

Научная статья / Original research article

УДК 556.3(540.4)

DOI: <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2026-4-27-40>

EDN: XJVRWK



Трансформация геохимического облика пресных подземных вод Хуготского месторождения Западной Сибири

М. В. Вашурина, А. Г. Плавник, Ю. В. Гуляева*, П. А. Фоминцева

*Западно-Сибирский филиал института нефтегазовой геологии и геофизики
им. А. А. Трофимука СО РАН, Тюмень, Российская Федерация*

**bespalova_y@mail.ru*

Аннотация. Предпосылки исследования обусловлены необходимостью контроля качества подземных вод Хуготского месторождения, используемых для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения: многолетняя эксплуатация водозабора влияет на геохимический состав вод атлымского горизонта. Цель работы — оценить пространственно-временную динамику состава вод и выявить причины трансформации. Задачи включают сопоставление макрокомпонентного состава проб, отобранных на этапе освоения и в современный период эксплуатации, классификацию типов вод с помощью диаграммы Пайпера, а также выявление закономерностей изменения ионного состава и сопутствующих процессов. Основным методом исследования — гидрогеохимический анализ проб с интерпретацией диаграммы Пайпера. Результаты показали смену преобладающего типа вод: доля проб с доминированием сульфат-ионов возросла с 17 % до 100 %, установился сульфатно-натриевый тип; катионный состав (кальций, магний) остался стабильным. Диагностирован процесс осаждения гипса. Практическая значимость состоит в возможности использовать полученные данные для оптимизации эксплуатации водозабора, прогнозирования качества вод и разработки мер по охране водных ресурсов месторождения.

Ключевые слова: пресные подземные воды, трансформация, химический состав, тип воды, сульфатно-натриевый, диаграмма Пайпера, катионы, анионы, экзогенный, эндогенный

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ №FWZZ-2026-0047 в рамках НИР СО РАН.

Для цитирования: Вашурина М. В., Плавник А. Г., Гуляева Ю. В., Фоминцева П. А. Трансформация геохимического облика пресных подземных вод Хуготского месторождения Западной Сибири. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ.* 2026;30(4):27–40. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2026-4-27-40> EDN: XJVRWK

Transformation of the geochemical appearance of fresh groundwater of the Khugotsky field in Western Siberia

Margarita V. Vashurina, Andrey G. Plavnik, Yulia V. Gulyaeva*, Polina A. Fomintseva

West Siberian Branch of the A. A. Trofimuk Institute of Oil and Gas Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russian Federation

**bespalova_y@mail.ru*

Abstract. The atlum aquifer is used for drinking and domestic water supply at the Khugot freshwater. This study is motivated by the need to monitor groundwater quality in the Khugot field intended for drinking and domestic water supply. The long-term operation of the water intake can alter the geochemical composition of the Atlym aquifer water. The aim of this article is to evaluate both the temporal and spatial changes in groundwater composition and identify the factors of its transformation. The objectives include comparing the major ion composition of water samples collected during the development stage with those from current operating period, classifying water types using the Piper diagram, and identifying patterns of ionic composition changes and associated processes. The main method is hydrogeochemical analysis of groundwater samples combined with the interpretations from the Piper diagram. The results show a shift in the prevailing groundwater type. The proportion of samples dominated by sulfate ions increased from 17 % to 100 %, leading to the establishment of a sulfate sodium type; the cation composition (calcium, magnesium) remained stable. Additionally, ongoing gypsum precipitation is diagnosed. The obtained data can be used to optimize groundwater intake operation, predict groundwater quality, and contribute to the development of effective groundwater protection measures. This is where the practical value of the study lies.

Keywords: fresh groundwater, transformation, chemical composition, water type, sulfate-sodium, Piper diagram, cations, anions, exogenous factors, endogenous factors

Acknowledgments: This study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under Project No. FWZZ-2026-0047 within the research program of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

For citation: Vashurina M. V., Plavnik A. G., Gulyaeva Yu. V., Fomintseva P. A. Transformation of the geochemical appearance of fresh groundwater of the Khugotsky deposit in Western Siberia. *Oil and Gas Studies*. 2026;30(4):27–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2026-4-27-40>

Введение

Целью данного исследования является оценка пространственно-временного изменения геохимического облика пресных подземных вод (ПВ) с установлением влияющих факторов. Определены следующие задачи: сопоставить результаты анализа макрокомпонентного состава вод и сухого остатка в естественном или малонарушенном (при освоении) и нарушенном (при интенсивной эксплуатации) состоянии; установить тип вод по В. А. Сулину; произвести графо-аналитический анализ диаграммы Пайпера; проанализировать возможные причины изменения геохимического облика вод.

Действующий городской водозабор Хуготского месторождения пресных подземных вод (МППВ) расположен в Октябрьском муниципальном районе Ханты-Мансийского автономного округа — Югры (ХМАО), на территории Краснотинского месторождения, в 21 километре на юго-восток от города Нягань (рис. 1). Для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения на участке недр используется атлымский водоносный горизонт, приуроченный к олигоценным отложениям. Гидрогеологическая изученность территории исследований оценивается как достаточно высокая. На протяжении многих десятилетий здесь прово-

дились научно-исследовательские работы как регионального, так и локального характера [1, 2].

