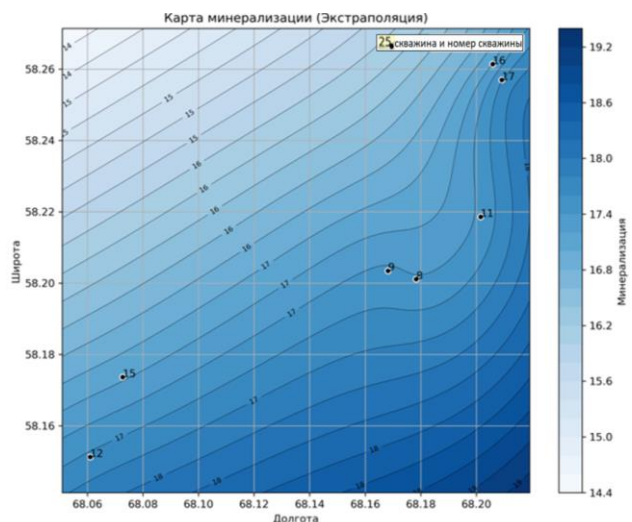


Рис. 4. Минерализация неокомского гидрогеологического комплекса (в мг/дм³) на Тобольском участке

Fig. 4. Mineralization of the Neocomian hydrogeological complex (in mg/dm³) at the Tobolsk site

Содержание хлора достаточно высокое на всей территории и составляет в среднем более 8500 мг/дм³. Увеличение прослеживается к юго-востоку в сторону р. Инжуры. В районе северо-запада наблюдается снижение концентрации хлора в подземных водах [22].

На Черкашинском участке картина изменений концентраций хлора выявлена наиболее ярко (рис. 7). Высокое содержание данного химического элемента можно видеть у скважин № 24, 35, и здесь он достигает более 10000 мг/дм³. Однако в районе скважины № 25 содержание хлора падает и составляет чуть более 9000 мг/дм³. В среднем по Черкашинскому району его количество равно 9982,3 мг/дм³.

Для Тобольского участка характерно плавное изменение концентрации хлора (рис. 6).

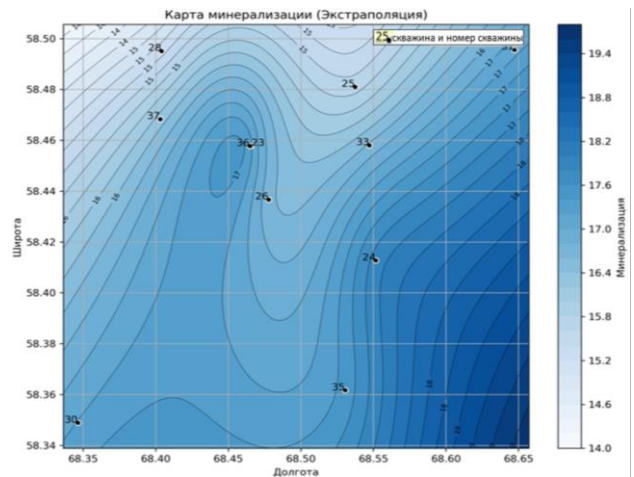


Рис. 5. Минерализация неокомского гидрогеологического комплекса (в мг/дм³) на Черкашинском участке

Fig. 5. Mineralization of the neocomian hydrogeological complex (in mg/dm³) at the Cherkashinsky site

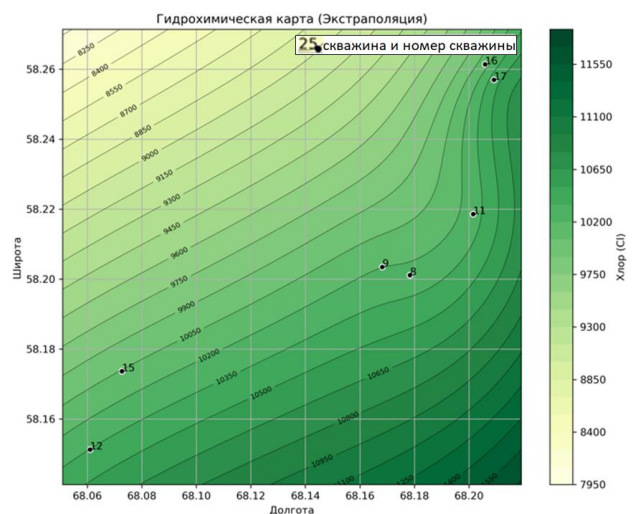


Рис. 6. Карта распределения хлора (Cl) неокомского гидрогеологического комплекса (в мг/дм³) на Тобольском участке

