



УДК 556.3

<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2026.57.91>

Влияние структурно-тектонического фактора на гидрогеохимическую зональность нижне-среднекембрийского водоносного комплекса литвинцевской свиты

Ю. О. Русакова, А. Л. Храмцова*

ООО «РН-Геология Исследования Разработка», г. Тюмень, Россия

Аннотация. Указывается, что подземные воды нижне-среднекембрийского водоносного комплекса литвинцевской свиты на участке исследования в пределах северо-восточной части Верхнеленского артезианского бассейна используются для водоснабжения системы поддержания пластового давления при разработке нефтяных залежей. Актуальность исследования обусловлена необходимостью изучения значимых факторов формирования их химического состава. Цель исследования – установить характер влияния структурно-тектонического фактора на гидрогеохимическую зональность объекта. Методы исследования: подготовка, классификация и кластеризация данных, статистическая характеристика показателей химического состава подземных вод, расчет ионных соотношений, термодинамическое моделирование равновесий подземных вод с основными породообразующими минералами. Приводятся результаты, впервые полученные для рассматриваемого объекта на территории исследования. В Западном тектоническом блоке распространены слабые рассолы хлоридного натриевого состава, в Центральном и Восточном – пресные и слабосоленоватые воды гидрокарбонатного и сульфатного класса кальциевой группы. Установлен рост минерализации подземных вод с глубиной и по направлению потока; в зонах разломов – смешение с глубинными рассолами. В Центральном и Восточном блоках основным гидрогеохимическим процессом является выветривание карбонатных и силикатных пород, в Западном – доминирует растворение каменных солей или подток глубинных вод. Подземные воды объекта перенасыщены кальцитом, в Западном блоке они близки к равновесию по гипсу и бассаниту. Выявленное значительное различие в величине минерализации и ионно-солевом составе подземных вод предполагает раздельный характер эволюции подземных вод по разные стороны западного разлома. Химический состав вод напрямую зависит от их взаимодействия с породами, значимое влияние оказывает структурно-тектонический фактор, который обуславливает формирование гидрогеохимической зональности объекта. Установленные закономерности служат основой для прогноза качества подземных вод. Перспективным направлением является дальнейшее исследование гидрогеохимических процессов, происходящих при формировании подземных вод, и оценка их влияния на технологические параметры разработки нефтяных залежей.

Ключевые слова: структурно-тектонический фактор, водоносный комплекс литвинцевской свиты, Верхнеленский артезианский бассейн.

Для цитирования: Русакова Ю. О., Храмцова А. Л. Влияние структурно-тектонического фактора на гидрогеохимическую зональность нижне-среднекембрийского водоносного комплекса литвинцевской свиты // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2026. Т. 57. С. 91–109. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2026.57.91>

Influence of Structural and Tectonic Factors on the Hydrogeochemical Zonation of the Lower-Middle Cambrian Litvintsevskaya Suite Aquifer

Yu. O. Rusakova, A. L. Khramtsova*

Limited Liability Company "RN-Geology Research Development", Tyumen, Russian Federation

Abstract. Groundwaters of the Lower–Middle Cambrian Litvintsevskaya suite aquifer within the study area, located in the northeastern part of the Upper Lena artesian basin, are used for water supply in reservoir pressure maintenance systems during oil field development. The relevance of the study is driven by the need to understand the significant factors controlling the formation of their chemical composition. The aim of the study is to determine the nature of the influence of the structural and tectonic factor on the hydrogeochemical zonation of the object. Research methods: data preparation, classification and clustering, statistical characterization of groundwater chemical composition parameters, calculation of major ratios, and thermodynamic modeling of groundwater equilibrium with the main rock-forming minerals. Results. For the first time for the object under study within the investigated area, the following results were obtained. In the Western tectonic block, weak brines of chloride-sodium composition are distributed, while in the Central and Eastern blocks, fresh and slightly brackish waters of the hydrocarbonate and sulfate class, calcium group, occur. The mineralization of groundwater increases with depth and in the direction of flow; in fault zones, it mixes with deep brines. In the Central and Eastern areas, the main hydrogeochemical processes are the weathering of carbonate and silicate rocks; in the Western area, dissolution of rock salt or influx of deep waters dominates. The groundwaters of the object are supersaturated with calcium; in the Western block, they are close to equilibrium with respect to gypsum and anhydrite. The significant difference observed in the level of mineralization and the ionic-salt composition of groundwater suggests a separate evolution of groundwater on either side of the western fault. The chemical composition of the waters directly depends on their interaction with the rocks, the structural-tectonic factor has a significant influence, which determines the formation of the hydrogeochemical zonality of the object. The established patterns serve as a basis for predicting groundwater quality. A promising direction is further research into the hydrogeochemical processes occurring during groundwater formation and assessment of their impact on the technological parameters of oil field development.

Keywords: structural and tectonic factor, Litvintsevskaya suite aquifer, Upper Lena artesian basin.

For citation: Rusakova Yu.O., Khramtsova A.L. Influence of Structural and Tectonic Factors on the Hydrogeochemical Zonation of the Lower-Middle Cambrian Litvintsevskaya Suite Aquifer. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2026, vol. 57, pp. 91–109. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2026.57.91> (in Russian)

Введение

Водоносный ниже-среднекембрийский комплекс литвинцевской свиты в северо-восточной части Верхнеленского артезианского бассейна (АБ) и на прилегающих территориях в пределах Сибирской платформы является основным объектом для организации технического водоснабжения системы поддержания пластового давления при разработке нефтяных залежей.

Ведущим контролируемым параметром как в технологическом процессе, так и в экологическом аспекте является химический состав подземных вод, в связи с чем изучение значимых факторов его формирования на основе современных данных – важная и актуальная задача.

Природными особенностями территории Сибирской платформы, определяющими геологию и геохимию подземных вод, являются древний воз-

раст, высокая литификация и метаморфизация слагающих ее геологический разрез пород, наличие мощной зоны многолетнего промерзания, соленосных фаций, широкое распространение в подземных водах рассолов, проявление соляной тектоники и деформации осадочных пород в складчато-надвиговых структурах [Букаты, 2009]. Таким образом, наряду с вещественным составом водовмещающих пород, напрямую определяющим природные механизмы формирования химического состава подземных вод, большую роль играет комплекс природно-обусловленных факторов, среди которых одним из важнейших является структурно-тектонический.

Вопросы взаимосвязи химического состава подземных вод со структурно-тектоническими условиями месторождений широко представлены в классических трудах и современных публикациях.

Развитие неоднородности фильтрационных свойств водоносных горизонтов, проявляющейся в различии скоростей фильтрации и протекания гидрогеохимических взаимодействий в зависимости от различий трещиноватости пород антиклинальных и синклинальных участков, отмечалось Е. В. Посоховым [1969].

Взаимосвязь распределения минерализации подземных вод по разрезу с блоковым строением осадочного чехла показана в [Курчиков, Плавник, Ицкович, 2020].

Влияние сочетания структурно-тектонической обстановки, стратиграфии и гидроморфометрической системы на величины рН, минерализации, макрокомпонентный состав подземных вод приводится в [Abdullah, Jemaа, Saleh, 2025].

В работе [Глухова, Харитонов, Ермаков, 2024] обсуждается влияние новейшей тектонической структуры на минерализацию и обогащение подземных вод микрокомпонентами «тяжелого» изотопного состава.

Влияние тектонических структур на формирование так называемых гидрогеологических окон для разгрузки глубинных вод, напрямую сказывающееся на химическом составе подземных вод вышележащих горизонтов, рассматривается авторами [Куренной, 2011; Глухова, Харитонов, Суханова, 2025; Бударина, Косинова, Лепендин, 2022].

Увеличение минерализации воды в направлении потока в зонах, ограниченных тектоникой, отмечается в исследовании [Valdes, Laignel, 2007].