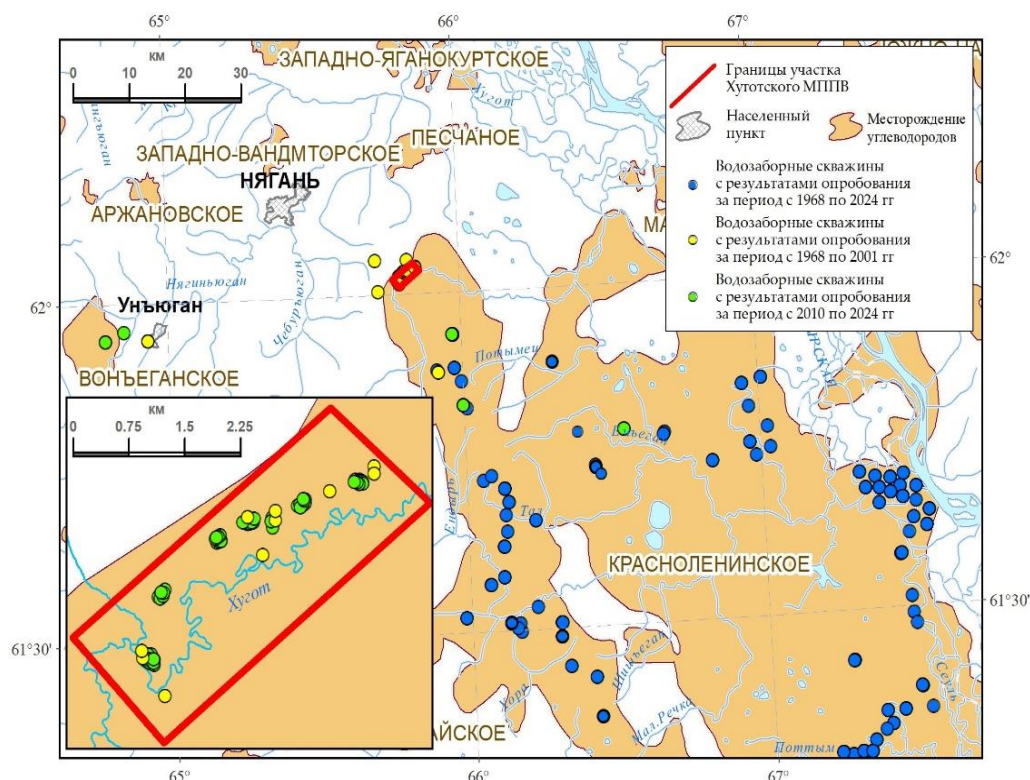


Рис. 1. Обзорная карта района исследований (1:100 000)
Fig. 1. Overview map of the study area (1:100 000)

Особенностью геологического строения Хуготского МППВ является наличие в разрезе приповерхностных складчатых дислокаций. Они образованы в результате неотектонических процессов — складчатости нагнетания кровли тавдинских глин диапирового характера. Спецификой сложенной преимущественно песками с редкими маломощными (до первых метров) прослоями глин атлымской свиты изучаемого района исследований выступают выходы ее на дневную поверхность в виде узкой полосы на эрозионных склонах долины реки Хугот. Пески, сложенные атлымской свитой, образуют складки облекания, генетически связанные с диапирами тавдинских глин. В районе исследований верхняя часть осадочного чехла до глубины 200 м сложена рыхлыми образованиями континентальной олигоцен-четвертичной толщи. В результате геологической особенности мощность свиты на участке Хуготского МППВ подвержена резким изменениям от 100 м и более в понижениях кровли тавдинских глин до 10 м на сводах отдельных положительных структур.

В гидрогеологическом отношении Хуготское МППВ расположено в центральной части Западно-Сибирского мегабассейна (структура I по-

рядка) пластовых безнапорных и напорных вод и относится к Средне-Обскому бассейну стока подземных вод II порядка [2]. По химическому составу ПВ характеризуются как гидрокарбонатно-сульфатные, ультрапресные и пресные (минерализация 40–240 мг/дм³), по классификации О. А. Алекина изменяются от очень мягких до мягких (общая жесткость 0,1–3,1 мг-экв/дм³), по величине водородного показателя от слабо кислых до околонеutralных (рН 5,10–6,90).

Объект и методика исследований

На Хуготском МППВ эксплуатируется средняя и нижняя часть атлымского водоносного горизонта, глубина кровли которого составляет 6–18 м, общая мощность изменяется в широких пределах от 30 до 111 м. Водовмещающие породы представлены средне- и мелкозернистыми песками. В придолинной части реки Хугот подземный поток имеет грунтовый характер, режим ПВ горизонта характеризуется как слабонапорный. Подстилается горизонт толщей глин тавдинской свиты, выполняющей роль надежного регионального водоупора.

