

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ

Оригинальная статья

УДК 553.98:556.36:553.042(571.56-15)

<https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2025.06>

Гидрогеологические условия подсолевого этажа Мирнинского свода с позиций использования пластовых вод как источника гидроминерального сырья

Р.Ф. Севостьянова¹ ✉, Л.А. Абукова²

1 – Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения РАН, Россия, 677980, Якутск, ул. Октябрьская, д. 1

2 – Институт проблем нефти и газа РАН, Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3

Аннотация. *Актуальность.* Повышение рентабельности нефтегазовых месторождений на поздних стадиях жизненного цикла требует привлечения дополнительных технологических решений освоения минерально-энергетического потенциала геологической среды. Одним из доступных, малозатратных, геологически и экономически оправданных решений может стать извлечение стратегически важных компонентов из подземных вод, внедряющихся в залежь по мере падения пластового давления. *Цель работы.* Анализ основных гидрогеологических параметров продуктивных горизонтов Мирнинского свода как региона, в пределах которого возможна совмещенная добыча углеводородов и промышленно ценных компонентов пластовых вод. *Материалы и методы.* Фактические данные по пластовым давлениям, гидрохимическому составу подземных вод Мирнинского свода, обладающего высоким нефтегазовым потенциалом, а также возможностью освоения гидроминеральных ресурсов. Использованы стандартные методы обработки гидрохимических материалов, методы гидрохимического моделирования и расчета гидродинамических потенциалов. *Результаты.* Выявлены основные особенности динамики и состава подземных вод Мирнинского свода, которые возможно использовать в качестве гидроминерального сырья. Отмечено, что воды вендского комплекса содержат в промышленных концентрациях йод (до 13,5 мг/дм³) и бром (до 5260 мг/дм³), литий (до 10 мг/дм³), стронций (до 2500 мг/дм³), рубидий (до 3 мг/дм³). *Выводы.* Важно, что на месторождениях углеводородов Мирнинского свода проявляется резкая геофлюидодинамическая неоднородность, обусловленная тектонической блочностью. Это позволяет вести одновременную независимую добычу углеводородного и гидроминерального сырья, а также решать проблему утилизации отработанных вод в местных условиях. Для полноценного научного обоснования перспектив использования подземных вод месторождений Мирнинского свода в качестве гидроминерального сырья необходима разработка и реализация программы детальных работ по уточнению гидрохимических и гидродинамических параметров пластовых систем, геолого-экономической оценки рентабельности извлечения промышленно ценных микроэлементов.

Ключевые слова: литий, бром, стронций, йод, высокоминерализованные рассолы, субгидростатические пластовые давления, гидродинамические потенциалы, венд-кембрийские отложения, терригенно-карбонатный комплекс, Восточная Сибирь

✉ Севостьянова Розалия Федоровна, rose_sevos@mail.ru

© Севостьянова Р.Ф., Абукова Л.А., 2025



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания ИПНГ СО РАН (тема № 125020301277-6) и ИПНГ РАН (тема № 125021302095-2).

Для цитирования: Севостьянова Р.Ф., Абукова Л.А. Гидрогеологические условия подсолевого этажа Мирнинского свода с позиций использования пластовых вод как источника гидроминерального сырья // Актуальные проблемы нефти и газа. 2025. Т. 16, № 1. С. 36–49. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2025.06>

Введение

Мирнинский свод, расположенный в пределах Непско-Ботубинской антеклизы Сибирской платформы, по тектоническим, литологическим, геофлюидодинамическим критериям признается одним из наиболее перспективных геологических регионов по освоению углеводородного потенциала. Здесь открыт ряд крупных месторождений углеводородов (УВ), установлено, что пластовые воды обогащены промышленно ценными компонентами.

Осадочный чехол, состоящий из над-солевого и подсолевого гидрогеологических этажей, в разрезе более пяти продуктивных комплексов, характеризуется повсеместным распространением высокоминерализованных рассолов с высоким содержанием солей и щелочных металлов. Подземные воды глубокозалегающих венд-нижнекембрийских продуктивных горизонтов представляют промышленный интерес в качестве источника минерального сырья.

Целью работы является детальный гидродинамический и гидрохимический анализ особенностей химического состава и динамики пластовых вод, которые могут рассматриваться в качестве гидроминерального сырья.

Материалы и методы

В основу работы положены фактические данные по пластовым давлениям, гидрохимическому составу подземных вод, собранные из опубликованных источников, а также фондовых материалов ОАО «Саханефтегаз», ПГО

«Ленанефтегазгеология», АО «Якутскгеофизика», ЯИГН СО РАН, ИПНГ СО РАН.

Методы исследования: стандартные методы обработки гидрохимических материалов, гидрохимическое моделирование, расчеты гидродинамических потенциалов.