В [Structural ... , 2018] делается вывод о фундаментальной роли разломов в транспорте газов и рассолов из глубины, что влияет на их распределение в неглубоко залегающих горизонтах подземных вод.

Цель настоящей работы заключается в установлении характера влияния структурно-тектонического фактора на гидрогеохимическую зональность ниже-среднекембрийского водоносного комплекса литвинцевской свиты в северо-восточной части Верхнеленского артезианского бассейна.

Для исследования использованы результаты лабораторных анализов 29 проб подземных вод, отобранных из 12 водозаборных скважин в период 2008–2026 гг., в которых определены следующие показатели: водородный показатель (рН), Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$, HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} , минерализация (по

сухому остатку). Методики лабораторного определения содержания в подземных водах каждого показателя регламентированы соответствующими нормативными документами, разрешенными к применению Федеральной службой Росаккредитации.

Методы исследования

Методы исследования включают: подготовку, классификацию и кластеризацию данных, статистическую характеристику основных показателей химического состава подземных вод, расчет ионных соотношений, термодинамическое моделирование равновесий подземных вод с основными породообразующими минералами. Используемая методика является стандартной при гидрогеохимических исследованиях и широко освещается в современных научных публикациях [Hydrochemical ... , 2024; Hydrochemical ... , 2025a; Hydrochemical ... , 2025b; Analysis ... , 2024; Kozłowski, Komisarek, 2017].

Подготовка данных заключается в отбраковке анализов с аномальным для точек наблюдений (водозаборных скважин) химическим составом, а также не соответствующих критерию электронейтральности ионного состава (балансу анионов и катионов).

Статистическая характеристика содержит расчет минимальных, максимальных, средних значений концентраций, среднеквадратичного отклонения и коэффициента вариации для каждого показателя.

Классификация и кластеризация данных выполняются с использованием классификации подземных вод О. А. Алекина [Альтовский, 1962] и плановой структурно-тектонической схематизации площади исследования, а также путем отображения их значений на трехлинейной диаграмме Пайпера [Piper, 1984].

Расчет соотношений основных ионов выполняется для определения генезиса подземных вод и индикации процессов взаимодействия в системе «вода-горная порода».

Для определения ведущих факторов формирования подземных вод используются ионные соотношения $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ и $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ с минерализацией, представленные на диаграммах Гиббса [Gibbs, 1970]. Несмотря на то, что данные диаграммы были разработаны для поверхностных вод, в силу наглядности кластеризации данных они широко используются современными исследователями.

Графики соотношения $r\text{Ca} / (r\text{Na} + r\text{K})$ к $r\text{Mg} / (r\text{Na} + r\text{K})$ и $r\text{Ca} / (r\text{Na} + r\text{K})$ к $r\text{HCO}_3 / (r\text{Na} + r\text{K})$ применяются для изучения взаимодействия воды с различными типами горных пород [Hydrochemical ... , 2025b].

График $r\text{Cl}$ к $r\text{Na} + r\text{K}$ используется для определения источника данных компонентов в подземных водах [Identification ... , 2018].

График $r\text{HCO}_3$ к $r\text{Mg} / r\text{Ca}$ демонстрирует вклад доломита или кальцита в источник вещества в подземных водах.

График $r\text{SO}_4 + r\text{HCO}_3$ к $r\text{Mg} + r\text{Ca}$ позволяет оценить вклад доломита или кальцита в состав карбонатных пород [Characteristics ... , 2024].

Химические реакции растворения карбонатных и сульфатных пород (уравнения (1) и (2)) выглядят следующим образом:



Согласно уравнениям (1) и (2), если отношение $r\text{Ca} + r\text{Mg}$ к $r\text{HCO}_3 + r\text{SO}_4$ близко к 1, то Ca^{2+} и Mg^{2+} должны поступать в результате растворения карбонатных и сульфатных минералов, таких как кальцит, доломит и гипс. Если соотношение больше 1, это указывает на растворение силикатных минералов или прямой ионный обмен (Ca^{2+} или Mg^{2+} из воды замещают Na^+ в минералах). Соотношение меньше 1 указывает на то, что процессы фильтрации сопровождаются процессами обратного ионного обмена [Geochemical ... , 2024].

Для определения насыщенности подземных вод по сульфатным и карбонатным солям кальция и магния, что особенно актуально для водовмещающих пород изучаемого разреза, применяется термодинамическое моделирование с использованием программного комплекса «РН-АКВА».

Алгоритм инструмента позволяет определить индекс насыщенности вод по методикам Оддо – Томпсона [Oddo, Tomson, 1998] и Кашавцева [Кашавцев, Мищенко, 2004].

Комплекс широко используется для прогноза солеотложений при разработке нефтяных залежей [Вариативный ... , 2023], однако в силу того, что применяемые в нем методы базируются на фундаментальном термодинамическом принципе расчета индекса насыщения (SI), он, с некоторыми ограничениями, универсален для любых водных растворов.

В основе расчетов лежит теория о равновесной концентрации соли в растворе, при которой скорости осаждения и растворения равны. Значение $0 < \text{SI} < 0,7$ указывает на незначительное перенасыщение вторичными минералами, при $\text{SI} > 0,7$ – раствор пересыщен, при $\text{SI} < 0$ – воды не насыщены минералами и продолжают их растворять.

Характеристика объекта

Участок исследования площадью около 1,2 тыс. км² приурочен к северо-восточной части Верхнеленского АБ (структуры III порядка), входящего в Ангара-Ленский АБ (структура II порядка) Сибирского сложного АБ (структура I порядка). В региональном тектоническом плане участок расположен на юго-восточном моноклинальном склоне Непско-Ботуобинской антеклизы юго-восточной части Сибирской платформы.

Территория исследования относится к району островного распространения многолетнемерзлых пород на всех элементах рельефа, залегающих в верхней части разреза мощностью до 50 м при температуре пород не ниже минус 1 °С.

Объект исследования – ниже-среднекембрийский водоносный комплекс литвинцевской свиты ($\text{Є}_{1-2\text{lt}}$) – представлен доломитами с включением известковистых, окремненных, брекчированных глинистых разновидностей

и известняками. В водоносных интервалах породы трещиноватые и кавернозные. В пределах участка комплекс распространен повсеместно, перекрыт отложениями верхоленской и илгинской свит среднего-верхнего кембрия ($E_{2-3vl+il}$), представленными толщей алевролитов, аргиллитов, глинистых доломитов, песчаников, мергелей, известняков, в основании – трещиноватыми и кавернозными доломитами. Снизу комплекс подстилается карбонатными отложениями ангарской свиты нижнего кембрия (E_{1an}), включающими известняки, доломиты и карбонатные брекчии, с прослоями ангидрит-доломитов, глинистых ангидритов и каменных солей.

Глубина залегания кровли комплекса изменяется в пределах 96,7–667 м, что соответствует абсолютным отметкам от 379,4 м до минус 150,7 м. Общая мощность комплекса составляет 64,5–175,3 м (рис. 1, а).

Статический уровень подземных вод комплекса фиксируется на глубинах 57,0–192,6 м, напор над кровлей составляет 63–370 м.

Питание комплекса происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков в местах структурного выхода на поверхность, а также за счет перетекания из вышележащих отложений верхоленской и илгинской свит в зонах наличия гидрогеологических окон за пределами участка исследования.

Естественная разгрузка осуществляется в смежные водоносные подразделения, а также в направлении регионального подземного стока в соответствии со структурным уклоном территории.

Непосредственно в центральной части участка исследования закартированы два тектонических разлома северо-восточного простирания [Государственная ... , 2012]. По линиям разрывных нарушений участок исследования разделен на Западный, Центральный и Восточный блоки.

Западный блок опущен, амплитуда смещения составляет около 100–150 м. Центральный и Восточный блоки осложнены брахиантиклинальной структурой с амплитудой поднятия около 150 м и углами падения 3–6° (рис. 1, б).