Fig. 6. Chlorine (Cl) distribution map of the neocomian Hydrogeological Complex (in mg/dm³) at the Tobolsk site

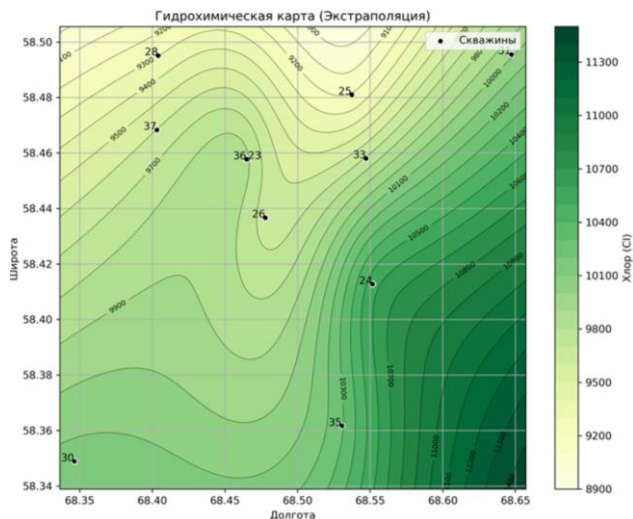


Рис. 7. Карта распределения хлора (Cl) неокомского гидрогеологического комплекса (в мг/дм³) на Черкашинском участке

Fig. 7. Chlorine (Cl) distribution map of the neocomian Hydrogeological Complex (in mg/dm³) at the Cherkashinsky site

Распределение гидрокарбонатов на территории Тобольского участка неравномерное (рис. 8). Содержание гидрокарбонатов на данном участке несколько ниже, чем на Черкашинском участке. На Тобольском концентрация гидрокарбонатов (HCO₃) составляет 429,1 мг/дм³, на Черкашинском – 478,6 мг/дм³, т. е. содержание гидрокарбонатов на Черкашинском почти на 10 % выше, чем на Тобольском [23]. Наиболее высокие показатели характерны для скважины № 15 на Тобольском участке – 463 мг/дм³.

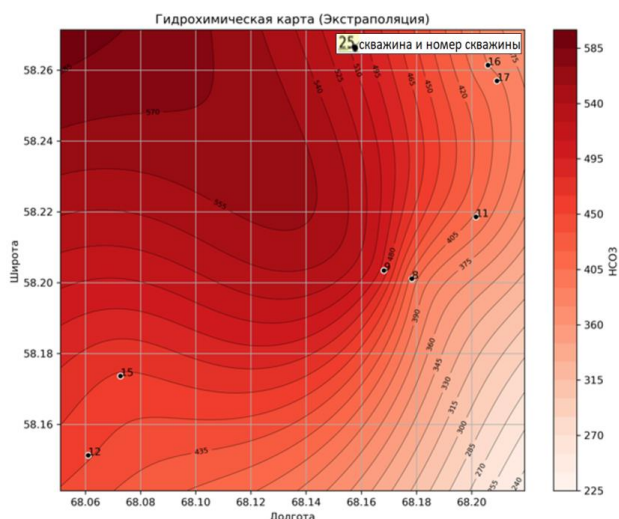


Рис. 8. Карта распределения гидрокарбонатов (HCO₃) неокомского гидрогеологического комплекса (в мг/дм³) на Тобольском участке

Fig. 8. Distribution map of bicarbonates (HCO₃) of the neocomian hydrogeological complex (in mg/dm³) at the Tobolsk site

На Черкашинском участке (рис. 9) самое низкое содержание гидрокарбонатов характерно для скважины № 30 и составляет 402,5 мг/дм³. Высокое содержание концентрации гидрокарбонатов характерно для большей части скважин и достигает более 475 мг/дм³. Это можно видеть на карте, также следует отметить, что понижение наблюдается в сторону юго-востока.