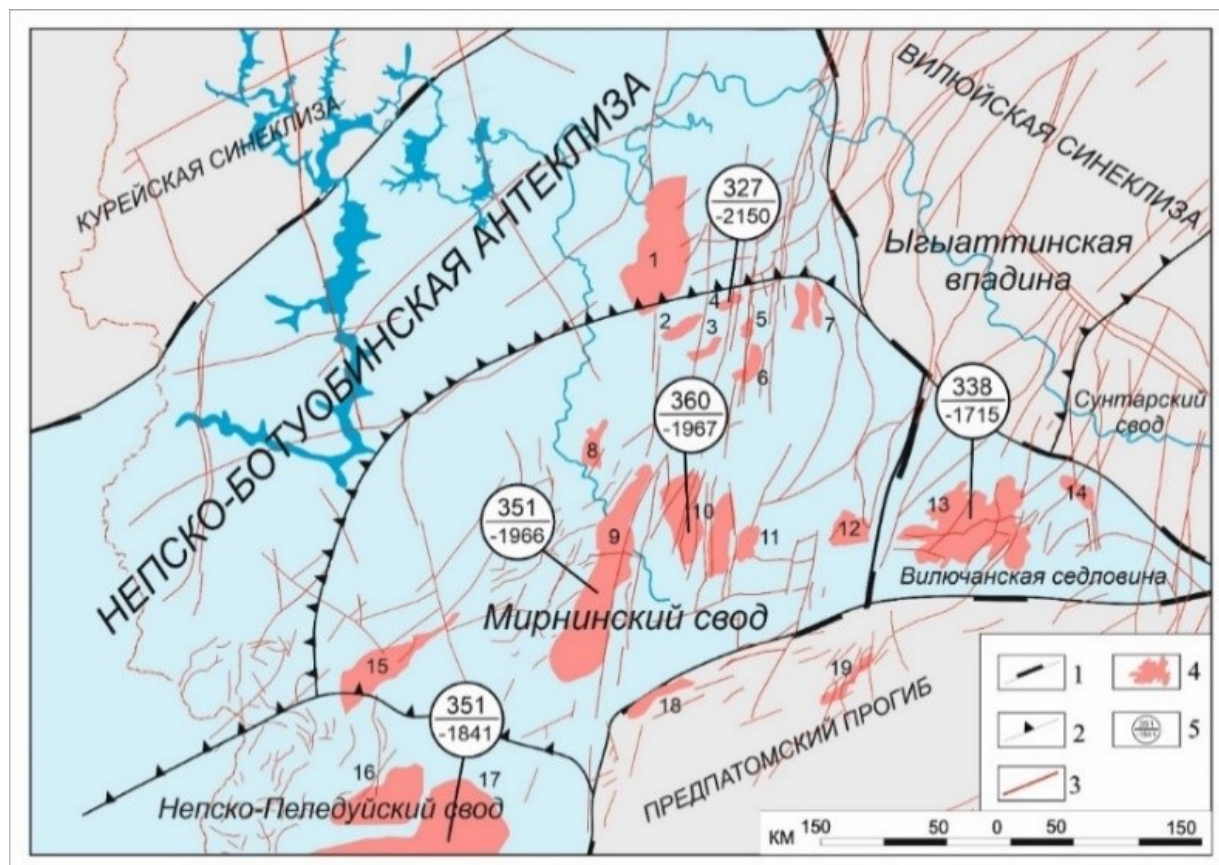
Результаты и обсуждение

Краткие сведения о стратификации подсолевого гидрогеологического этажа Мирнинского свода

На Мирнинском своде – структуре первого порядка Непско-Ботубинской антеклизы (НБА) Сибирской платформы – открыты более 10 месторождений УВ – Среднеботубинское, Таас-Юряхское, Иреляхское, Мирнинское и другие нефтегазоконденсатные месторождения (НГКМ), см. рис. 1.

В разрезе подсолевого этажа исследуемой территории выделяются пять гидрогеологических комплексов: вендский, нижнекембрийский подсолевой, нижнекембрийский межсолевой, нижне-среднекембрийский и верхнекембрийский-юрский [1].

Все месторождения УВ расположены в нижнекембрийском и вендском подсолевых гидрогеологических комплексах. Основными продуктивными горизонтами с промышленными извлекаемыми запасами являются осинский (нижнекембрийский) и боубинский (вендский). В северной части Мирнинского свода продуктивен улаханский (вендский) горизонт [2].



Условные обозначения: 1 – надпорядковые структуры; 2 – структуры первого порядка; 3 – тектонические нарушения (по материалам АО «Якутскгеофизика»); 4 – месторождения УВ: 1 – Южно-Сюльдюкарское НГКМ, 2 – Маччобинское НГКМ, 3 – Мирнинское НГМ, 4 – Иреляхское НГКМ, 5 – Северо-Нелбинское НГКМ, 6 – Нелбинское НГКМ, 7 – Станыхское НГМ, 8 – Кубалахское НГКМ, 9 – Среднеботуобинское НГКМ, 10 – Таас-Юряхское НГКМ, 11 – Бэс-Юряхское ГМ, 12 – Иктехское НГКМ, 13 – Верхневилучанское НГКМ, 14 – Вилуюско-Джербинское ГМ, 15 – Илгычахское ГКМ, 16 – Бюкское ГКМ, 17 – Чаяндинское НГКМ; 5 – круг: числитель – минерализация пластовых вод (в г/дм³), знаменатель – глубина отбора (м)

Рис. 1. Обзорная карта якутской части Непско-Ботуобинской антеклизы

Fig. 1. Overview map of the Yakut part of the Nepa-Botuoba antecline

Источник: по материалам ИПНГ СО РАН, АО «Якутскгеофизика»

Source: based on research by IPNG SB RAS and Yakutskgeofizika JSC

Гидродинамическая обстановка подсолевого гидрогеологического этажа Мирнинского свода

В нижнекембрийском подсолевом гидрогеологическом комплексе пластовые давления близки к гидростатическим значениям (табл. 1): на глубинах 1450–1550 м пластовое давление составляет 13,9–15,8 МПа [1].

Однако основной особенностью подсолевого гидрогеологического этажа является проявление субгидростатического пластового давления. Дефицит пластового давления на таких месторождениях, как Среднеботуобинское, Таас-Юряхское, Иреляхское, оказывается весьма существенным [3].