Образование валообразной структуры – следствие горизонтального перемещения соленосного и надсолевого комплексов по пластичной галогенной толще, которая при этом интенсивно дислоцировалась с образованием складок волочения и нагнетания солей в ядро принадвиговой антиклинальной складки.

Гидродинамическая роль разрывных нарушений до настоящего времени остается неизученной. Предположительно влияние блокового строения отразилось на фильтрационных свойствах водовмещающих пород комплекса, которые характеризуются значительной неоднородностью: в пределах Западного блока дебиты скважин составляют 2,7–4,1 dm^3/s , коэффициенты водопроводимости – 22–33 $m^2/сут$; в пределах Центрального блока дебиты скважин – 9,4–24,2 dm^3/s , коэффициенты водопроводимости – 94–283 $m^2/сут$; в пределах Восточного блока дебиты скважин – 2,3–8,4 dm^3/s , коэффициенты водопроводимости – 63–91 $m^2/сут$. Пониженные фильтрационные свойства водовмещающих пород комплекса в пределах Западного блока по сравнению с Центральным и Восточным блоками свидетельствуют о более низком уровне водообмена и высокой закрытости системы.

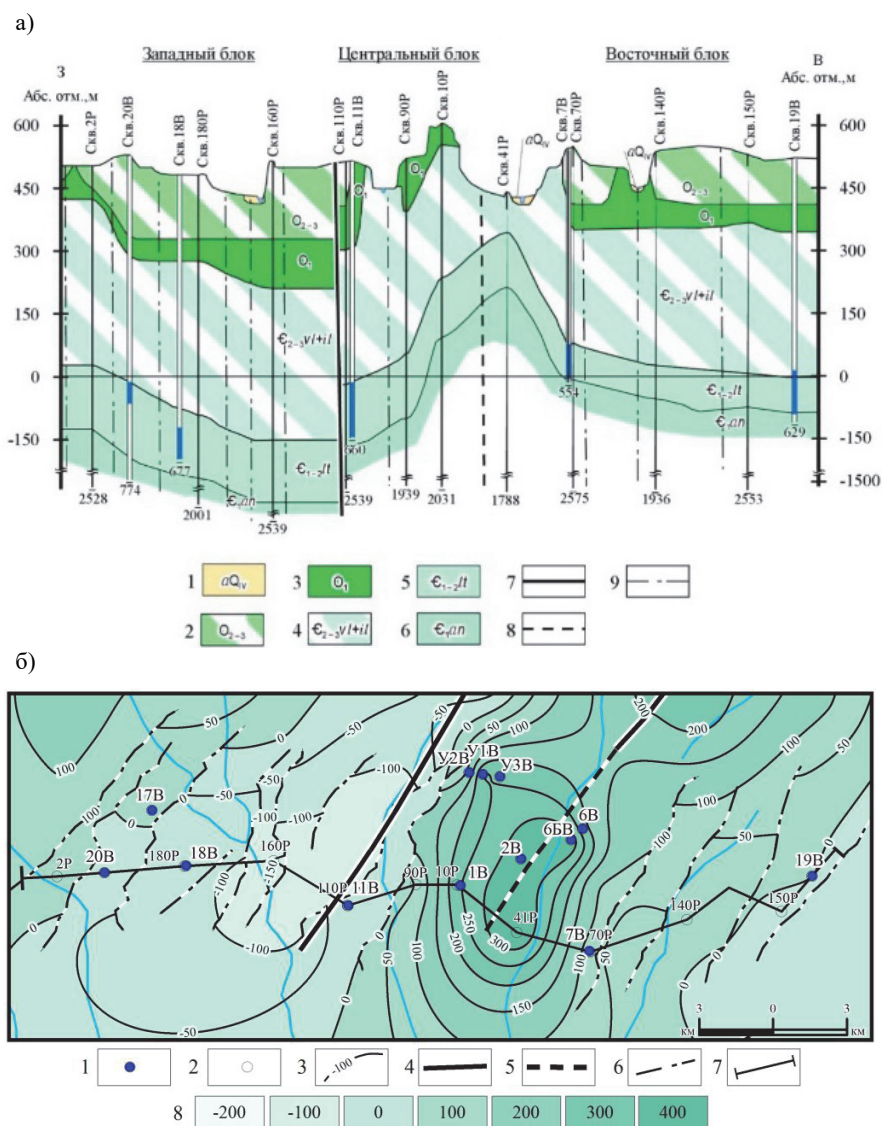


Рис. 1. а – Схематический геолого-гидрогеологический разрез участка исследования:

1 – водонасыщенный современный аллювиальный горизонт; 2 – локально-водонасыщенный средне-верхнеордовикский комплекс; 3 – водонасыщенный нижнеордовикский горизонт; 4 – локально-водонасыщенный средне-верхнекембрийский комплекс верхоленской и илгинской свит; 5 – водонасыщенный нижне-среднекембрийский комплекс литвинцевской свиты; 6 – водонасыщенный нижнекембрийский комплекс ангарской свиты; 7 – тектонические разломы закартированные; 8 – тектонические разломы предполагаемые; 9 – тектонические разломы по данным сейсморазведочных работ; б – структурная карта по кровле литвинцевской свиты: 1 – скважина гидрогеологическая; 2 – скважина нефтепромысловая; 3 – изолинии кровли литвинцевской свиты, абс. м; 4 – тектонические разломы закартированные; 5 – тектонические разломы предполагаемые; 6 – тектонические разломы по данным сейсморазведочных работ; 7 – линия схематического геолого-гидрогеологического разреза; 8 – поле значений кровли литвинцевской свиты, абс. м

Результаты и их обсуждение

При анализе имеющихся данных гидрогеохимического опробования объекта исследования определено, что значения показателей химического состава подземных вод в пределах Западного блока значительно отличаются от значений соответствующих показателей в пределах Центрального и Восточного блоков (табл.).

Таблица

Характеристика химического состава подземных вод и их классификация

Показатель	Кол-во определений	Значение показателя			Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации, %
		минимальное	максимальное	среднее		
Западный блок						
рН	8	6,9	7,5	7,2	0,2	3
Минерализация, мг/дм ³		48 532,0	69 597,1	57 028,1	7432,8	13
Na ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³		18 405,0	24 270,0	21 142,6	2012,9	10
Ca ²⁺ , мг/дм ³		1008,0	1451,0	1277,0	180,6	14
Mg ²⁺ , мг/дм ³		362,0	607,5	478,7	98,0	20
Cl ⁻ , мг/дм ³		23 623,0	36 210,0	28 998,6	4797,1	17
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³		2207,0	6950,0	4039,6	1712,1	42
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³		63,0	163,5	87,4	36,4	42
Класс по О. А. Алекину (1946 г.)	8	хлоридные				
Группа по О. А. Алекину (1946 г.)	8	натриевые				
Центральный блок						
рН	11	6,7	8,1	7,5	0,4	6
Минерализация, мг/дм ³		536,0	1583,0	862,5	562,2	65
Na ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³		33,6	297,5	76,0	62,2	82
Ca ²⁺ , мг/дм ³		59,0	187,0	109,0	105,6	97
Mg ²⁺ , мг/дм ³		28,0	67,0	44,2	27,5	62
Cl ⁻ , мг/дм ³		25,5	462,2	83,9	100,6	120
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³		87,0	554,4	290,4	437,0	150
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³		52,9	260,0	218,5	79,2	36
Класс по О. А. Алекину (1946 г.)	5	гидрокарбонатные				
	5	сульфатные				
	1	хлоридные				
Группа по О. А. Алекину (1946 г.)	10	кальциевые				
	1	натриевые				
Восточный блок						
рН	10	6,8	7,7	7,4	0,3	4
Минерализация, мг/дм ³		528,0	1444,0	936,3	703,7	75
Na ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³		16,5	165,3	64,0	118,1	184
Ca ²⁺ , мг/дм ³		85,0	283,0	147,6	85,7	58
Mg ²⁺ , мг/дм ³		24,0	115,0	47,0	31,0	66
Cl ⁻ , мг/дм ³		32,0	208,0	110,1	140,4	128
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³		51,0	406,0	257,1	363,6	141
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³		194,0	262,0	224,6	39,1	17
Класс по О. А. Алекину (1946 г.)	5	гидрокарбонатные				
	5	сульфатные				
Группа по О. А. Алекину (1946 г.)	10	кальциевые				

В пределах Западного блока они менее вариативны (коэффициент вариации 3–42 %, в среднем 20 %), чем в пределах Центрального (6–150 %, в среднем 77 %) и Восточного (4–184 %, в среднем 84 %) блоков.