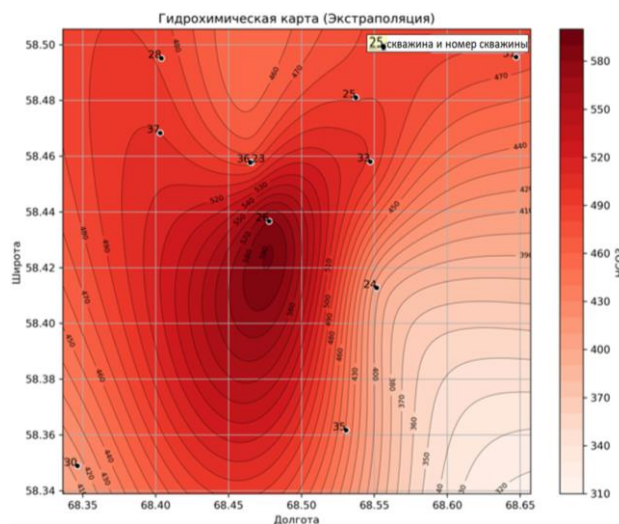


Рис. 9. Карта распределения гидрокарбонатов (HCO₃) неокомского гидрогеологического комплекса (в мг/дм³) на Черкашинском участке

Fig. 9. Distribution map of bicarbonates (HCO₃) of the neocomian hydrogeological complex (in mg/dm³) at the Cherkashinsky site

Важно отметить, что средняя концентрация кальция (Ca) на Тобольском участке превышает среднюю концентрацию на Черкашинском участке примерно на 20 % и составляет 308,0 мг/дм³, тогда как на Черкашинском участке концентрация составляет 248,2 мг/дм³. В непосредственной близости от Тобольского участка наблюдается заметное повышение концентрации кальция (Ca), преимущественно в южной и юго-восточной ориентациях; пиковая концентрация наблюдается в скважине № 17, на Тобольском разрезе. Средние концентрации, характерные для северо-восточного региона, не достигают 290 мг/дм³ на Черкашинском разрезе.

Содержание натрия колеблется в достаточно широких пределах на Черкашинском участке – от 5773,0 (скважина № 25) до 7204,8 г/дм³ (скважина № 36). На Тобольском участке выделяется скважина № 12, где максимальное содержание натрия составляет 6474,73 г/дм³.

Содержание магния (Mg) резко выделяется, наоборот, на Тобольском участке, и его количество равно 50,3 и 50,4 мг/дм³ в скважинах № 16 и 17 соответственно. На Черкашинском участке наиболь-

шее значение – 46 мг/дм³ – в районе скважин № 23, 36. Наблюдается понижение количества магния от Тобольского района в направлении юго-запада.

Наиболее высокими концентрациями йода исследуемого участка отличаются воды меловых отложений. Концентрация йода (J) наиболее высока в районе скважин № 36 и 23 Черкашинского участка и составляет от 24 до 27 мг/дм³, далее содержание йода плавно уменьшается на запад и восток и вновь увеличивается на Тобольском участке (в районе скважины № 8) до 25 мг/дм³.

Содержание брома от Черкашинского участка увеличивается к югу, т. е. к Тобольскому участку, и составляет до 59 мг/дм³. Концентрация данного компонента плавно уменьшается в северо-западном направлении от 54 до 51 мг/дм³, и наоборот наблюдается повышение содержания брома в северо-восточном направлении, но оно незначительно.

Следует уделить внимание радиоактивным элементам. Довольно высокая концентрация природных радионуклидов сосредоточена преимущественно в подземных источниках воды. Подземные воды, расположенные в осадочных формациях, могут проявлять различный уровень радиоактивности, на который влияет не только концентрация природных радионуклидов в геологических слоях водоносных горизонтов, но и гидравлическая связь между отдельными водоносными горизонтами, наличие проницаемых тектонических зон, «окон» в непроницаемых формациях и другие факторы. В то же время грунтовые воды, извлеченные из одного стратиграфического горизонта в разных местах, могут иметь разные концентрации природных радионуклидов, а также различный состав радионуклидов и микроэлементов.

Проблемы радиологической безопасности в настоящее время приобретают особую актуальность, поэтому радиологические исследования являются обязательными при оценке исследуемых регионов [24, 25]. Радиоактивные материалы природного происхождения широко распространены в окружающей среде. Как правило, гамма-излучение исходит от природных радионуклидов (торий, радий, уран), распределённых в земле [26]. Радиоактивные элементы, встречающиеся в природе,

обычно обозначаются как природные, большинство этих элементов классифицируются как тяжелые элементы с атомными номерами от 81 до 96 [27, 28]. Подземные воды представляют собой важнейший минеральный ресурс. Естественное обогащение подземных вод изотопами радия является примером геохимического явления, и их использование способствует дополнительному облучению как населения, так и экологических систем.

Природные радионуклиды U-238, Ra-226, Rb-210 и Ra-228 способны накапливаться даже в остатках очистки подземных вод, несмотря на низкие концентрации в неочищенных грунтовых водах, могут вносить вклад в суммарную радиационную нагрузку территории, в связи с этим необходимо соблюдать надлежащие характеристики для обеспечения общественной безопасности в отношении потенциального воздействия [29].