Табл. 1. Термобарические показатели продуктивных горизонтов Мирнинского свода**Table 1.** Thermobaric indices of productive horizons of the Mirny arch

Месторождения	Возраст	Глубина залегания, м	Пластовое давление, МПа	Коэффициент аномальности	Пластовая температура, °С
Среднеботуобинское НГКМ	Є ₁	1450–1550	13,9–15,8	0,95–1,01	+8
	V	1875–1925	14–14,4	0,7	+12–14
	V	1917–1960	14,1	0,65	+13
Таас-Юряхское НГКМ	V	1602–1951	13,9–14,2	0,7–0,8	+10,8–11
	V	1914–1984	13,9–14,6	0,7	+9–11,2
Иреляхское НГКМ	V	2110–2198	13,7–15,8	0,6–0,7	+12–14
	V	2125–2180	14,1–16	0,7	+12–14
Северо-Нелбинское НГКМ	V	2031–2083	14,7	0,71	+10
Маччобинское НГКМ	V	2104–2155	15,4	0,72	+11
	V	2154–2190	15,3	0,7	+11

Источник: по материалам ПГО «Ленанефтегазгеология», ОАО «Саханефтегаз»

Source: based on research by Lenaneftegazgeologiya PGA and Sakhaneftgaz OJSC

Это характерно для вендского гидрогеологического комплекса, на глубинах 1917–1960 м пластовые давления составляют 14,1 МПа (см. табл. 1) [1, 4]. При этом величина дефицита пластового давления нарастает с глубиной, о чем говорят значения гидродинамических потенциалов, подсчитанных по осинскому и ботуобинскому продуктивным горизонтам Маччобинского и Среднеботуобинского НГКМ с применением методики М.К. Хабберта. Потенциальную энергию (Φ) в любой точке пластовой системы М.К. Хабберт выразил формулой [5]:

$$\Phi = g \cdot z + \frac{P}{\rho},$$

где Z – высота точки относительного уровня отсчета (водонефтяной контакт, газовой контактной);

P – пластовое давление, приведенное к уровню отсчета;

ρ – относительная плотность пластового флюида (относительно плотности чистой воды, равной 1,000 г/см³);

g – ускорение свободного падения, равное 9,8 м/с².

В субгидростатических условиях на территории Мирнинского свода гидродинамические потенциалы пластовой воды подсолевого гидрогеологического этажа изменяются от 1267 м²/с² до –4263,4 м²/с² на абсолютных отметках от –1141,9 до –1570 м. Естественно, что течение флюидов направлено от больших значений гидродинамических потенциалов к меньшим. Такой тренд изменения потенциалов в подсолевом гидрогеологическом этаже обеспечивает для жидких фаз, прежде всего воды, нисходящую миграцию, для газа, напротив, восходящую (табл. 2). Отсутствие данных не позволило выполнить подобный анализ для нефти.

Таким образом, в пределах подсолевого гидрогеологического этажа геофлюидодинамическая неоднородность обусловила региональное проявление дефицита пластового давления. Требуется специальные исследования по обоснованию притоков пластовых вод и рентабельному извлечению из них промышленно ценных компонентов.

Табл. 2. Рассчитанные гидродинамические потенциалы продуктивных горизонтов Мирнинского свода

Table 2. Calculated hydrodynamic potentials of productive horizons of the Mirny arch

Скважина	Абс. отм., м	Пластовое давление, МПа	Потенциал Φ , м ² /с ²			Продуктивный горизонт
			Вода	Нефть	Газ	
Среднеботуобинская, 25	-1141,9	15,2	1267	5992,3	-	Осинский
Среднеботуобинская, 41	-1541,5	14,1	-4224,6	-	53287,2	Ботуобинский
Среднеботуобинская, 54	-1561,4	14,2	-4080,2	-	53934,8	Ботуобинский
Среднеботуобинская, 25	-1570	14,3	-4263,4	-	54658,4	Ботуобинский
Маччобинская, 20405	-1752,1	15,3	-4884,7	-	56977,5	Ботуобинский
Маччобинская, 902	-1736	15,9	-4865,2	-	58325,9	Ботуобинский

Гидрохимические условия подсолевого гидрогеологического этажа Мирнинского свода

Пластовые воды Мирнинского свода древние – такие, как правило, отличаются высоким насыщением редкими элементами, имеющими большое промышленное значение. Ряд ученых (Анциферов А.С., Алексеев С.В., Букаты М.Б., Вахромеев А.Г., Вожов В.И., Дзюба А.А., Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Литвинова И.В., Новиков Д.А., Шварцев С.Л. и др.) посвятили свои исследования оценке минерального потенциала подземных вод Восточной Сибири [6–8], в частности, пластовых вод Мирнинского свода. Аналогичные исследования проведены и по другим регионам мира [9–11].

Важно отметить, что к настоящему времени разработано несколько технологий извлечения из пластовых вод таких ценных компонентов, как литий¹, рубидий, бром, стронций, йод и др. [12].

Пластовые воды карбонатного нижнекембрийского гидрогеологического

комплекса имеют высокую минерализацию (до 480–550 г/дм³) и являются сильно метаморфизованными рассолами хлоридно-кальциевого состава с высоким содержанием брома. Коэффициент rNa/rCl имеет тенденцию к уменьшению с глубиной до уникально низких значений (рис. 2).