Высокая вариативность показателей в пределах Центрального и Восточного блоков свидетельствует о большей степени открытости гидродинамической системы для влияния на нее комплекса факторов.

Исходя из величины минерализации (по В. И. Вернадскому), в пределах Западного блока распространены слабые рассолы, в пределах Центрального и Восточного блоков – пресные и слабосоленоватые воды. Средние значения минерализации вод (по сухому остатку) и ионов, составляющих ее основу, за исключением HCO_3^- , в пределах Западного блока в 66 раз выше, чем в пределах Центрального, и в 61 раз выше, чем в пределах Восточного. Содержание HCO_3^- , напротив, в пределах Западного блока в 2,5–2,6 раза ниже, чем в пределах Центрального и Восточного блоков.

Несмотря на то что в период 2008–2026 гг. водоносный комплекс активно эксплуатировался водозаборными скважинами, отмеченная гидрогеохимическая зональность сохранена.

Зависимость минерализации как от глубины интервала опробования, так и от его гипсометрического положения в рельефе не имеет линейного характера. На основании этого можно утверждать, что экстремально высокое значение минерализации вод в пределах Западного блока, по сравнению с Центральным и Восточным блоками, только отчасти обусловлено вертикальной гидрогеохимической зональностью, проявляющейся в увеличении минерализации подземных вод с глубиной.

При сравнении значений в весовом содержании отдельных показателей химического состава в пределах Центрального и Восточного блоков видно, что они различаются незначительно, за исключением Ca^{2+} и Cl^- , которые в пределах Восточного блока выше, чем в пределах Центрального на 35 и 31 % соответственно.

Концентрация основных катионов в подземных водах в пределах Западного блока соответствует порядку $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$; основных анионов соответствует порядку $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$.

В пределах Центрального и Восточного блоков концентрация основных катионов соответствует порядку $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$; концентрация основных анионов соответствует порядку $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$.

Анализ выделенных классов и групп вод (по О. А. Алекину) позволил отметить, что в пределах Западного блока преобладают воды, отнесенные к классу хлоридных группы натриевых; в пределах Центрального и Восточного блоков – воды в равной доле гидрокарбонатного и сульфатного классов группы кальциевых.

Значительное различие в средних значениях показателей химического состава позволяет предположить затрудненную гидравлическую взаимосвязь подземных вод Западного блока с водами Центрального и Восточного блоков и возможной закрытости контура питания Западного блока с восточной стороны вследствие сниженной проводимости разделяющего блоки тектонического разлома. Тектоническое нарушение, разделяющее Центральный и Восточный блоки, по-видимому, напротив, не препятствует водообмену.

Трехлинейная диаграмма Пайпера (рис. 2) дает наглядное представление о закономерностях химического состава подземных вод.

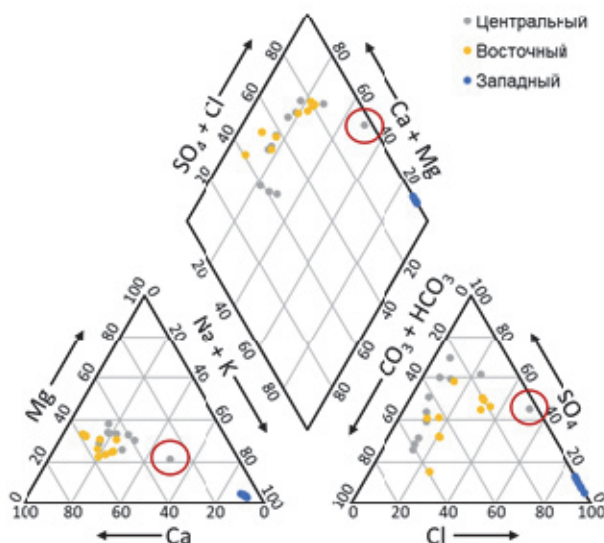


Рис. 2. Диаграмма Пайпера распределения основных ионов в подземных водах

В пределах Западного блока в подземных водах преобладают концентрации $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и Cl^- , что свидетельствует о преобладании процессов растворения минералов, содержащих данные ионы (галит, сильвинит и т. п.). В пределах Центрального и Восточного блоков преобладают ионы Ca^{2+} и SO_4^{2-} , полученные растворением карбонатных и силикатных пород. Исключение составляет состав вод скважины 2В (выделен красным контуром), в котором преобладают ионы $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и Cl^- , что может объясняться близким (около 0,4 км) ее положением к восточному тектоническому разлому, разделяющему Центральный и Восточный блоки, и служит свидетельством того, что в зоне разлома могут подниматься глубинные рассолы, вызывающие повышенные значения минерализации, содержания ионов натрия и хлора.

Минерализация подземных вод имеет тенденцию к увеличению в направлении уклона потока подземных вод. Влияние антиклинального поднятия на величину минерализации отчетливо не выражено, однако в целом более высокое гипсометрическое положение Центрального и Восточного блоков, по сравнению с Западным, способствует более высоким скоростям водообмена и инфильтрации ультрапресных вод атмосферных осадков и более низким значениям минерализации.

На диаграммах Гиббса (рис. 3, а, б) все пробы подземных вод Центрального и Восточного блоков, за исключением скважины 2В, попадают в диапазон диаграммы, соответствующей процессу выветривания пород. Пробы вод в пределах Западного блока находятся в зоне, соответствующей морскому режиму, в данном случае – растворению солей натрия и калия.