В.А. Лебедев и В.С. Карабута в 2016 г. заявляют, что в естественных науках устоялся принцип, согласно которому радий неизменно содержится в водах резервуаров, связанных с нефтяными и газовыми месторождениями, преимущественно в форме хорошо растворимого хлорида [30]. При добыче нефти или природного газа нарушается сульфатное равновесие, происходит превращение хлоридов радия в сульфатные соединения, растворимость которых в пресной воде незначительна, что приводит к осаждению этих веществ в виде отложений на технологическом оборудовании [31]. Это явление может быть вызвано различными факторами: в первую очередь это связано со снижением температуры извлекаемой жидкости при ее подъеме от основания скважины к устью скважины, а также с использованием воды, химический состав которой несовместим с водами резервуара, в частности, для целей затопления. Всесторонний анализ существующей научно-технической литературы показывает, что на современном этапе развития технологий добычи нефти невозможно полностью предотвратить возникновение такого явления [31].

Естественная радиоактивность воды в районе Черкашинского участка имеет следующие характеристики (табл. 2).

Таблица 2. Естественная радиоактивность в районе Черкашинского участка

Table 2. Natural radioactivity in the Cherkashinsky site

Естественная радиоактивность Natural radioactivity	Место отбора проб, тип отложений/Sampling site, sediment type						
	02.2019			10.2023			
	Скважина № 36-РГ Well no. 36-RG	Ручей в 90 м ниже скважины Stream 90 m below the well	Ручей в 200 м ниже скважины, перед впадением в р. Аремзянку Stream 200 m below the well, before flowing into the Aremzyanka river	36-РГ 36-RG	31-РГ 31-RG	30-РГ 30-RG	26-РГ 26-RG
Объемная активность радия (²²⁶ Ra) в воде, Бк/дм ³ Radium volumetric activity (²²⁶ Ra) in water, Bq/dm ³	0,68	0,31	<0,3	0,40	0,41	0,38	0,34
РА, мЗв/ч/mSv/hr	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Уровни радиоактивности радия-226 (Ra) в образцах, собранных в 2019 г., значительно сконцентрированы в ручье, расположенном в 200 м ниже по течению от скважины до его слияния с рекой. В окрестностях Аремзянки радиоактивность составляет 22,22 Бк/кг, а в ручье, расположенном на глубине 90 м ниже скважины, наблюдается снижение на 1,5 Бк/кг, в результате чего уровень радиоактивности составляет 13,15 Бк/кг; в самой скважине эта активность оценивается количественно на уровне 18,45 Бк/кг. Образцы, собранные в 2023 г., показывают, что самая высокая зарегистрированная активность радия-226 (Ra) была обнаружена в районе скважины № 26-RG (18,99 Бк/кг), а самый низкий уровень естественной радиоактивности был зарегистрирован вблизи скважины № 30-RG (17,05 Бк/кг). Кроме того, наблюдалось заметное снижение уровня естественной радиоактивности в районе скважины № 36-RG с 18,45 до 17,93 Бк/кг, то есть на 3 %. Примечательно, что активность радия-226 (Ra), обнаруженного в районе скважины № 26-RG в 2023 г., превышает активность, наблюдаемую в районе скважины № 36-RG в 2019 г.

Выводы

На сегодняшний день получен значительный объем сведений о химическом и радиационном составе воды. Следует отметить, что из-за несовершенства нормативно-методической и законодательной базы, регулирующей использование подземных вод, необходимо и в дальнейшем проводить мониторинг этого района.

В связи с использованием термальных минеральных ресурсов в Тюменской области и открытием нового геотермального комплекса мониторинг геохимического состава подземных вод необходим для прогнозирования осложнений при эксплуатации месторождений, охраны окружающей среды от загрязнения.

Вода представляет собой чрезвычайно сложный объект с точки зрения осуществления радиационного контроля в силу следующих обстоятельств: практически полного отсутствия радиоактивного равновесия, сезонных вариаций уровней активности, разнообразия радионуклидного состава вод. Необходимо учитывать и основные факторы, оказывающие влияние на радиоактивность вод: взаимосвязь водоносных горизонтов между собой, интенсивность и состав атмосферных выпадений, солевой состав воды, сезонные вариации уровня ра-

диоактивности, уровень антропогенного воздействия и другие.