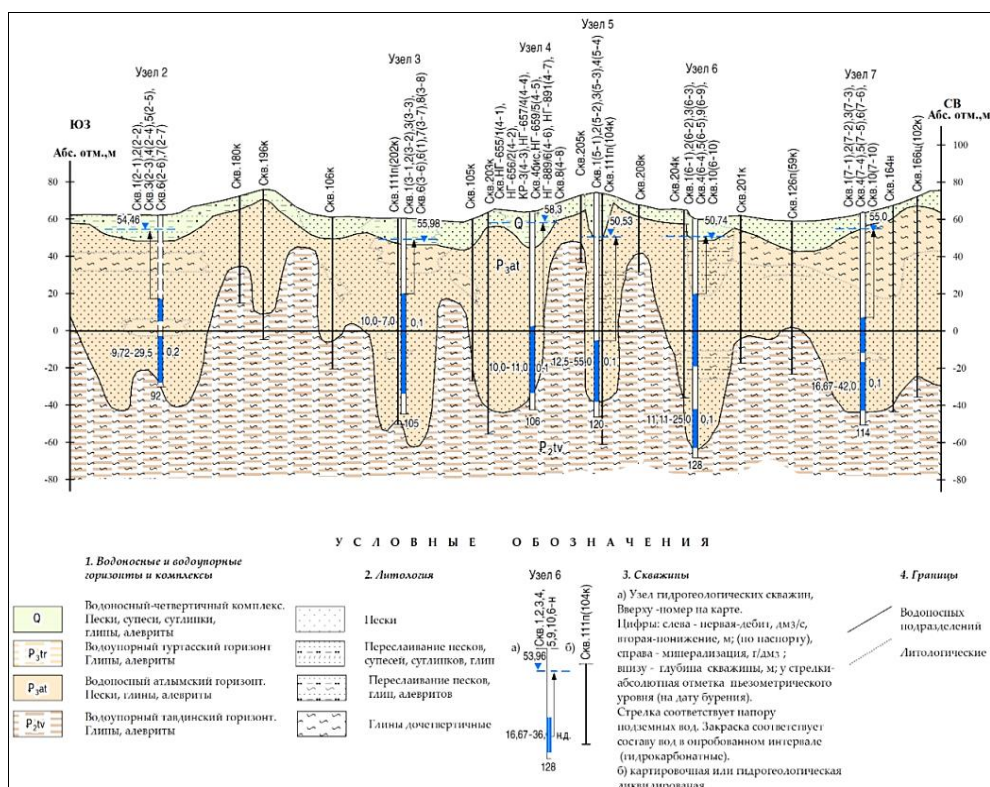


Рис. 2. Схематический гидрогеологический разрез исследуемого участка.

Масштабы: горизонтальный 1 : 15 000, вертикальный 1 : 2 000

Fig. 2. Schematic hydrogeological section of the study area. Horizontal scale: 1:15,000; vertical scale: 1:2,000

Питание ПВ горизонта на водоразделах осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, а также перетекания из вышележащих четвертичных отложений. Разгрузка выполняется путем восходящей фильтрации в русла рек.

Методы проведенных исследований заключаются в широко используемой ретроспективной оценке и сборе информации, ее анализе и систематизации, классификации, сопоставлении изменения значений макрокомпонентного состава ПВ, интерпретации полученных результатов.

Пробы воды отбираются с эксплуатационных скважин, пробуренных на атлымский водоносный горизонт согласно ГОСТ 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб». Химический анализ выполнен в аккредитованной лаборатории физико-химических методов исследований Западно-Сибирского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А. А. Трофимука. Анализ полученных данных регламентирован в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» и СП 2.1.5.1059-01 «Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения», классификация воды проведена по ОСТ 41-05-263-86 «Классификация по химическому составу».

Сульфаты определены в пресных ПВ согласно ГОСТ 31940-2012, метод 3 турбидиметрии в диапазоне измерений от 2 до 50 мг/дм³, а также по методу ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18 капиллярного электрофореза на приборе «Капель — 205», с максимальным возможным диапазоном длин волн 190–380 нм, увеличенным автосемплером, что расширяет возможности применения метода.

Обработка исходных данных проводится с использованием методов математической статистики, которая включает расчет минимальных, максимальных и средних значений показателей, стандартного отклонения, коэффициента вариации, выбора интервалов группирования значений показателей. Применяются специальные гидрогеологические методы обработки данных, заключающиеся в определении типов вод, построении схем и диаграммы Пайпера [3]. Этот подход к обобщению и систематизации гидрохимической информации является стандартным и успешно применяется в различных регионах нашей страны и Республики Казахстан [4–7]. Методика исследований апробирована ранее на смежных территориях [8–10].

Лабораторный контроль за качеством питьевой воды подземного Хуготского водозабора обеспечивается аналитической лабораторией по контролю питьевой, природной и сточной вод муниципального казенного предприятия «Няганская ресурсоснабжающая компания», в соответствии с графиками, согласованными с Территориальным отделом управления Роспотребнадзора по ХМАО-Югре в г. Нягани и Октябрьском районе.