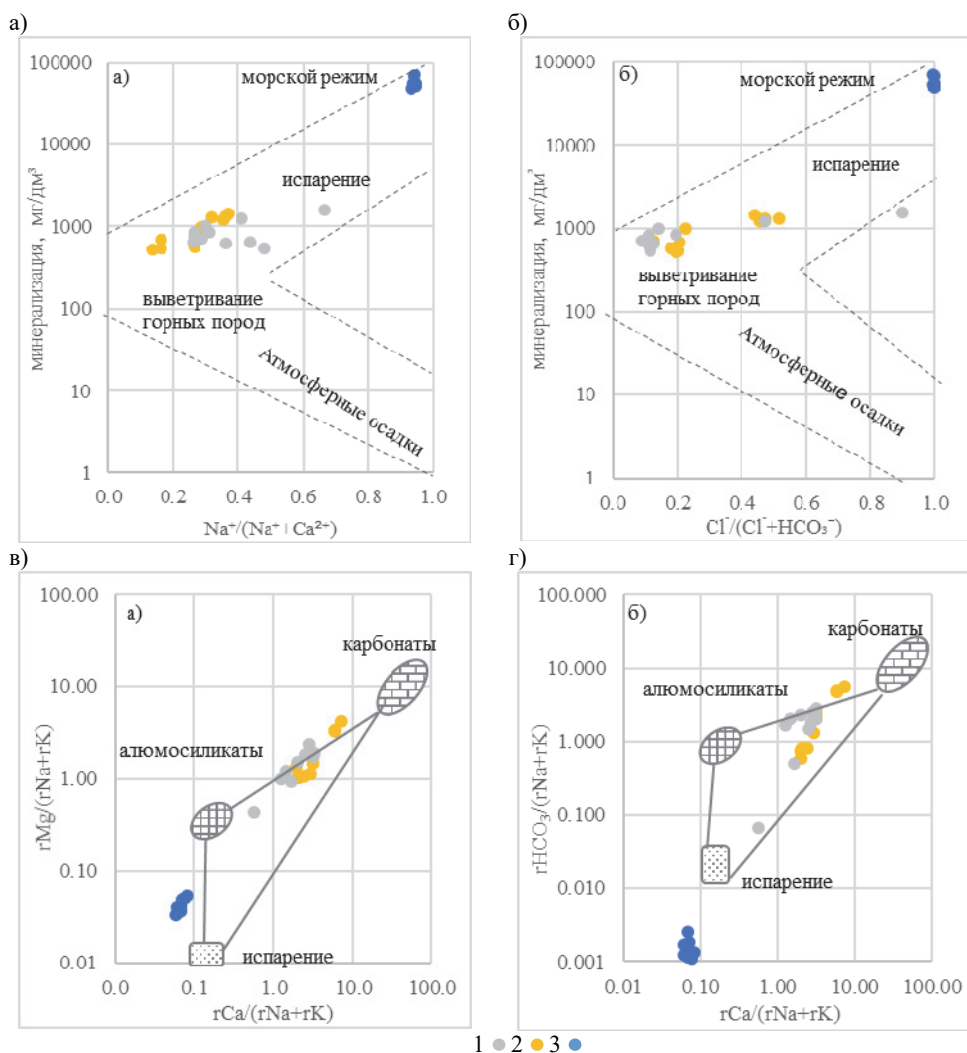


Рис. 3. Диаграмма: а) Гиббса для соотношений минерализации и $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$; б) Гиббса для соотношений минерализации и $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$; в) соотношения $r\text{Ca} / (r\text{Na} + r\text{K})$ с $r\text{Mg} / (r\text{Na} + r\text{K})$; г) соотношения $r\text{Ca} / (r\text{Na} + r\text{K})$ с $r\text{HCO}_3 / (r\text{Na} + r\text{K})$; 1 – Центральный блок; 2 – Восточный блок; 3 – Западный блок

На диаграмме соотношения $r\text{Ca} / (r\text{Na} + r\text{K})$ к $r\text{Mg} / (r\text{Na} + r\text{K})$ и к $r\text{HCO}_3 / (r\text{Na} + r\text{K})$ (рис. 3, в, г) пробы подземных вод в пределах Центрального и Восточного блоков располагаются в области диаграммы, соответствующей растворению силикатных и карбонатных пород. Пробы вод Западного блока расположены в зоне, не относящейся к данным процессам.

График зависимости $r\text{Cl}$ и $r\text{Na} + r\text{K}$ в пределах всех блоков выявил тенденцию как к избытку хлора ($r\text{Cl} > r\text{Na} + r\text{K}$, выше линии соотношения 1:1), так и к его недостатку (ниже линии 1:1). Наиболее близкое расположение к линии 1:1 наблюдается в пределах Центрального блока (рис. 4, а).

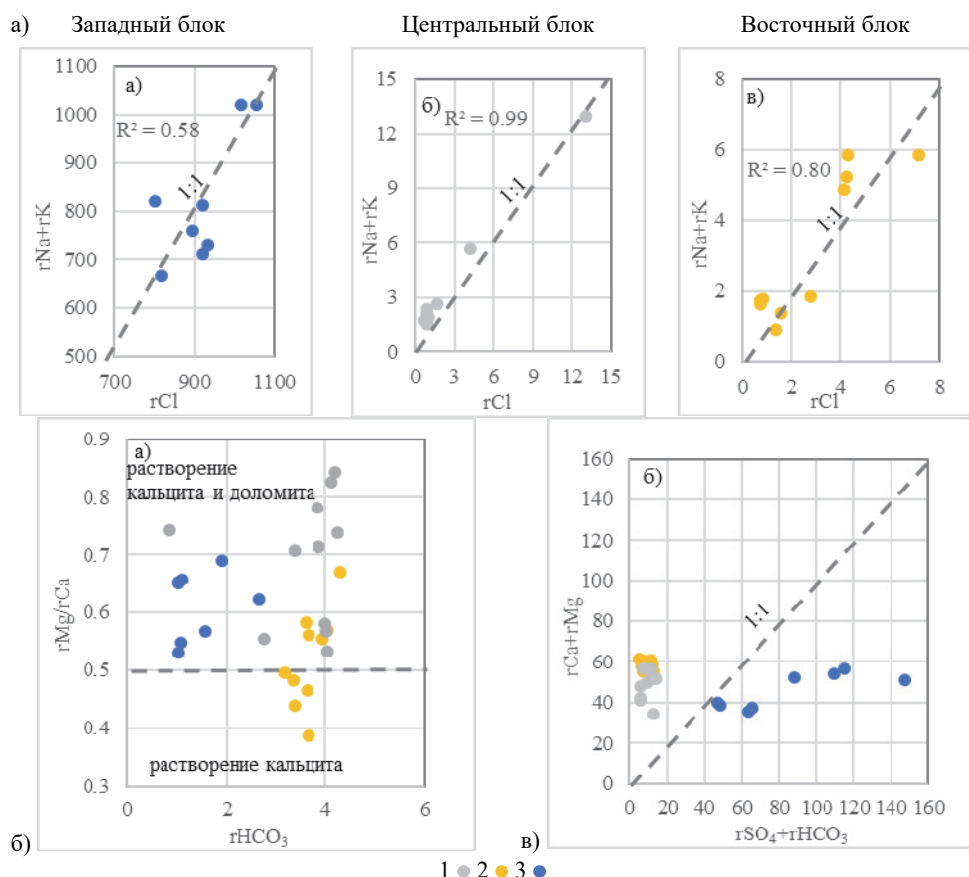


Рис. 4. Графики соотношения: а) $rNa+rK/rCl$; б) $(rMg/rCa)/rHCO_3$; в) $(rSO_4+rHCO_3)/rCa+rMg$; 1 – Центральный блок; 2 – Восточный блок; 3 – Западный блок

Полученные соотношения позволяют сделать вывод, что наличие ионов натрия и калия в подземных водах в пределах всех блоков происходит как за счет растворения минералов, содержащих данные элементы (галита и сильвинита), так и за счет выветривания силикатных пород и ионного обмена.

На графике соотношения $rHCO_3$ к rMg/rCa (рис. 4, б) расположение точек ниже линии $0,5 rMg/rCa$ свидетельствует о растворении кальцита, а выше $0,5$ – о совместном процессе растворения кальцита и доломита. По имеющимся данным большинство проб подземных вод всех блоков попадают в зону растворения как кальцита, так и доломита. Исключением являются только пять проб Восточного блока, находящихся в области растворения кальцита. Это согласуется с вещественным составом пород водоносного комплекса, представленных доломитами и известняками.

Как показано на рис. 4, в, точки, относящиеся к Центральному и Восточному блокам, находятся выше линии 1:1 эквивалентного соотношения ($rCa+rMg > rSO_4+rHCO_3$), что указывает на растворение как карбонатных, так и силикатных пород, а пробы Западного блока расположены ниже линии

1:1, что означает, что поступление ионов кальция и магния в воды связано преимущественно с ионообменными процессами.

На рис. 5 показано соотношение между величиной минерализации и индексами насыщения (SI) подземных вод минералами сульфатных и карбонатных солей кальция и магния.