Из вышесказанного можно подвести следующие итоги:

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.
2. Концентрации и возможность накопления в подземных водах макрокомпонентов определяются геолого-гидрогеологическими условиями исследуемого района и во многом зависят от минерального состава водовмещающих пород. Подземные воды Тобольского и Черкашинского участков по химическому составу идентичны, характеризуются хорошими фильтрационными свойствами, водообильностью. Подземные воды в исследуемых регионах относятся к категории хлоридно-натриевых вод I типа с общим диапазоном минерализации 15,3–17,9 г/дм³, слабощелочной и повышенной концентрацией хлоридов.
3. Естественная радиоактивность порождает определенный уровень фонового излучения, в пределах которого происходят биологические процессы связанных с ней экосистем. В настоящее время в Тобольском районе Тюменской области концентрация ²²⁶Ra в водной среде остается в безопасных пределах. Несмотря на то, что самая высокая зарегистрированная активность радия-226 (Ra) была обнаружена в районе скважины № 26-RG и составляла 18,99 Бк/кг (образцы, собранные в 2023 г.), это не превышает установленные нормы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009».
4. Микрокомпоненты, обнаруженные в минеральных водах района исследований, включают йод, бром и тяжелые металлы. Хотя они и не определяют химическую классификацию воды, они оказывают значительное влияние на отличительные характеристики ее состава и считаются фундаментальным аспектом химического состава природных вод. В частности, концентрация йода (J) достигает максимума на Черкашинском участке, где она колеблется от 24 до 27 мг/дм³, а концентрация брома (Br) на Черкашинском и Тобольском участках составляет около 59 мг/дм³.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Elango L., Kannan R. Chapter 11 Rock–water interaction and its control on chemical composition of groundwater // *Developments in Environmental Science*. – 2007. – Vol. 5. – P. 229–243. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-8177\(07\)05011-5](https://doi.org/10.1016/S1474-8177(07)05011-5)
2. Отчет о результатах геологоразведочных работ по объекту «Инвентаризация и определение состояния скважин на пресную и минеральную воду, пробуренных в южной части Тюменской области». – Тюмень: Территориальный центр «Тюменьгеомониторинг», 2008. – 221 с.