Гидрогеохимический анализ качества ПВ атлымского водоносного горизонта описан по результатам химических анализов 167 проб. Период

начала эксплуатации водоносного горизонта с 1968 по 2001 гг. (48 проб) принят за *природный* фон (ненарушенный, естественный химический состав ПВ), из которых 38 проб отобраны на Хуготском водозаборе, 7 — на водозаборе в городе Уньюган, 3 — на Краснотенинском месторождении. *Современный* период эксплуатации (техногенное, нарушенное состояние химического состава) обозначен временным отрезком с 2010 по 2024 гг. (119 проб), из которых 69 проб отобраны на Хуготском водозаборе, 21 проба — водозабор в городе Уньюган, 29 проб — на Краснотенинском месторождении.

В таблице 1 приведены результаты статистической обработки данных основных компонентов геохимического облика пресных ПВ в изучаемом районе фоновых значений (начальный период) и техногенных (современный период).

Таблица 1. Показатели химического состава пресных подземных вод в изучаемом районе
Table 1. The chemical composition of fresh groundwater in the study area

Период эксплуатации	Содержание, мг/дм ³	min	max	Среднее значение, мг/дм ³	Стандартное отклонение, D, мг/дм ³	К-т вариации, %
Начальный	Сухой остаток	23,4	500,0	143,40	125,9	88
Современный		72,0	292,0	164,50	46,7	28
Начальный	Ca ²⁺	2,0	76,2	19,17	22,2	116
Современный		5,5	63,2	20,26	14,8	73
Начальный	Mg ²⁺	0,9	31,6	8,62	8,4	97
Современный		2,0	18,2	8,77	4,7	54
Начальный	Na ⁺ +K ⁺	0,9	71,0	16,02	19,3	120
Современный		3,8	23,6	13,23	5,7	43
Начальный	HCO ₃ ⁻	24,4	396,5	111,10	110,3	99
Современный		6,1	274,5	142,53	79,1	56
Начальный	Cl ⁻	2,3	263,0	20,39	54,6	268
Современный		0,3	45,0	3,96	7,7	194
Начальный	SO ₄ ⁻	0,0	8,2	2,57	2,4	93
Современный		0,3	159,5	26,72	25,9	97

Результаты и обсуждение

При анализе изменения содержания показателей в таблице 1 в каждом периоде наблюдений отмечается высокий коэффициент вариации 28–268 %. Данные по сухому остатку, содержанию хлоридов (отличие в 160 раз) и сульфатов (отличие в 514 раз) фиксируют максимальный размах значений. Фоновые значения характеризуются минимальным содержанием сульфат-ионов до 8,2 мг/дм³, в техногенном периоде отмечаются его

максимальные концентрации — 159,5 мг/дм³. При этом средние значения по таким анализируемым показателям, как сухой остаток, содержание суммы кальция и магния, гидрокарбоната близки в различные периоды наблюдений.

Рисунок 3 наглядно показывает сокращение процентного содержания проб со значением сухого остатка группировки менее 100 мг/дм³ с 50 % до полного ее отсутствия в современном периоде. Наблюдаемая динамика содержания сухого остатка свидетельствует о перераспределении минерализации подземных вод: зафиксировано формирование доминирующего интервала 100–200 мг/дм³ при снижении доли высокоминерализованных проб (> 200 мг/дм³) почти в 3 раза, что может быть обусловлено усилением инфильтрационного питания водоносного горизонта.

Рисунок 4 демонстрирует нехарактерное появление в современном периоде однородного состава сульфатного типа вод (17 против 0 %).



Рис. 3. Концентрации сухого остатка в подземных водах
Fig. 3. Total dissolved solids in groundwater

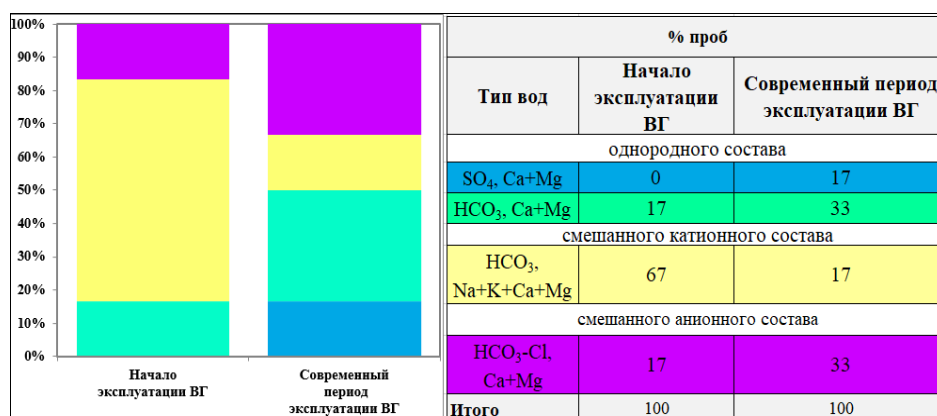


Рис. 4. Разнотипность вод по ионному составу
Fig. 4. Groundwater classification based on ionic composition