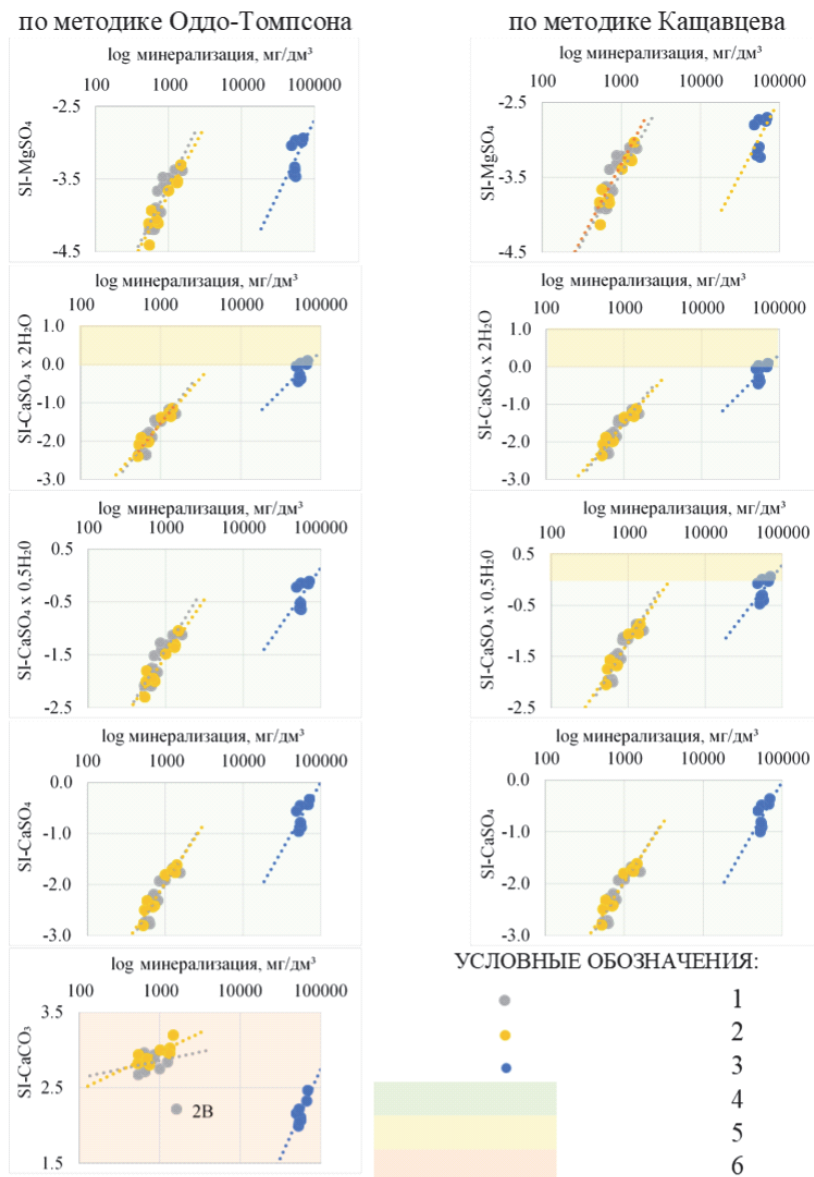


Рис. 5. Графики зависимости величины минерализации и индексов насыщения (SI) сульфата магния, гипса, бассаинита, ангидрита, кальцита: 1 – Центральный блок; 2 – Восточный блок; 3 – Западный блок; 4 – воды недонасыщены минералами (SI < 0); 5 – незначительное перенасыщение минералами (SI = 0–0,7); 6 – воды перенасыщены минералами (SI > 0,7)

В пределах Центрального и Восточного блоков подземные воды недо-насыщены всеми рассматриваемыми сульфатными минералами (сульфат магния – MgSO_4 , гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, бассанит – $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, ангидрит – CaSO_4), поскольку индексы насыщения (SI) ниже 0. Из чего следует, что подземные воды агрессивны по отношению к данным минералам и продолжают их растворять.

В пределах Западного блока по отношению к минералам сульфата магния и ангидриту SI также отрицателен, однако по отношению к гипсу и бассаниту в отдельных пробах зафиксированы положительные значения, не выходящие за пределы погрешности ($\pm 0,1$). Поэтому гидрогеохимическую среду в этих случаях можно считать практически равновесной с данными минералами – она их не растворяет и не осаждает.

Значения SI для кальцита (CaCO_3) во всех пробах подземных вод положительны и варьируют в диапазоне 1,995–3,195. Это указывает на пересыщение раствора кальцитом и его склонность к выпадению в осадок, что является негативным фактором вследствие возможности солеотложений в технологическом процессе.

В подземных водах в пределах Западного блока значения SI составляют 1,995–2,464, что ниже, чем в пределах Центрального (2,676–2,962) и Восточного (2,805–3,195) блоков. Исключением является скважина 2В в пределах Центрального блока, в которой значение SI составляет 2,217 и сопоставимо со значениями SI в пределах Западного блока.

Более низкие значения SI в высокоминерализованных водах Западного блока объясняются особенностями катионного состава: преобладающим ионом здесь является натрий, а содержание кальция относительно невелико, поэтому пересыщение раствора по кальциту и его склонность к осаждению здесь ниже. Тот же вывод можно применить и к составу вод скважины 2В Центрального блока, в которой, по сравнению с остальными скважинами этого блока, минерализация повышена за счет увеличения концентрации натрия и хлора, что, вероятно, связано с ее расположением вблизи восточного разлома.

В пределах всех блоков наблюдается прямая корреляционная зависимость между величиной минерализации и индексами насыщения для сульфатных и карбонатных минералов. Это указывает на то, что растворение сульфатных и осаждение карбонатных минералов сопровождается рост минерализации, однако не является ведущей причиной формирования выявленной гидрогеохимической зональности.

Приведенные результаты для ниже-среднекембрийского водоносного комплекса литвинцевской свиты на территории исследования получены впервые.

Выводы

Сравнительное исследование химического состава подземных вод ниже-среднекембрийского комплекса литвинцевской свиты в пределах выделенных по структурно-тектоническому признаку Западного, Центрального и

Восточного блоков позволило детализировать следующие гидрогеохимические закономерности.

Западный тектонический разлом, предположительно, влияет на движение подземных вод, меняет границы их потоков и отделяет опущенный по высоте Западный блок от Центрального и Восточного блоков, которые находятся в зоне антиклинали.

Высокая минерализация подземных вод в пределах Западного блока в большей мере связана с гидродинамической изолированностью системы и влиянием поступления глубинных рассолов, и лишь отчасти – с глубиной залегания объекта. Низкая минерализация в пределах Центрального и Восточного блоков обусловлена интенсивной инфильтрацией пресных вод в зоне антиклинали. В зоне разлома вероятно смешение подземных вод объекта с глубинными высокоминерализованными водами.

Выявленное значительное различие в величине минерализации и ионно-солевом составе подземных вод предполагает раздельный характер эволюции подземных вод по разные стороны разлома. Однако констатация непроявляющегося характера разлома только на основании этих различий недостаточна – для окончательного вывода требуются дополнительные гидрогеологические и геоструктурные исследования.

Соотношение ионов и термодинамическое моделирование свидетельствуют, что в пределах Западного блока формирование состава вод происходит за счет выщелачивания соленосных толщ или подтоком глубинных вод в зоне разлома; в пределах Центрального и Восточного блоков подземные воды в большей степени содержат ионы, полученные растворением карбонатных (кальцита, доломита) и силикатных пород.

В целом можно заключить, что процессы физико-химического взаимодействия с водовмещающими породами напрямую определяют химический состав подземных вод. Наряду с этим значимым фактором формирования гидрогеохимической зональности ниже-среднекембрийского комплекса литвинцевской свиты в северо-восточной части Верхнеленского артезианского бассейна является структурно-тектонический фактор.

Исходя из того, что химический состав подземных вод напрямую влияет на совместимость с водами нефтяных пластов, солеотложение и коррозионную активность по отношению к технологическому оборудованию, установленные закономерности являются основой для прогноза качества подземных вод объекта исследования.