3. Петров С.А., Мамаев Н.Л. Оценка запасов геотермальных источников минеральных вод юга Тюменской области // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2023. – № 100 (3). – P. 46–50. DOI: <https://doi.org/10.17116/kurort202310003146>
4. Новиков Д.А. Геохимия подземных вод нефтегазоносных отложений северных районов осадочных бассейнов Сибири // Нефтегазовое дело. – 2015. – № 5. – С. 106–149. DOI: <https://doi.org/10.17122/ogbus-2015-5-106-149>
5. Старков В.Д., Тюлькова Л.А. Геологическая история и минеральные богатства Тюменской земли. – Тюмень: ИПП «Тюмень», 1996. – 190 с.
6. Гудковских М.В. Эстетическая оценка термальных источников Тюменской области // Географический Вестник. – 2021. – № 4 (59). – P. 161–179. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/esteticheskaya-otsenka-termalnyh-istochnikov-tyumenskoj-oblasti/viewer> (дата обращения 15.02.2025).
7. Дабиев Д.Ф. О количественной оценке приграничных регионов Сибири с преимущественно минерально-сырьевым потенциалом // Фундаментальные Исследования. – 2022. – № 10 (2) – P. 180–186. DOI: <https://doi.org/10.17513/fr.43363>
8. Hydrogeochemical processes and groundwater chemistry in the West Siberia / R.N. Abdrashitova, Y.S. Salnikova, G.S. Bozhenkova, E.A. Ponomarev, M.D. Zavatsky, A.M. Bulasheva // Geology, Ecology, and Landscapes. – 2022. – № 8 (7675) – P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1080/24749508.2022.2158548>
9. Сальникова Ю.И., Бешенцев В.А. Гидрогеохимические условия мезозойского гидрогеологического бассейна Равнинного нефтяного месторождения // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 3. – P. 38–56. DOI: <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2022-3-38-56>
10. Law S. Hydrothermal water-rock reaction modeling with microbial considerations: rabbit creek area, yellowstone national park. *Digital Commons, sharing and preserving the creative works of the Montana Tech Community*, 2018. URL: https://digitalcommons.mtech.edu/grad_rschr/181 (дата обращения 15.02.2025).
11. Young H.W., Lewis R.E. Hydrology and geochemistry of thermal ground water in southwestern Idaho and north-central Nevada // Geological Survey. – Washington, DC (USA), 1980. – 57 p. DOI: <https://doi.org/10.3133/PP1044J>
12. Лукьяненко Е.А., Кузьмина Н.Г., Бурдак Д.В. Гидрогеохимическая характеристика и анализ совместимости размещаемых и пластовых вод на месторождении Н Западной Сибири // Известия Высших Учебных Заведений. – 2024. – № 2. – P. 11–24. DOI: <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2024-2-11-24>
13. Chernykh A.V. Aqueous dispersion halos of hydrocarbon deposits within the Southern Regions of West Siberia // Journal of Physics Conference. – 2019. – Series 1172:012032. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1172/1/012032>
14. Минеральные воды. Тюменский филиал ФБУ «ТФГИ по Уральскому федеральному округу». URL: https://www.tmntfgi72.ru/miniralinie_vodi (дата обращения 10.02.2025).
15. Атлас литолого-палеографических карт юрского и мелового периодов Западно-Сибирской равнины в масштабе 1:5000000 / под ред. И.И. Нестерова – Тюмень: ЗапСибШПТПП, 1976. – 87 с.
16. Матусевич В.М. Геохимия подземных вод Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. – М.: Недра, 1976. – 160 с.
17. Матусевич В.М., Абдрашитова Р.Н., Яковлева Т.Ю. Крупнейшие геодинамические водонапорные системы Западно-Сибирского мегабассейна // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-6. С. 1400–1407. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34776> (дата обращения 15.02.2025).
18. Посохов Е.В., Толстихин Н.И. Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические). – Л.: Недра, 1977. – 240 с.
19. ОСТ 41-05-263-86. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. Издание официальное. Утвержден приказом Министерства геологии СССР от 12.05.1986 № 239. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. – 10 с.
20. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
21. Geochemical groundwater peculiarities of Paleogene sediments in S-E Western Siberia artesian basin / A.A. Balobanenko, V.L. Gotin, E.M. Dutova, D.S. Pokrovsky, A.N. Nikitenkov, I.V. Raduk // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – № 43. – P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/43/1/012030>
22. Александров А.С., Семенова Т.В., Бешенцев В.А., Воробьева С.В. Гидроминеральные ресурсы Тобольского района Тюменской области // Известия УГГУ. – 2024. – № 2 (74). – С. 75–83. DOI: <https://iuggu.ru/download/2024/2/007.pdf>
23. Александров, А.С. Бешенцев В.А., Альжанова А.С. Оценка радиационной безопасности в водных экосистемах, сформированных самоизливающимися скважинами (на примере водотока: скважина № 36-РГ - ручей - р. Аремзянка) // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2023. – № 5. – С. 11–20. DOI: <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2023-5-11-20>
24. Hydrochemical and isotopic characterization of groundwater in the southeastern part of the Plateaux Region, Togo / V.A. Kossitse, P.R. Shive, M. Gnazou, T. Lallébila // Hydrological Sciences Journal. – 2019. – № 64 (8). – С. 983 – 1000. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1615067>
25. Microbial effects on mineral–radionuclide interactions and radionuclide solid-phase capture processes / D.R. Brookshaw, R.A.D. Patrick, J.R. Lloyd, D.J. Vaughan // Mineralogical Magazine. – 2012. – Vol. 76 (3). – P. 777–806. DOI: <https://doi.org/10.1180/minmag.2012.076.3.25>
26. Бахур А.Е. Радиоактивность природных вод // АНРИ. – 1996/97. – № 2. – С. 32–39.
27. Александров Ю.А. Основы радиационной экологии. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т., 2007. – 268 с.
28. Natural radionuclides in bottled mineral waters consumed in Turkey and their contribution to radiation dose / A. Altıkulaç, A. Kumaz, S. Turhan, M. Kutucu // ACS Omega. – 2022. – № 7. – P. 34428–34435. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04087>
29. Qingshan Ma, Weiya Ge, Fujin Tian. Geochemical characteristics and controlling factors of chemical composition of groundwater in a part of the nanchang section of Ganfu Plain // Sustainability. – 2022. – Vol. 14. – 7976. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14137976>
30. Лебедев В.А., Карабута В.С. Проблемы обеспечения радиационной безопасности в нефтедобывающей промышленности России // Молодой учёный. – 2016. – № 1 (105). – С. 257–261.

31. Обеспечение радиационной безопасности при обращении с производственными отходами с повышенным содержанием природных радионуклидов на объектах нефтегазового комплекса Российской Федерации. СанПиН 2.6.6.1169-02. – М.: Минздрав России, 2002. – 84 с.