С целью анализа генезиса и установления химических процессов, происходящих в водах атлымского водоносного горизонта в современный период, построена диаграмма Пайпера (рис. 5). Представляющий собой две тригонометрии, спроецированные на ромб [11–13], рисунок демонстрирует, что воды Хуготского МППВ относятся к зоне свободного водообмена, являются гипсовыми, а их формирование соответствует континентальной обстановке (зона сгущения в верхнем углу ромба). Тип вод в современный период эксплуатации в основном сульфатно-натриевый, реже встречаются пробы гидрокарбонатно-натриевого типа (2 пробы в левом углу ромба) и одна — хлоридно-магниевого. В катионном составе воды стабильны — кальциево-магниевые, с преобладанием сульфат-ионов в анионном составе. Происходит процесс осаждения гипса.

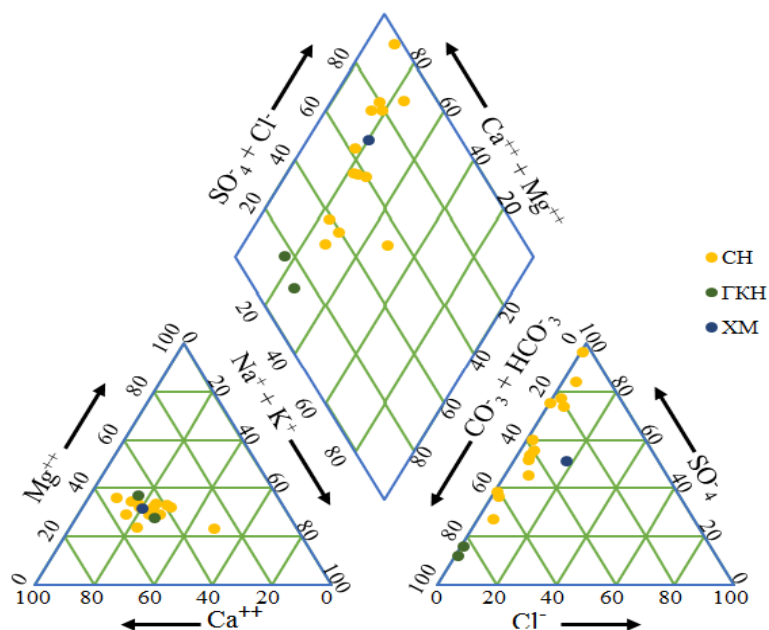


Рис. 5. Химический состав подземных вод Хуготского месторождения на диаграмме Пайпера

Fig. 5. Chemical composition of the underground waters of the Khugotskoye deposit on the Piper diagram

Подземные воды, с преобладанием сульфат-ионов в химическом составе, как правило, нехарактерны для территории Западно-Сибирского мегабассейна. Возможные причины выявленного изменения геохимического облика две: экзогенные и эндогенные.

Экзогенные (техногенные):

1. В гидродинамическом отношении ПВ олигоценых отложений, расположенные в верхней части разреза, приурочены к зоне интенсивного водообмена. Соответственно формирование пресных вод обуслов-

лено поверхностной гидросферой и рельефом. Одной из причин может быть сброс загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты. Так, например, с 1994 по 1996 год увеличивалась масса сброса сульфатов с 970 до 1 380 т [11]. Учитывая, что питание ПВ атлымского водоносного горизонта происходит в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков, возможно просачивание данного загрязнителя в ПВ глубоких горизонтов по литологическим окнам. Также благоприятным способом попадания загрязнений сверху является факт недостаточной защищенности вод атлымского ВГ вследствие небольшой мощности слабопроницаемых отложений четвертичного возраста залегающих с поверхности (2–13 м);

2. К возможным источникам повышения сульфатов «сверху» относится глобальная экологическая проблема — утилизация попутного нефтяного газа путем сжигания. Поступающие в атмосферу продукты сгорания различны и опасны, среди них наиболее показательным в изучаемом вопросе статьи является сернистый ангидрид. В ХМАО, на долю которого приходится 52,6 % всей российской добычи нефти, данная проблема фиксируется особенно остро¹. В жидкой фазе сернистый ангидрид достаточно быстро окисляется в сульфат ион, попадая в воду при протекании через горные породы. Сформированные ионы нестабильны и постоянно образуют новые устойчивые соединения по мере увеличения значения минерализации. Анаэробная среда формирует сульфиды. Выбросы диоксида серы (SO_2) в атмосферу приводят к геоэкологическим кризисам мирового масштаба [15, 16]. Применительно к изучаемой территории, превышения ПДК относительно показателя диоксида серы в атмосфере отмечаются в 2020 году компанией АО «РН-Няганьнефтегаз» на Каменном месторождении (западная часть) ($0,51 \text{ мг/м}^3$) [17].

Данное месторождение расположено в районе 100 километров от Хуготского МППВ и не исключает его внешнего воздействия на гидросферу.