Перспективным направлением является дальнейшее исследование гидрогеохимических процессов, происходящих при формировании подземных вод объекта, и оценка их влияния на технологические параметры разработки нефтяных залежей.

Список литературы

- Альтовский М. Е.* Справочник гидрогеолога. М. : ГНТИЛГОН, 1962. 616 с.
Бударина В. А., Косинова И. И., Лепендин Д. Г. Эколого-гидрогеохимические особенности подземных вод геотектонических зон Липецкого горнодобывающего района // Региональ-

ные геосистемы. 2022. Т. 46, № 2. С. 284–297. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-2-284-297>.

Букаты М. Б. Гидрогеологическое строение западной части Сибирской платформы (в связи с поисками, разведкой и разработкой месторождений нефти и газа) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 11. С. 1201–1217.

Вариативный подход к подбору жидкостей глушения для условий терригенных коллекторов. Ч. 1. Моделирование осадкообразования при взаимодействии жидкостей глушения с минерализованными пластовыми водами / В. А. Шайдуллин, А. Р. Хатмуллин, А. Р. Туриянов, Ф. К. Мингалишев // Экспозиция. Нефть. Газ. 2023. № 7. С. 102–106. <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2023-7-102-106>

Глухова С. А., Харитонова Н. А., Ермаков А. В. Связь химического и изотопного состава природных вод с новейшей тектонической структурой в районе оз. Глубокое (Московская область) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2024. Т. 335. № 12. С. 173–183.

Глухова С. А., Харитонова Н. А., Суханова Т. В. Влияние Клепиковского прогиба на гидрогеологические условия центральной части Мещерской впадины // Новые идеи в науках о Земле. 2025. Т. 8. С. 85–88.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист О-48 (Усть-Илимск) / под ред. Е. П. Миронюк. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2012.

Кащавцев В. Е., Мищенко И. Т. Солеобразование при добыче нефти. М. : Недра, 2004. 432 с.

Куренной В. В. Структурно-гидрогеологический анализ условий локализации подземных вод Ангаро-Ленского артезианского бассейна // Разведка и охрана недр. 2011. № 9. С. 24–32.

Курчиков А. Р., Плавник А. Г., Ицкович М. В. Сопоставление гидрогеохимических и геодинамических условий глубоких горизонтов центральной части Западно-Сибирского мегабассейна // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 3. С. 312–321.

Посохов Е. В. Формирование химического состава подземных вод (основные факторы). Л. : Гидрометеорол. изд-во, 1969. 334 с.

Abdullah M. A., Jemaa N. C. B., Saleh S. A. Controls on groundwater quality: Hydro-Morphometric, Stratigraphic, Structural & Isotopic indicators, Al-Jirnaf Valley watershed, Iraq // Carbonates Evaporites. 2025. Vol. 40. Art. N 112. <https://doi.org/10.1007/s13146-025-01144-7>

Analysis on the Chemical Characteristics and Genesis of Drinking Groundwater in Rural Areas of Suihua City, Northeast China / Q. Sun, K. Yang, C. Li [et al.] // Environmental Forensics. 2024. Vol. 25, N 6. P. 614–625. <https://doi.org/10.1080/15275922.2023>

Characteristics and genesis of groundwater salinization in coastal areas of the Lower Reaches of Oujiang Basin / Mei-hui Zhang, Shi-yang Zhou, Dan-dan Liu [et al.] // J. Groundw. Sci. Eng. 2024. Vol. 12, Iss. 2. P. 190–204. <https://doi.org/10.26599/JGSE.2024.9280015>

Geochemical Characteristics and Controlling Factors of Groundwater Chemical Composition in the Zihe River Source Area, Shandong, China / J. You, Yu. Qi, G. Shao, Ch. Ma // Water. 2024. Vol. 16, N 2. P. 298. <https://doi.org/10.3390/w16020298>

Gibbs R. J. Mechanisms controlling world water chemistry // Science. 1970. Vol. 170, N 3962. P. 1088–1090. <https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088>

Hydrochemical Characteristics and Genesis Analysis of Closed Coal Mining Areas in Southwestern Shandong Province, China / Xiaoqing Wang, Jinxian He, Guchun Zhang [et al.] // Eng. 2025a. Vol. 6 (7). P. 164. <https://doi.org/10.3390/eng6070164>

Hydrochemical Characteristics and Genesis of Groundwater in Taoshan Granite Body, Yushan Uplift Area, South Jiangxi, China / Xinfeng Wang, Yan Wang, Ge Gao [et al.] // Water. 2025b. Vol. 17, N 7. P. 974. <https://doi.org/10.3390/w17070974>

Hydrogeochemical characterization and assessment of factors controlling groundwater salinity in the Chamwino granitic complex, central Tanzania / C. Msengi, I. Mjemah, E. Makoba [et al.] // Heliyon. 2024. Vol. 10, N 7. P. 28187. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28187>

Identification of the dominant hydrogeochemical processes and characterization of potential contaminants in groundwater in Qingyuan, China, by multivariate statistical analysis / Zuobing

Liang, Jianyao Chen, Tao Jiang [et al.] // RSC Adv. 2018. Vol. 8. P. 33243–33255. <https://doi.org/10.1039/C8RA06051G>

Kozłowski M., Komisarek J. J. *Elem.* Groundwater chemistry and hydrogeochemical processes in a soil catena of the Poznań Lakeland, central Poland. 2017. Vol. 22, N 2. P. 681–695. <https://doi.org/10.5601/jelem.2016.21.2.1165>

Oddo J. E., Tomson M. B. Metod predicts well bore scale, corrosion // Oil and Gas. 1998. Vol. 96. P. 107–114.

Piper A. M. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water-analyses // *Neurochem. Int.* 1984. Vol. 6. P. 27–39.

Structural and Hydrogeological Controls on Hydrocarbon and Brine Migration into Drinking Water Aquifers in Southern New York / R. L. Kreuzer, T. H. Darrah, B. S. Grove [et al.] // *Ground Water*. 2018. Vol. 56, N 8. P. 225–244. <https://doi.org/10.1111/gwat.12638>

Valdes D, Laignel B. A spatial analysis of structural controls on Karst groundwater geochemistry at a regional scale // *Journal of Hydrology*. 2007. Vol. 340, N 3. P. 244–255. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.04.014>

References

Altovskii M.E. *Spravochnik gidrogeologa* [Hydrogeologist's Handbook]. Moscow, Publ. GNTILGON, 1962, 616 p. (in Russian)

Budarina V.A., Kosinova I.I., Lependin D.G. Ekologo-gidrogeokhimicheskie osobennosti podzemnykh vod geotektonicheskikh zon Lipetskogo gornodobyvayushchego raiona, Regional'nye geosistemy [Ecological and hydrogeochemical features of groundwater in geotectonic zones of the Lipetsk mining district]. *Regionalnye geosistemy* [Regional Geosystems], 2022, vol. 46, no. 2, pp. 284–297. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-2-284-297> (in Russian)

Bukaty M.B. Gidrogeologicheskoe stroenie zapadnoi chasti Sibirskoi platformy (v svyazi s poiskami, razvedkoi i razrabotkoi mestorozhdenii nefi i gaza). [Hydrogeological structure of the western part of the Siberian platform (in connection with the search, exploration, and development of oil and gas fields)]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 2009; vol. 50, no. 11, pp. 1201–1217. (in Russian)

Shaidullin V.A., Khatmullin A.R., Turiyanov A.R., Mingalishev F.K. Variativnyi podkhod k podboru zhidkostei glusheniya dlya uslovii terrigennykh kollektorov. Chast 1. Modelirovanie osadkoobrazovaniya pri vzaimodeistvii zhidkostei glusheniya s mineralizovannymi plastovymi vodami [A variable approach to the selection of killing fluids for terrigenous reservoir conditions. Part 1. Modeling of sedimentation during the interaction of killing fluids with mineralized reservoir waters]. *Ekspozitsiya. Neft. Gaz* [Exposition. Oil. Gas], 2023, no. 7, pp. 102–106. <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2023-7-102-106> (in Russian)