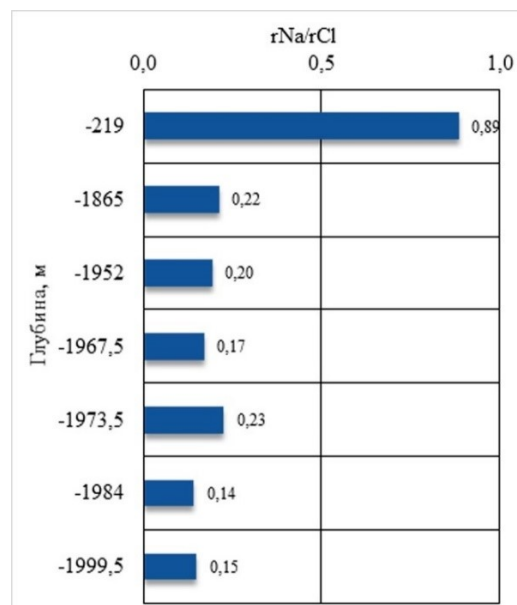


Рис. 2. Распределение гидрогеохимического коэффициента rNa/rCl Таас-Юряхского НГКМ

Fig. 2. Distribution of the hydrogeochemical coefficient rNa/rCl of the Taas-Yuryakh oil and gas condensate field

Источник: по материалам ПГО «Ленанефтегазгеология»

Source: based on research by Lenaneftegazgeologiya PGO

¹ Сахабутдинов Р.З., Губайдулин Ф.Р., Кудряшова Л.В. и др. Пат. RU 2720420 С1. Способ сорбционного извлечения лития из литийсодержащих рассолов. № 2019113881; Заявл. 06.05.2019; Опубл. 29.04.2020 // Изобретения. Полезные модели. 2020. Бюл. № 13. 7 с.

Воды бессульфатные с высоким содержанием брома (3000 мг/дм^3), калия (5000 мг/дм^3), стронция ($>1500 \text{ мг/дм}^3$), йода (до $5\text{--}28 \text{ мг/дм}^3$) и редких щелочных элементов.

Газонасыщенность пластовой воды $400 \text{ см}^3/\text{л}$. Водорастворенные газы относятся к метановому типу, на долю метана приходится $80\text{--}90\%$, тяжелых углеводородов – более 4% . Из неуглеводородных газов присутствуют азот ($4\text{--}11\%$), гелий ($0,06\text{--}0,18\%$), аргон ($0,06\text{--}0,23\%$). Содержание кислых компонентов не установлено.

Минерализация пластовых вод *вендского терригенного комплекса* также предельно высока (рис. 3). В рассолах ботубобинского горизонта в промышленных концентрациях содержатся микроэлементы: йод (до $13,5 \text{ мг/дм}^3$) и бром (до 5260 мг/дм^3).

Кроме того, пластовые воды в промышленных концентрациях содержат редкие элементы: литий – 10 мг/дм^3 , стронций – 2500 мг/дм^3 , рубидий – 3 мг/дм^3 (табл. 3). Сульфатность рассолов незначительная, это свидетельствует о высокой степени метаморфизма.

Содержание лития в пластовых водах колеблется в широких пределах на территории всей Восточной Сибири. В Иркутской области на Непско-Ботубобинской антеклизе зафиксированы концентрации от 30 до $69,6 \text{ мг/дм}^3$. В Республике Саха (Якутия) на территории кимберлитовой трубки «Удачная» (надсолевой гидрогеологический этаж) содержание лития достигает 300 мг/дм^3 [13, 14].

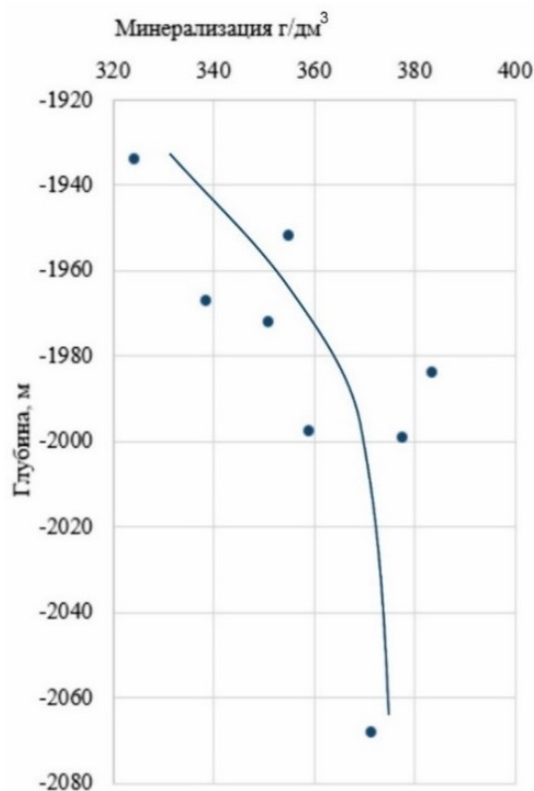


Рис. 3. График зависимости минерализации от глубины вендского терригенного комплекса Таас-Юряхского НГКМ

Fig. 3. Graph of mineralization dependence on depth of the Vendian terrigenous complex of the Taas-Yuryakh oil and gas condensate field

Источник: по материалам ПГО «Ленанефтегаз-геология»

Source: based on research by Lenaneftegazgeologiya PGA

Концентрация лития в подсолевых отложениях якутской части НБА низкая, но есть элементы, содержание которых существенно превышает промышленные показатели – это стронций, рубидий и бром (см. табл. 3).

На рис. 4 представлены графики изменения концентраций некоторых элементов гидроминерального сырья подсолевого этажа. Содержание лития, рубидия и стронция увеличивается с глубиной прямо пропорционально минерализации.