Эндогенные (природные):

1. Появлению сульфатов в ПВ способствуют сульфатовосстанавливающие бактерии. Однако, по данным микробиологических анализов, в пробах пресных ПВ в районе Хуготского месторождения они в основном отсутствуют.

2. В геологическом строении изучаемого участка присутствуют природные кристаллы гипса, которые относятся к минералу класса сульфатов, характеризуются в преобладающем составе гидросульфат кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), образуются путем осаждения сульфата кальция на стадиях протокатагенеза при катагенной доломитизации известняков [18, 19].

Ранее в работе [20] отмечены в ПВ комплекса единичные пробы сульфатного состава. Возможно, при преимущественно напорной вертикальной фильтрации воды через засоленные, загипсованные глины неогена в результате диффузионных процессов и обменной адсорбции ионы

¹ Не успели — раскошеливайтесь. Нефтяники заплатят 14 млн рублей за сжигание попутного газа. URL: <https://mksun.fm/news/2012-03-19/ne-uspeli-raskoshelivaytes-neftyaniki-zaplatyat-14-mln-rubley-za-szhiganie-poputnogo-gaza-407964>

сульфатов и хлора попадают и локализуются в ПВ палеогенового и мелового комплексов [20].

Практическая значимость изучаемого вопроса заключается в обеспечении чистой питьевой водой населения.

Выводы

1. Зафиксировано нехарактерное появление в современном периоде однородного состава сульфатного типа вод (17 % против 0 %).

2. Отмечается смена типа вод с гидрокарбонатно-натриевого на сульфатно-натриевый. Появлению сульфат-ионов в водах атлымского водоносного горизонта способствуют в совокупности экзогенные и эндогенные факторы природного и техногенного генезисов.

3. Предопределяющим фактором геохимического облика является геологическая особенность изучаемого района — выходы атлымского водоносного горизонта на поверхность, наличие гипсовых пород в разрезе. Проникновение сверху продуктов сгорания, сброс сульфатов в поверхностные воды дополняют наблюдаемую геохимическую картину, ее сложность.

С целью подтверждения впервые выявленной трансформации гидро-геохимического поля необходимо проводить ежегодный мониторинг Хуготского месторождения пресных подземных вод.

Вклад авторов

Вашурина М. В.: разработка концепции; проведение исследования; формулирование идеи, гипотезы; курирование данных; предоставление ресурсов; научное руководство.

Плавник А. Г.: административное руководство исследовательским проектом; разработка программного обеспечения; научное руководство; научное редактирование; валидация результатов.

Гуляева Ю. В.: сбор и анализ материалов; формальный анализ; проведение исследования; визуализация; написание статьи — рецензирование и редактирование.

Фоминцева П. А.: сбор и анализ материалов; формальный анализ; проведение исследования; визуализация; создание иллюстраций; написание черновика рукописи.

Authors' contributions

Margarita V. Vashurina: conceptualization; study; formulation of idea and hypothesis; data curation; providing resources; scientific supervision.

Andrey G. Plavnik: administration of study project; software development; scientific supervision; scientific editing; results validation.

Yulia V. Gulyaeva: collection and analysis of study materials; formal analysis; study; visualization; writing — review and editing.

Polina A. Fomintseva: collection and analysis of study materials; formal analysis; study; visualization; creating illustrations; writing — original draft.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Список источников

1. Курчиков А. Р., Козырев В. И. Особенности эксплуатации подземных вод атлымского горизонта в западной части Западно-Сибирского мегабассейна (на примере Хуготского месторождения пресных подземных вод). *Академический журнал Западной Сибири*. 2016;12(3):27–29. URL: <https://sciup.org/140219329>
2. Смоленцев Ю. К., Кусковский В. С. Особенности формирования подземных вод зоны гипергенеза Западно-Сибирской плиты. *Подземные воды юга Западной Сибири (формирование и проблемы рационального использования)*. Труды института геологии и геофизики Сибирского отделения АН СССР. Выпуск 683. Новосибирск: Наука; 1987. С. 3–65.
3. Пайпер А. М. Графическая процедура геохимической интерпретации анализов воды. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 1944;25(6):914–928. <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>
4. Горюхин М. В. Особенности химического состава подземных вод на территории Еврейской автономной области. *Разведка и охрана недр*. 2014;(11):38–42.
5. Комлев А. Е. Анионный состав подземных вод Алтайского края. *Известия АлтГУ*. 2010;3(67):99–103. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/anionnyy-sostav-podzemnyh-vod-altayskogo-kрая>
6. Мусин Р. Х., Галиева А. Р., Хамитов А. Д. Особенности трансформации во времени состава пресных подземных вод в Республике Татарстан. *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки*. 2023;165(3):427–446. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.3.427-446>
7. Сейтхазиев Е. Ш., Сарсенбеков Н. Д. Интерпретация результатов геохимических исследований нефти и воды на примере одного месторождения (Республика Казахстан). *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2020;15(3). https://doi.org/10.17353/2070-5379/29_2020
8. Вашурина М. В., Русакова Ю. О., Храмцова А. Л. Макрокомпонентный состав пресных подземных вод в естественном и нарушенном состоянии на территории Вартовского нефтегазоносного района. В сб.: *Подземная гидросфера: Материалы XXIII Всероссийского совещания по подземным водам востока России с международным участием*. Иркутск, 20–26 июня 2021 года. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2021. С. 316–320. URL: <https://doi.org/10.52619/978-5-9908560-9-7-2021-23-1-316-320>
9. Вашурина М. В., Русакова Ю. О., Храмцова А. Л. Изучение состояния пресных подземных вод в условиях освоения нефтяных месторождений юго-западной части Томской области. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 2020;(8):64–73. [https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-8\(344\)-64-73](https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-8(344)-64-73)
10. Вашурина М. В., Русакова Ю. О., Храмцова А. Л. Химический состав пресных подземных вод в естественном и нарушенном состоянии на территории центральной части Вартовского нефтегазоносного района. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 2020;4(3):58–64. [https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-4\(340\)-58-64](https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-4(340)-58-64)
11. Hounslow A. *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. CRC Press, 1995. 416 p.
12. Нохрин Д. Ю., Давыдова Н. А. Гидрохимическая характеристика и качество подземных вод Сосновского района Челябинской области для целей орошения. *Аграрный вестник Урала. Специальный выпуск «Биология и биотехнологии»*. 2020;(14):56–69. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-14-56-69>