Glukhova S.A., Kharitonova N.A., Ermakov A.V. Svyaz khimicheskogo i izotopnogo sostava prirodnykh vod s noveishei tektonicheskoi strukturoi v raione oz. Glubokoe (Moskovskaya oblast) [The relationship of the chemical and isotopic composition of natural waters with the latest tectonic structure in the lake area. Glubokoe (Moscow region)]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering], 2024, vol. 335, no. 12, pp. 173–183. (in Russian)

Glukhova S.A., Kharitonova N.A., Sukhanova T.V. Vliyanie Klepikovskogo progiba na gidrogeologicheskie usloviya tsentralnoi chasti Meshcherskoi vpadiny. [The influence of the Klepikovsky depression on the hydrogeological conditions of the central part of the Meshchera depression]. *Novye idei v naukakh o Zemle* [New Ideas in Earth Sciences], 2025, vol. 8, pp. 85–88. (in Russian)

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Angaro-Eniseiskaya. List O-48 (Ust'-Il'msk) [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Angara-Yenisei Series. Sheet O-48 (Ust'-Il'msk)]. Ed. by E.P. Mironyuk. Saint-Petersburg. Kartfabrika VSEGEI Publ., 2012. (in Russian)

Kashchavtsev V.E., Mishchenko I.T. *Soleobrazovanie pri dobyche nefi*. [Salt formation during oil production]. Moscow, Nedra Publ., 2004, 432 p. (in Russian)

Kurennoi V.V. Strukturno-gidrogeologicheskii analiz uslovii lokalizatsii podzemnykh vod Angaro-Lenskogo artezianskogo basseina. [Structural and hydrogeological analysis of the conditions for the localization of groundwater in the Angara-Lena artesian basin]. *Razvedka i okhrana nedr* [Prospecting and Protection of Mineral Resources], 2011, no. 9, pp. 24–32. (in Russian)

Kurchikov A.R., Plavnik A.G., Itskovich M.V. Sopostavlenie gidrogeokhimicheskikh i geodinamicheskikh uslovii glubokikh gorizontov tsentral'noi chasti Zapadno-Sibirskogo megabasseina. [Comparison of hydrogeochemical and geodynamic conditions in the deep horizons of the central part of the West Siberian mega-basin]. *Vodnye resursy* [Water Resources], 2020, vol. 47, no. 3, pp. 312-321. (in Russian)

Posokhov E.V. *Formirovanie khimicheskogo sostava podzemnykh vod (osnovnye faktory)*. [Formation of the chemical composition of groundwater (main factors)]. Leningrad, Gidrometeorologicheskoe izdatelstvo Publ., 1969, 334 p. (in Russian)

Abdullah M.A., Jemaa N.C.B., Saleh, S.A. Controls on groundwater quality: Hydro-Morphometric, Stratigraphic, Structural & Isotopic indicators, Al-Jirnaf Valley watershed, Iraq. *Carbonates Evaporites*, 2025, vol. 112. <https://doi.org/10.1007/s13146-025-01144-7>.

Gibbs R.J. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 1970, vol. 170 (3962), pp. 1088-1090. <https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088>

You J., Qi Yu., Shao G., Ma Ch. Geochemical Characteristics and Controlling Factors of Groundwater Chemical Composition in the Zihe River Source Area, Shandong, China. *Water*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 298, <https://doi.org/10.3390/w16020298>

Kozłowski M., Komisarek J. Groundwater chemistry and hydrogeochemical processes in a soil catena of the Poznań Lakeland, central Poland. *J. Elem.* 2017, vol. 22, no. 2, pp. 681-695. <https://doi.org/10.5601/jelem.2016.21.2.1165>

Mei-hui Zhang, Shi-yang Zhou, Dan-dan Liu et al. Characteristics and genesis of groundwater salinization in coastal areas of the Lower Reaches of Oujiang Basin. *J. Groundw. Sci. Eng.*, 2024, vol. 12, iss. 2, pp. 190-204. <https://doi.org/10.26599/JGSE.2024.9280015>

Msengi C., Mjemah I., Makoba E. Hydrogeochemical characterization and assessment of factors controlling groundwater salinity in the Chamwino granitic complex, central Tanzania. *Heliyon*, 2024, vol. 10, no. 3, pp. 28187. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28187>

Oddo J.E., Tomson M.B. Metod predicts well bore scale, corrosion. *Oil and Gas*, 1998, vol. 96, pp. 107-114.

Piper A.M. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water-analyses. *Neurochem. Int.*, 1984, vol. 6, pp. 27-39.

Kreuzer R.L., Darrah T.H., Grove B.S. et al. Structural and Hydrogeological Controls on Hydrocarbon and Brine Migration into Drinking Water Aquifers in Southern New York. *Ground Water*, 2018, vol. 56, no. 8, pp. 225-244. <https://doi.org/10.1111/gwat.12638>

Sun Q., Yang K., Li C. et al. Analysis on the Chemical Characteristics and Genesis of Drinking Groundwater in Rural Areas of Suihua City, Northeast China. *Environmental Forensics*, 2024, vol. 25, no. 6, pp. 614-625, <https://doi.org/10.1080/15275922.2023>

Valdes D., Laignel B. A spatial analysis of structural controls on Karst groundwater geochemistry at a regional scale. *Journal of Hydrology*, 2007, vol. 340, no. 3, pp. 244-255. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.04.014>

Xiaoqing Wang, He Jinxian, Zhang Guchun et al. Hydrochemical Characteristics and Genesis Analysis of Closed Coal Mining Areas in Southwestern Shandong Province, China. *Eng.* 2025a, vol. 6 (7), pp. 164. <https://doi.org/10.3390/eng6070164>

Xinfeng Wang, Yan Wang, Ge Gao et al. Hydrochemical Characteristics and Genesis of Groundwater in Taoshan Granite Body, Yushan Uplift Area, South Jiangxi, China. *Water*, 2025b, vol. 17, no. 7, pp. 974. <https://doi.org/10.3390/w17070974>

Zuobing Liang, Jianyao Chen, Tao Jiang et al. Identification of the dominant hydrogeochemical processes and characterization of potential contaminants in groundwater in Qingyuan, China, by multivariate statistical analysis. *RSC Adv.*, 2018, vol. 8, pp. 33243-33255. <https://doi.org/10.1039/C8RA06051G>

Сведения об авторах

Русакова Юлия Олеговна

главный специалист

ООО «РН-Геология Исследования
Разработка»

Россия, 625048, г. Тюмень,

ул. Максима Горького, 42

e-mail: YuO_Rusakova@rn-gir.rosneft.ru

Information about the authors

Rusakova Yulia Olegovna

Chief Specialist

Limited Liability Company "RN-Geology
Research Development"

42, Maxim Gorky st., Tyumen, 625048,

Russian Federation

e-mail: YuO_Rusakova@rn-gir.rosneft.ru

Храмцова Анна Леонидовна

ведущий специалист

ООО «РН-Геология Исследования

Разработка»

Россия, 625048, г. Тюмень,

ул. Максима Горького, 42

e-mail: AL_Khramtsova@rn-gir.rosneft.ru

Khramtsova Anna Leonidovna

Leading Specialist

*Limited Liability Company “RN-Geology
Research Development”,*

42, Maxim Gorky st., Tyumen, 625048,

Russian Federation

e-mail: AL_Khramtsova@rn-gir.rosneft.ru

Код научной специальности: **1.6.6**

Статья поступила в редакцию **25.06.2026**; одобрена после рецензирования **07.09.2026**; принята к публикации **14.09.2026**

The article was submitted **June, 25, 2026**; approved after reviewing **September, 07, 2026**; accepted for publication **September, 14, 2026**