Табл. 3. Химический состав пластовых вод Таас-Юряхского НГКМ

Table 3. Chemical composition of formation waters of the Taas-Yuryakh oil and gas condensate field

Скв.	Интервал, м	pH	Минерализация, г/дм ³	Содержание микроэлементов, мг/дм ³				
				Sr	Li	Rb	Br	I
553	1982–1986	6,02	383,6	3698	6,2	4	6526	-
565	1965–1982	2,1	383,1	1800	13,5	7,8	5239	35,5
576	1950–1954	6,4	354,9	2000	14,4	7,8	5643	3,3
141-05	1934	3,5	324,2	1540	7,8	9,0	4718	6,5
141-04	1970–1975	3,3	350,9	2000	11,7	5,9	4451	9,0
141-03	1997–2002	2,4	377,8	2910	24,0	9,0	6286	8,2
575	2063–2073	4,2	371,3	2800	16,0	3,9	3219	-
577	1960–1975	2,7	338,5	-	-	-	4527	2,2
141-06	1875–1855	4,1	375,2	2310	10,1	5,7	5420	12,7

Источник: по данным ОАО «Саханефтегаз», ПГО «Ленанефтегазгеология»

Source: based on data from Sakhaneftegaz OJSC and Lenaneftegazgeologiya PGA

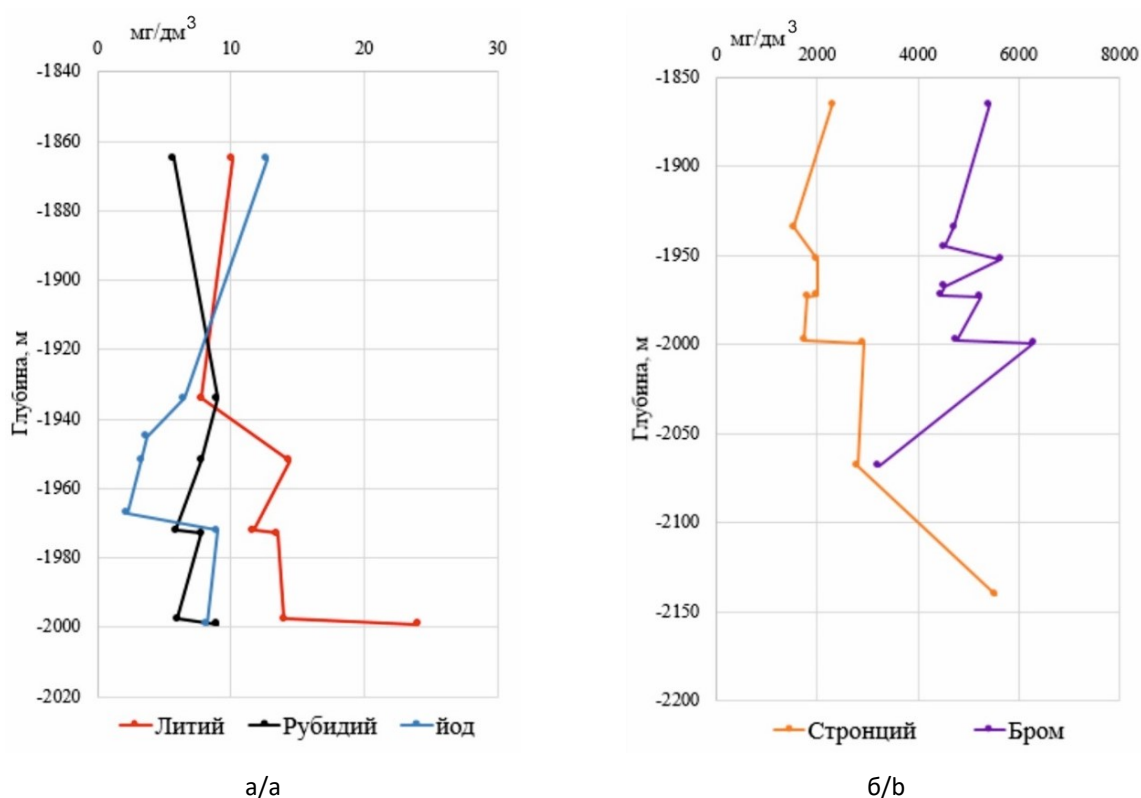


Рис. 4. Изменение содержания элементов с глубиной в пластовых водах вендского терригенного комплекса Мирнинского свода: а – литий, рубидий, йод; б – стронций, бром

Fig. 4. Elemental content change with depth in formation waters-of the Vendian terrigenous complex of the Mirny arch: a – lithium, rubidium, iodine; б – strontium, bromine

Источник: по материалам ОАО «Саханефтегаз», ЗАО «Иреляхнефть», ОАО «Ленанефтегаз»34
Source: based on research by Sakhaneftegaz OJSC, Irelyakhneft CJSC and Lenaneftegaz OJSC

Обращают на себя внимание низкие значения рН. В гидрохимическом отношении в Мирнинском свезде фиксируются резко сниженные показатели рН (табл. 4). Причина столь низкого уровня

значений водородного показателя до конца не ясна. Высказывается мнение, что причина кроется в восстановлении сульфат-иона до сероводорода в растворе, при котором образуется соляная кислота [15].

Табл. 4. Химический состав пластовых вод подсолевого этажа Среднеботуобинского НГКМ

Table 4. Chemical composition of formation waters of the subsalt level of the Srednebotuobinskoye oil and gas condensate field

Скв.	Плотность, кг/м ³ г/см ³	рН	Минерализация, г/дм ³	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
6	1,250	4,5	342,7	218433	186	732	88000	10300	21296
10	1,276	4,1	380,2	252000	89	1135	91880	15796	28287
15	1,262	5	351,1	224116	462	58	82164	11246	30182
12	1,251	5,9	340,4	217015	100	48	72400	7539	43290
32	1,285	4,05	338,6	249230	164	61	104709	13376	16793
16	1,280	4,4	389	251766	258	12	102000	12160	23128

Источник: по материалам ОАО «Саханефтегаз»

Source: based on research by Sakhaneftegaz OJSC

Есть и другое объяснение снижения рН, как следствия высокой ионной силы рассольных вод [16, 17]. Несомненно, вопрос требует уточнения, поскольку от достоверных значений водородного показателя во многом зависит качество гидрохимического моделирования растворения (осаждения) минеральных компонентов резервуаров месторождений УВ [18].