13. Zhang M., Chen L., Hou X., Hu Y., Zhang Y., Cai X. Determination of spatiotemporal variations and mixed patterns for a multi-aquifer system in the Sulin mining area based on analyses of hydrochemical and isotopic characteristics. *Journal of Geochemical Exploration*. 2024;(266):107561.
14. *О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 1996 году*. Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. Государственный комитет по охране окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа. Ханты-Мансийск. 1997. URL: <https://textarchive.ru/c-1585838-pall.html>
15. Zhong Q., Shen H., Yun X., Chen Y., Ren Y. A., Xu H. et al. Global Sulfur Dioxide Emissions and the Driving Forces. *Environmental Science & Technology*. 2020;54(11):6508–6517. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07696>
16. Likus-Cieřlik J., Socha J., Gruba P., Pietrzykowski M. The current state of environmental pollution with sulfur dioxide (SO₂) in Poland based on sulfur concentration in Scots pine needles. *Environmental pollution*. 2020;(258):113559. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113559>
17. *Об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2020 году*. Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа. Ханты-Мансийск. 2021. 184 с. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/>
18. Матусевич В. М., Ковяткина Л. А. Нефтегазовая гидрогеология: учебное пособие Часть 1. *Теоретические основы нефтегазовой гидрогеологии*. Тюмень: ТюмГНГУ; 2010. 116 с.
19. Матусевич В. М., Ковяткина Л. А. *Нефтегазовая гидрогеология*. Тюмень: ТюмГНГУ; 2010. 108 с.
20. *Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна*. Сост.: И. М. Земскова, Ю. К. Смоленцев, М. П. Полканов [и др.]. Москва: Недра; 1991. 262 с.

1. Kurchikov A. R., Kozyrev V. I. Features of groundwater exploitation of the Atlymsky horizon in the western part of the West Siberian megabasin (on the example of the Khugotsky freshwater deposit). *Academic Journal of Western Siberia*. 2016;12(3):27–29. (In Russ.). URL: <https://sciup.org/140219329>
2. Smolentsev Yu. K., Kuskovsky V. S. Features of formation of groundwater in the hypergenesis zone of the West Siberian Plate. Transactions of the Institute of Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences: issue 683. Groundwater in the south of Western Siberia (formation and problems of rational use). Novosibirsk: Nauka; 1987. P. 3-65. (In Russ.).
3. Piper A. M. A graphical procedure for the geochemical interpretation of water analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 1944;25(6):914–928. <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>
4. Goryukhin M.V. Features of the chemical composition of groundwater in the Jewish Autonomous Region. *Exploration and protection of mineral resources*. 2014;(11):38–42. (In Russ.).
5. Komlev A. E. Anionic composition of groundwater in the Altai Territory. *Bulletin of Altai State University*. 2010;3(67):99–103. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/anionnyy-sostav-podzemnyh-vod-altavskogo-kraya>