Информация об авторах

Андрей Сергеевич Александров, старший преподаватель кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, asaleksandrov1991@gmail.com

Владимир Анатольевич Бешенцев, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, beshentsevva@tyiu.ru

Пonomarev Андрей Александрович, старший преподаватель кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, ponomarev94@mail.ru

Поступила в редакцию: 06.03.2025

Поступила после рецензирования: 22.04.2025

Принята к публикации: 16.09.2025

REFERENCES

1. Elango L., Kannan R. Chapter 11 Rock–water interaction and its control on chemical composition of groundwater. *Developments in Environmental Science*, 2007, no. 5, pp. 229–243. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-8177\(07\)05011-5](https://doi.org/10.1016/S1474-8177(07)05011-5)
2. *Report on the results of exploration work on the object "Inventory and determination of the condition of wells for fresh and mineral water drilled in the southern part of the Tyumen region."* Tyumen, Report of the Tyumengeomonitoring Territorial Center Publ., 2008. 221 p. (In Russ.)
3. Petrov S.A., Mamaeva N. Assessment of reserves of mineral water's geothermal sources in the south of Tyumen region. *Voprosy Kurortologii Fizioterapii i Lechebnoy Fizicheskoy Kultury*, 2023, no. 100 (3), pp. 46–50. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17116/kurort202310003146>
4. Novikov D.A. Geochemistry of underground waters of oil and gas bearing deposits of the northern regions of sedimentary basins of Siberia. *Oil and Gas Business*, 2015, no. 5, pp. 106–149. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17122/ogbus-2015-5-106-149>
5. Starkov V.D., Tyulkova L.A. *Geological history and mineral resources of the Tyumen land*. Tyumen, IPP "Tyumen" Publ., 1996. 190 p. (In Russ.)
6. Gudkovskikh M.V. Aesthetic assessment of thermal springs of the Tyumen region. *Geographical Bulletin*, 2021, no. 4 (59), pp. 161–179. (In Russ.) DOI: <https://cyberleninka.ru/article/n/esteticheskaya-otsenka-termalnyh-istochnikov-tyumenskoj-oblasti/viewer>
7. Dabiev D.F. On the quantitative assessment of the border regions of Siberia with predominantly mineral resource potential. *Fundamental Research*, 2022, no. 10 (part 2), pp. 180–186 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17513/fr.43363>
8. Abdrashitova R.N., Semenova T.V., Kadyrov M.A., Vorobyeva S.V. Hydrogeochemical conditions of the Lower-Middle Jurassic complex, the Em-Egovsky oil field. *News of Higher Educational Institutions*, 2022, no. 8 (7675) pp. 1–14. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.1080/24749508.2022.2158548>
9. Salmikova Yu.I., Beshentsev V.A. Hydrogeochemical conditions of the Mesozoic hydrogeological basin within the Ravninnoe oil field. *Oil and Gas Studies*, 2022, no. 3, pp. 38–56. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2022-3-38-56>
10. Law S. Hydrothermal water-rock reaction modeling with microbial considerations: rabbit creek area, yellowstone national park. *Digital Commons, sharing and preserving the creative works of the Montana Tech Community*, 2018. Available at: https://digitalcommons.mtech.edu/grad_rschr/181 (accessed 15 February 2025).
11. Young H.W., Lewis R.E. Hydrology and geochemistry of thermal ground water in southwestern Idaho and north-central Nevada. *Geological Survey*. Washington, DC (USA), 1980. 57 p. DOI: <https://doi.org/10.3133/PP1044J>
12. Lukyanenko E.A., Kuzmina N.G., Burdak D.V. Hydrogeological characteristics and analysis of the compatibility of disposal and formation water at the field N in Western Siberia. *Proceedings of Higher Educational Institutions*, 2024, no. 2, pp. 11–24. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2024-2-11-24>
13. Chernykh A.V. Aqueous dispersion halos of hydrocarbon deposits within the Southern regions of West Siberia. *Journal of Physics Conference*, 2019, series 1172:012032. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1172/1/012032>
14. *Mineral Waters. Tyumen Branch of the Federal State Institution "Federal Service for State Registration, Cadastral Records and Cartography for the Ural Federal District"*. (In Russ.) Available at: tmntfgi72.ru/mineralinie_vodi (accessed 10 February 2025).
15. *Atlas of lithological and paleographic maps of the Jurassic and Cretaceous periods of the West Siberian Plain on a scale of 1:5000000*. Ed. by I.I. Nesterov. Tyumen, ZapSibSHTTP Publ., 1976. 87 p. (In Russ.)
16. Matusevich V.M. *Geochemistry of underground waters of the West Siberian oil and gas basin*. Moscow, Nedra Publ., 1976. 160 p. (In Russ.)
17. Matusevich V.M., Abdrashitova R.N., Yakovleva T.Y. The largest geodynamic water pressure systems of the West Siberian megabasin. *Fundamental Research*, 2014, no. 8-6, pp. 1400–1407. (In Russ.) Available at: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34776> (accessed 15 February 2025).
18. Posokhov E.V., Tolstikhin N.I. *Mineral waters (medicinal, industrial, energy)*. Leningrad, Nedra Publ., 1977. 240 p. (In Russ.)
19. OST 41-05-263-86. *The waters are underground. Classification by chemical composition and temperature. The publication is official*. Approved by Order of the Ministry of Geology of the USSR dated 05/12/1986 No. 239. Moscow, VSEGINGEO Publ., 1986. 10 p. (In Russ.)
20. Alekin O.A. *Fundamentals of hydrochemistry*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1970. 444 p. (In Russ.)