Выполненные расчеты анализов пластовых вод Среднеботуобинского месторождения показали, что воды, прежде всего терригенного комплекса, недонасыщены карбонатами и сульфатами кальция, что говорит об их способности выщелачивать минералы из матрицы пород-коллекторов, увеличивая таким образом объем пустотного пространства.

Из данных табл. 5 хорошо видно, что, несмотря на высокую минерализацию, пластовые воды не только недонасыщены карбонатом кальция, но и усиливают это качество с глубиной.

Проявляется и повышение степени недонасыщения ангидритом с глубиной. Такая особенность подземных вод является косвенным, но важным показателем развития процессов выщелачивания с глубиной.

Перспективы освоения гидроминерального сырья в пределах Мирнинского свода

Как следует из проведенного анализа, подземные воды глубокопогруженных объектов, находящиеся под влиянием геохимических факторов повышения объема пустотного пространства резервуаров, представляют особый интерес для анализа пригодности вод выступать в качестве гидроминерального сырья. По мере углубления ботуобинского комплекса содержание в водах промышленно ценных компонентов будет возрастать, причем синхронно с улучшением емкостно-фильтрационных свойств резервуаров.

Табл. 5. Результаты расчетов степени солеотложений CaCO_3 и CaSO_4 из промысловых вод подсолевого Среднеботуобинского НГКМ**Table 5.** Results of calculations of the degree of salt deposition of CaCO_3 and CaSO_4 from the production waters of the subsalt Srednebotuobinskoye oil and gas condensate field

Скв.	Интервал отбора, м	S CaCO_3	S CaSO_4	Минерализация, г/дм ³	Горизонт
23	1903–1908	0,00	-0,34	338,7	Ботуобинский
15	1905,6–1912	-0,75	0,72	351,1	Ботуобинский
12	1902–1925,8	-0,09	-0,04	340,4	Ботуобинский
32	1926	-1,33	0,45	338,6	Ботуобинский
16	1946–1952	-1,70	0,64	389	Ботуобинский

Примечание: параметры модели: $P_{пл} = 10 \div 15$ МПа, $T_{пл} = 0 \div 20$ °С, pH = 5,4.

Источник: по материалам ОАО «Саханефтегаз», ПГО «Ленанефтегазгеология»

Source: based on research by Sakhaneftegaz OJSC and Lenaneftegazgeologiya PGO

На этой основе можно считать, что первоочередным объектом для постановки специальных исследований по оценке минерального потенциала пластовых вод на Мирнинском своде будет вендский гидрогеологический комплекс (ботуобинский горизонт). Поскольку месторождения УВ Мирнинского свода характеризуются разломно-блоковым строением, а также значительной геофлюидодинамической неоднородностью, появляется возможность вести одновременную независимую добычу углеводородного и гидроминерального сырья, а также решать проблему утилизации отработанных вод в местных условиях.

Выводы

На Мирнинском своде, несмотря на повышенные концентрации ряда промышленно ценных компонентов, вопрос о целесообразности их извлечения из подземных вод требует дополнительного изучения. В целом постановка специальных исследований, направленных на изучение минерального потенциала подземных вод Мирнинского свода, может привести к важным научно-практическим результатам, к которым можно отнести: (1) формирование концепции экологически чистой и одновременной добычи углеводородного

и гидроминерального сырья на месторождениях углеводородов Мирнинского свода, находящихся на разных стадиях разработки; (2) ранжирование месторождений по перспективности и технической возможности извлечения промышленно ценных компонентов попутных вод; (3) обоснование возможностей местного захоронения отработанных вод на основе анализа распределения полей гидродинамических потенциалов по отдельным тектоническим блокам разрабатываемых месторождений; (4) анализ применимости мирового и отечественного опыта извлечения промышленно ценных компонентов из пластовых и попутных вод разрабатываемых месторождений УВ; (5) апробация (на основе экспериментальных и полевых работ) основных технологических операций по последовательному извлечению ценных компонентов природных и попутных вод; (6) прогноз временной устойчивости концентраций дефицитных редких металлов и дебитов природных и попутных вод на отдельных промыслах; (7) геолого-экономический анализ рентабельности извлечения ценных компонентов подземных вод, предварительная оценка номенклатуры потенциальной конечной продукции.

Вклад авторов

Р.Ф. Севостьянова – сбор данных, подготовка текста.

Л.А. Абукова – формулировка идеи и целей исследования, редактирование текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список источников

1. *Анциферов А.С.* Гидрогеология древнейших нефтегазоносных толщ Сибирской платформы. М.: Недра, 1989. 176 с.
2. *Фомин А.М., Губин И.А., Моисеев С.А., Конторович А.Э.* Современное состояние региональной геолого-геофизической изученности центральных и южных районов Республики Саха (Якутия) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2022. № S11. С. 43–48. <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2022-11c-43-48>
3. *Севостьянова Р.Ф.* Геофлюидодинамические условия в подсолевом комплексе продуктивных горизонтов в северной части Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области // Актуальные проблемы нефти и газа. 2022. Вып. 3(38). С. 19–27. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2022-38.art2>
4. *Абукова Л.А., Яковлев Ю.И.* Геоэкологическая концепция разработки месторождений нефти с низким гидродинамическим потенциалом // Нефтепромысловое дело. 2008. № 5. С. 15–18.
5. *Hubbert M.R.* Entrapment of petroleum under hydrodynamic condition // AAPG Bulletin. 1953. Vol. 37, No. 8. P. 954–1026. <https://doi.org/10.1306/5ceadd61-16bb-11d7-8645000102c1865d>
6. *Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Вахромеев А.Г.* и др. Литиевые подземные воды Иркутской области и Западной Якутии // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20, № 1. С. 27–33.
7. *Шварцев С.Л., Алексеев С.В., Вахромеев А.Г., Алексеева Л.П.* Перспективы использования промышленных рассолов Сибирской платформы для извлечения лития и брома // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. Т. 2, № 1. С. 30–34.
8. Гидрогеологические условия месторождений нефти и газа Сибирской платформы: Сб. научных трудов / Сост. В.И. Вожов. М.: Недра, 1987. 204 с.
9. *Huang K.Z., Zhang H.* Highly efficient bromide removal from shale gas produced water by unactivated peroxymonosulfate for controlling disinfection byproduct formation in impacted water supplies // Environmental Science & Technology. 2020. Vol. 54, No. 8. P. 5186–5196. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06825>
10. *McDevitt B., McLaughlin M.C., Vinson D.S.* et al. Isotopic and element ratios fingerprint salinization impact from beneficial use of oil and gas produced water in the Western U.S. // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 716. P. 137006. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137006>
11. *Harkness J.S., Warner N.R., Ulrich A.* et al. Characterization of the boron, lithium, and strontium isotopic variations of oil sands process-affected water in Alberta, Canada // Applied Geochemistry. 2018. Vol. 90. P. 50–62. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.12.026>
12. *Рамазанов А.Ш., Атаев Д.Р., Каспарова М.А.* Получение карбоната лития высокого качества из литийсодержащих природных рассолов // Известия высших учебных

заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2021. Т. 64, № 4. С. 52–58.
<https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216404.6238>

13. *Ключарев Д.С., Михеева Е.Д.* К вопросу о содержаниях лития и попутных компонентов в промышленных водах перспективных площадей территории России // Разведка и охрана недр. 2020. № 4. С. 53–60.

14. *Дроздов А.В.* Горно-геологические и технологические проблемы при строительстве подземного рудника «Удачный» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 2. С. 125–131.

15. *Сидкина Е.С., Новиков Д.А., Шварцев С.Л.* Равновесие подземных рассолов западной части Тунгусского артезианского бассейна с минералами вмещающих пород // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 364. С. 187–192.

16. *Bern C.R., Birdwell J.E., Jubb A.M.* Water–rock interaction and the concentrations of major, trace, and rare earth elements in hydrocarbon-associated produced waters of the United States // Environmental Science: Processes & Impacts. 2021. Vol. 23, No. 8. P. 1198–1219.
<https://doi.org/10.1039/d1em00080b>

17. *Абдрашитова Р.Н., Матусевич В.М., Куликов Ю.А.* Гидрогеологические условия формирования залежей нефти Фроловской нефтегазоносной области // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2010. № 5(83). С. 10–18.

18. *Абрамова О.П., Абукова Л.А., Попов С.Н.* Проблемы повышения достоверности компьютерных моделей природного и техногенного солеотложения в геологической среде // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. С. 68. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=4734> (дата обращения: 14.04.2025).

Информация об авторах

Розалия Федоровна Севостьянова – и.о. заведующего лабораторией, научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения РАН, Якутск, Россия; SPIN-код: 3827-1218, <https://orcid.org/0000-0003-2804-0189>; e-mail: rose_sevos@mail.ru

Лейла Азретовна Абукова – д.г.-м.н., заведующая лабораторией, главный научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия; SPIN-код: 4282-3946, <https://orcid.org/0000-0002-8984-7907>; e-mail: abukova@ipng.ru

Поступила в редакцию 01.03.2025

Принята к публикации 02.04.2025

NEW METHODS AND TECHNOLOGIES OF STUDYING THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF OIL AND GAS BASINS

Original article

<https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2025.06>

Hydrogeological conditions of the subsalt level of the Mirny arch from the standpoint of using formation waters as a source of hydromineral raw materials

Rozaliya F. Sevostianova¹ ✉, Leyla A. Abukova²

1 – Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1 Oktyabrskaya St., Yakutsk, 677980, Russia

2 – Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, 3 Gubkina St., Moscow, 119333, Russia

Abstract. *Background.* Increasing the profitability of oil and gas fields at the late stages of their life cycle requires the involvement of additional technological solutions for the development of the mineral and energy potential of the geological environment. One of the affordable, low-cost, geologically and economically justified solutions may be the extraction of strategically important components from groundwater infiltrating the deposit in the course of reservoir pressure drop. *Objective.* To analyze the hydrogeological conditions of the Mirny arch as a region within which combined extraction of hydrocarbons and industrially valuable components of formation waters is possible. *Materials and methods.* The study drew on the factual data on formation pressures, hydrochemical composition of groundwater of the Mirny arch, which has a high oil and gas potential, as well as the possibility of developing hydromineral resources. Standard methods of processing hydrochemical materials, hydrochemical modeling, calculations of hydrodynamic potentials were used. *Results.* The main features of the dynamics and composition of groundwater in the Mirny arch, which can be used as hydromineral raw materials, were identified. The waters of the Vendean complex were noted to contain iodine (up to 13.5 mg/dm³) and bromine (up to 5,260 mg/dm³), lithium (up to 10 mg/dm³), strontium (up to 2,500 mg/dm³) and rubidium (up to 3 mg/dm³) in commercially viable concentrations. *Conclusions.* Significantly, the hydrocarbon fields of the Mirny arch exhibit sharp geofluid dynamic heterogeneity due to tectonic blockiness. This allows simultaneous independent production of hydrocarbon and hydromineral raw materials, as well as solving the problem of utilization of waste water in local conditions. For a full scientific substantiation of the prospects for using the groundwater of the Mirny Dome deposits as hydromineral raw materials, it is necessary to develop and implement a program of detailed work to clarify the hydrochemical and hydrodynamic parameters of the reservoir systems, as well as geological and economic assessment of the profitability of extraction of industrially valuable trace elements.