6. Musin R. Kh., Galieva A. R., Khamitov A. D. Features of transformation over time of the composition of fresh groundwater in the Republic of Tatarstan. *Scientific notes of Kazan University. Series Natural sciences*. 2023;165(3):427–446. (In Russ.). <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.3.427-446>
7. Seytkhaziev E. Sh., Sarsenbekov N. D. Interpretation of the results of geochemical studies of oil and water on the example of one field (Republic of Kazakhstan). *Oil and Gas Geology. Theory and Practice*. 2020;15(3). (In Russ.). https://doi.org/10.17353/2070-5379/29_2020
8. Vashurina M. V., Rusakova Yu. O., Khramtsova A. L. Macrocomponent composition of fresh groundwater in natural and disturbed states in the territory of the Vartovsky oil and gas region. In: *Underground hydrosphere: Proceedings of the XXIII All-Russian Conference on Groundwater in the East of Russia with International Participation*. Irkutsk, June 20–26, 2021. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2021. P. 316–320. <https://doi.org/10.52619/978-5-9908560-9-7-2021-23-1-316-320> (In Russ.).
9. Vashurina M. V., Rusakova Yu. O., Khramtsova A. L. Study of the state of fresh groundwater in the conditions of development of oil fields in the southwestern part of the Tomsk region. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2020;(8):64–73. (In Russ.). [https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-8\(344\)-64-73](https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-8(344)-64-73)
10. Vashurina M. V., Rusakova Yu. O., Khramtsova A. L. Chemical composition of fresh groundwater in natural and disturbed conditions in the central part of the Vartovsky oil and gas region. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*. 2020;4(3):58–64. (In Russ.). [https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-4\(340\)-58-64](https://doi.org/10.30713/2413-5011-2020-4(340)-58-64)
11. Hounslow A. *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. CRC Press, 1995. 416 p.
12. Nokhrin D. Yu., Davydova N. A. Hydrochemical characteristics and irrigation quality of groundwater in the Sosnovskiy district of the Chelyabinsk region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020. Special issue “Biology and biotechnologies”. 2020;(14):56–69. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-14-56-69>
13. Zhang M., Chen L., Hou X., Hu Y., Zhang J., Zhang Y., Cai X. Determination of spatiotemporal variations and mixed patterns for a multi-aquifer system in the Sulin mining area based on analyses of hydrochemical and isotopic characteristics. *Journal of Geochemical Exploration*. 2024;(266):107561.
14. *On the state of the environment of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug in 1996*. State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection State Committee for Environmental Protection of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug review Khanty-Mansiysk. 1997. URL: <https://textarchive.ru/c-1585838-pall.html> (In Russ.).
15. Zhong Q., Shen H., Yun X., Chen Y., Ren Y. A., Xu H. et al. Global Sulfur Dioxide Emissions and the Driving Forces. *Environmental Science & Technology*. 2020;54(11):6508–6517. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07696>
16. Likus-Cieřlik J., Socha J., Gruba P., Pietrzykowski M. The current state of environmental pollution with sulfur dioxide (SO₂) in Poland based on sulfur concentration in Scots pine needles. *Environmental pollution*. 2020;(258):113559. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113559>
17. *On the environmental situation in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra in 2020*. Service for Control and Supervision of Environmental Protection, Wildlife and Forestry Relations of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. Khanty-Mansiysk. 2021. 184 p. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/>
18. Matusevich V. M., Kovyatkina L. A. Oil and Gas Hydrogeology. Part 1. Theoretical Foundations of Oil and Gas Hydrogeology. Tyumen: TyumGNGU; 2010. 116 p. (In Russ.).

19. Matusevich V. M., Kovyatkina L. A. Oil and gas hydrogeology. Tyumen: TyumGNGU; 2010. (In Russ.).
20. Resources of fresh and low-mineralized groundwater in the southern part of the West Siberian Artesian basin. Comp.: I. M. Zemskova, Yu. K. Smolentsev, M. P. Polkanov [et al.]. Moscow: Nedra; 1991. 262 p. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the authors

Вашурина Маргарита Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Западно-Сибирский филиал института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Тюмень, vashurinamv@ipgg.sbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6945-798X>

Плавник Андрей Гарьевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, директор, Институт геологии нефти и газа им. А. А. Трофимука, Западно-Сибирский филиал Сибирского отделения РАН; г. Тюмень, plavnikag@ipgg.sbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8099-4874>

Гуляева Юлия Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий инженер, Институт геологии нефти и газа им. А. А. Трофимука, Западно-Сибирский филиал Сибирского отделения РАН, г. Тюмень, bespalova_y@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8854-8926>

Фоминцева Полина Алексеевна, техник лаборатории гидрогеологии и геотермии Института геологии нефти и газа им. А. А. Трофимука, Западно-Сибирский филиал Сибирского отделения РАН, г. Тюмень, FomintsevaPA@ipgg.sbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5584-4739>

Margarita V. Vashurina, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS, Tyumen; vashurinamv@ipgg.sbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6945-798X>

Andrey G. Plavnik, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher, Director, Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS, Tyumen; plavnikag@ipgg.sbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8099-4874>

Yulia V. Gulyaeva, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Engineer, Institute of Petroleum Geology and Geophysics. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS, Tyumen; bespalova_y@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8854-8926>

Polina A. Fomintseva, Technician of the Laboratory of Hydrogeology and Geothermy of A. A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, West Siberian Branch of the Siberian Branch of the RAS, Tyumen; FomintsevaPA@ipgg.sbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5584-4739>

Поступила в редакцию / Received 05.03.2026

Поступила после рецензирования / Revised 14.04.2026

Принята к публикации / Accepted 15.04.2026