21. Balobanenko A.A., Gotin V.L., Dutova E.M., Pokrovsky D.S., Nikitenkov A.N., Raduk I.V. Geochemical groundwater peculiarities of Paleogene sediments in S-E Western Siberia artesian basin. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 43, pp. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/43/1/012030>
22. Alexandrov A.S., Semenova T.V., Beshentsev V.A., Vorobyova S.V. Hydromineral resources of the Tobolsk region of the Tyumen region. *Izvestiya UGGU*, 2024, vol. 2 (74), pp. 75–83. <https://iuggu.ru/download/2024/2/007.pdf> (In Russ.)
23. Alexandrov A.S., Beshentsev V.A., Alzhanova A.S. Assessment of radiation safety in aquatic ecosystems formed by self-draining wells (using the example of a watercourse: well No. 36-RG - ruchey - Aremzyanka River). *News of higher educational institutions. Oil and gas*, 2023, no. 5, pp. 11–20. DOI: <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2023-5-11-20> (In Russ.)
24. Kossitse V.A., Shive P.R., Gnazou M., Lallébila T. Hydrochemical and isotopic characterization of groundwater in the southeastern part of the Plateaux Region, Togo. *Hydrological Sciences Journal*, 2019, no. 64 (2). DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1615067>
25. Brookshaw D.R., Patrick R.A.D., Lloyd J.R., Vaughan D.J. Microbial effects on mineral–radionuclide interactions and radionuclide solid-phase capture processes. *Mineralogical Magazine*, 2012, vol. 76 (3). pp. 777–806. DOI: <https://doi.org/10.1180/minmag.2012.076.3.25>
26. Bakhur A.E. Radioactivity of natural waters. *ANRY*, 1996/97, no. 2, pp. 32–39. (In Russ.)
27. Alexandrov Yu.A. *Fundamentals of radiation ecology*. Yoshkar-Ola, Mar. State University Publ., 2007. 268 p. (In Russ.)
28. Altıkulaç A., Kurnaz A., Turhan S., Kutucu M. Natural radionuclides in bottled mineral waters consumed in Turkey and their contribution to radiation dose. *ACS Omega*, 2022, no. 7, pp. 34428–34435. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04087>
29. Qingshan Ma, Weiya Ge, Fujin Tian. Geochemical characteristics and controlling factors of chemical composition of groundwater in a part of the Nanchang Section of Ganfu Plain. *Sustainability*, 2022, no. 14 (13), 7976. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14137976>
30. Lebedev V.A., Karabuta V.S. Problems of radiation safety in the Russian oil industry. *Young scientist*, 2016, no. 1 (105), pp. 257–261. (In Russ.)
31. *Ensuring radiation safety in the management of industrial waste with a high content of natural radionuclides at the facilities of the oil and gas complex of the Russian Federation*. SanPiN 2.6.6.1169-02. Moscow, Ministry of Health of Russia Publ., 2002. 84 p. (In Russ.)

Information about the authors

Andrey S. Aleksandrov, Senior Lecturer, Tyumen Industrial University, 38, Volodarsky street, Tyumen, 625000, Russian Federation, asaleksandrov1991@gmail.com

Vladimir A. Beshentsev, Dr. Sc., Professor, Tyumen Industrial University, 38, Volodarsky street, Tyumen, 625000, Russian Federation, beshentsevva@tyiu.ru

Andrey A. Ponomarev, Senior Lecturer, Tyumen Industrial University, 38, Volodarsky street, Tyumen, 625000, Russian Federation, ponomarev94@mail.ru

Received: 06.03.2025

Revised: 22.04.2025

Accepted: 16.09.2025