Keywords: lithium, bromine, strontium, iodine, highly mineralized brines, subhydrostatic reservoir pressures, hydrodynamic potentials, Vendian–Cambrian deposits, terrigenous-carbonate complex, Eastern Siberia

Funding: the work was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (State Assignments No. 125020301277-6 and No. 125021302095-2).

✉ Rozaliya F. Sevostianova, rose_sevos@mail.ru

© Sevostianova R.F., Abukova L.A., 2025



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

For citation: Sevostianova R.F., Abukova L.A. Hydrogeological conditions of the subsalt level of the Mirny arch from the standpoint of using formation waters as a source of hydromineral raw materials. *Actual Problems of Oil and Gas*. 2025. Vol. 16, No. 1. P. 36–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2025.06>

Author contributions

Rozaliya F. Sevostianova – data collection, text preparation.

Leyla A. Abukova – formulation of research concept and objectives, text editing.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

References

1. Antsiferov A.S. *Hydrogeology of the Most Ancient Oil- and Gas-Bearing Strata of the Siberian Platform*. Moscow: Nedra, 1989. 176 p. (In Russ.).
2. Fomin A.M., Gubin I.A., Moiseev S.A., Kontorovich A.E. Current state of the regional geological and geophysical exploration maturity of the central and southern districts of the Republic of Sakha (Yakutia). *Geology and Mineral Resources of Siberia*. 2022. No. 11. P. 43–48. (In Russ.). <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2022-11c-43-48>
3. Sevostianova R.F. Geofluid dynamic conditions in the subsalt complex of productive horizons in the northern part of the Nepa-Botuoba oil and gas region. *Actual Problems of Oil and Gas*. 2022. No. 3(38). P. 19–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2022-38.art2>
4. Abukova L.A., Yakovlev Yu.I. Geocological concept of development of oil fields with low hydrodynamic potential. *Oilfield Engineering*. 2008. No. 5. P. 15–18. (In Russ.).
5. Hubbert M.R. Entrapment of petroleum under hydrodynamic condition. *AAPG Bulletin*. 1953. Vol. 37, No. 8. P. 954–1026. <https://doi.org/10.1306/5ceadd61-16bb-11d7-8645000102c1865d>
6. Alekseev S.V., Alekseeva L.P., Vakhromeev A.G. et al. Lithium-bearing underground waters of the Irkutsk region and Western Yakutia. *Chemistry for Sustainable Development*. 2012. Vol. 20, No. 1. P. 21–27.
7. Shvartsev S.L., Alexeev S.V., Vakhromeev A.G., Alexeeva L.P. Perspective use of industrial brines in Siberian Platform for extract of lithium and bromine. *Interexpo Geo-Siberia*. 2012. Vol. 2, No. 1. P. 30–34. (In Russ.).
8. Vozhov V.I., comp. *Hydrogeological Conditions of Oil and Gas Fields in the Siberian Platform: Collected Papers*. Moscow: Nedra, 1987. 204 p. (In Russ.).
9. Huang K. Z., Zhang H. Highly efficient bromide removal from shale gas produced water by unactivated peroxydisulfate for controlling disinfection byproduct formation in impacted water supplies. *Environmental Science & Technology*. 2020. Vol. 54, No. 8. P. 5186–5196. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06825>
10. McDevitt B., McLaughlin M.C., Vinson D.S. et al. Isotopic and element ratios fingerprint salinization impact from beneficial use of oil and gas produced water in the Western U.S. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 716. P. 137006. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137006>

11. Harkness J.S., Warner N.R., Ulrich A. et al. Characterization of the boron, lithium, and strontium isotopic variations of oil sands process-affected water in Alberta, Canada. *Applied Geochemistry*. 2018. Vol. 90. P. 50–62. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.12.026>
12. Ramazanov A.Sh., Atayev D.R., Kasparova M.A. Obtaining high quality lithium carbonate from natural lithium-containing brines. *ChemChemTech*. 2021. Vol. 64, No. 4. P. 52–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216404.6238>
13. Klyucharev D.S., Mikheeva E.D. On the grade of lithium and by-products in lithium-bearing industrial groundwaters of potentially perspective territories of Russia. *Razvedka i okhrana nedr*. 2020. No. 4. P. 53–60. (In Russ.).
14. Drozdov A.V. Mining-and-geological and engineering problems in construction of Udachny underground mine. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015. No. 2. P. 125–131. (In Russ.).
15. Sidkina E.S., Novikov D.A., Shvartsev S.L. Equilibrium of underground brines of western part of Tunguska artesian basin and minerals of enclosing rocks. *Tomsk State University Journal*. 2012. No. 364. P. 187–192. (In Russ.).
16. Bern C.R., Birdwell J.E., Jubb A.M. Water–rock interaction and the concentrations of major, trace, and rare earth elements in hydrocarbon-associated produced waters of the United States. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2021. Vol. 23, No. 8. P. 1198–1219. <https://doi.org/10.1039/d1em00080b>
17. Abdrashitova R.N., Matusevich V.M., Kulikov Yu.A. Hydrogeological conditions of oil deposits generation in Frolovskaya oil-and-gas bearing region. *Oil and Gas Studies*. 2010. No. 5(83). P. 10–18. (In Russ.).
18. Abramova O.P., Abukova L.A., Popov S.N. Problems of increasing reliability of computer models natural and man-made scaling in the geological environment. *Modern Problems of Science and Education*. 2011. No. 4. P. 68. (In Russ.). URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=4734> (accessed 14 April 2025).

Information about the authors

Rozaliya F. Sevostianova – Acting Head of Laboratory, Researcher, Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-2804-0189>; e-mail: rose_sevos@mail.ru

Leyla A. Abukova – Dr. Sci. (Geol.-Min.), Head of Laboratory, Chief Researcher, Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-8984-7907>; e-mail: abukova@ipng.ru

Received 1 March 2025

Accepted 2 April 2025