

УДК 556.3:546.43+553.982(571.1)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПОВЫШЕННОМ СОДЕРЖАНИИ БАРИЯ В ПЛАСТОВЫХ ВОДАХ НИЖНЕМЕЛОВЫХ И ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ КРАСНОЛЕНИНСКОГО СВОДА (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Татьяна Алексеевна Киреева^{1✉}, Анна Вадимовна Корзун²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; ta_kireeva@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; a_korzun@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования химического состава пластовых вод нижнемеловых, юрских и палеозойских отложений двух нефтяных месторождений Краснolenинского свода Западной Сибири. Показано, что содержание бария в пластовых водах месторождений составляет 35–78 мг/дм³, что на порядок больше его содержания в большинстве пластовых рассолов с минерализацией от 80 до 260 г/дм³, при том что минерализация изучаемых пластовых вод не превышает 16–18 г/дм³. В водах пород юрского возраста отмечено опережающее накопление бария по отношению к стронцию и практически равное содержанию кальция, что отразилось на величине отношения Ca:Sr:Ba, составившего 100:10:100, в то время как для большинства пластовых рассолов и океанской воды это отношение составляет 100:10:0,01. Подобное аномально высокое по отношению к минерализации пластовых вод содержание бария может объясняться его поступлением в бассейн осадконакопления в составе глубинных термальных вод.

Ключевые слова: микрокомпоненты, барий, воды нефтяных месторождений, солеотложение

Для цитирования: Киреева Т.А., Корзун А.В. Новые данные о повышенном содержании бария в пластовых водах нижнемеловых и юрских отложений Краснolenинского свода (Западная Сибирь) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 6. С. 124–128.

NEW DATA ON THE INCREASED CONTENT OF BARIUM IN THE FORMATION WATERS OF THE LOWER CRETACEOUS AND JURASSIC DEPOSITS OF THE KRASNOLENNINSKY DOME (WESTERN SIBERIA)

Tatiana Alekseevna Kireeva^{1✉}, Anna Vadimovna Korzun²

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ta_kireeva@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; a_korzun@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of a study of the chemical composition of the formation waters of the Lower Cretaceous, Jurassic and Paleozoic deposits of two oil fields of the Krasnoleninsky dome of Western Siberia. It is shown that the content of barium in formation waters of the fields is 35–78 mg/dm³, which is an order of magnitude higher than its content in most reservoir brines with a mineralization of about 80 to 260 g/dm³, while the mineralization of the studied reservoir waters does not exceed 16–18 g/dm³. In the waters of the rocks of the Jurassic age, an advancing accumulation of barium was noted, in relation to strontium and almost equal to the calcium content, which was reflected in the Ca:Sr:Ba ratio, which was 100:10:100, while for most reservoir brines and ocean water this ratio is 100:10:0.01. Such an anomalously high content of barium in relation to the salinity of formation waters can be explained by its entry into the sedimentation basin as part of deep thermal waters.

Key words: microcomponents, barium, water oil deposits, scaling

For citation: Kireeva T.A., Korzun A.V. New data on the increased content of barium in the formation waters of the Lower Cretaceous and Jurassic deposits of the Krasnoleninsky dome (Western Siberia). *Moscow University Geol. Bull.* 2022; 6: 124–128. (In Russ.).

Введение. Данные о содержании бария в глубоких (>1 км) пластовых водах артезианских бассейнов весьма немногочисленны. Это связано с тем, что сведения о составе пластовых вод в основном получают в результате химического анализа вод нефтяных месторождений, которые отбирают при их разведке и эксплуатации. Компоненты же химических анализов пластовых вод нефтегазовых месторождений строго регламентированы, и определение иона Ba²⁺ не

входит в список обязательных. Поэтому сведения о содержании этого элемента в пластовых водах носят отрывочный характер. В работе [Матусевич, 1976], посвященной микроэлементному составу пластовых вод Западной Сибири, приведено содержание иона Ba²⁺ в водах меловых и юрских отложений этого региона, но не сделано сравнение с другими регионами и не рассмотрены закономерности накопления Ba²⁺ в пластовых водах.

Таблица 1

Содержание иона Ba²⁺ в пластовых водах нефтяных месторождений и океанской воде

Объект, месторождение	Глубина отбора, м	M _{общ} , г/дм ³	Содержание микро-элементов, мг/дм ³			M _{общ} :Ba	Ca:Ba	Sr:Ba	Ca:Sr:Ba
			Ba ²⁺	Sr ²⁺	Ca ²⁺				
Океанская вода, по [Хорн, 1972]		35,1	0,03	8	400	1 1666 66	13 333	266	100:10:0,01
Имени Юрия Корчагина, Прикаспий	1875	76,7	0,40	118,8	4368,7	191 750,0	10 922	297	100:10:0,01
Заманкульское, Дагестан	2510	80,5	0,41	130	2300	196 341,5	5 610	317	100:10:0,01
Колганское, Оренбургская обл.	3650	235,0	450	54	32100	522,2	71	0,12	100:1:10
Курумбинское, Красноярский край	2430	206,6	5,5	н.д.	32 200	37 563,6	5 854,5		100:н.д:0,01
Манчаровское, Башкирия	1260	256,1	2,8	147,3	11 658	91 464,3	4 163,6	52,6	100:1:0,01
Красноленинский свод, Западная Сибирь, ВК	1410–1460	15,4	34,5	27,5	155,0	446,4	4,5	0,80	100:10:10
Красноленинский свод, Западная Сибирь, ДЮК	2360–2394	15,8	34,6	24,8	186,0	456,6	5,4	0,72	100:10:10
Красноленинский свод, Западная Сибирь, ЮК	2360–2460	17,7	78,8	11,7	296,3	224,6	3,8	0,15	100:10:100

Примечание: н.д. — нет данных.

В соответствии с тем, что Западная Сибирь до сих пор — основная нефтегазовая провинция России, представляется необходимым проанализировать новые данные о содержании бария в пластовых водах, что может иметь не только научный интерес, но и практическое значение. Эксплуатация нефтяных месторождений в этом и других регионах ведется с поддержанием пластового давления (ППД), для чего в пластовые воды месторождений закачивают поверхностные или вышезалегающие воды. Смешение вод разного химического состава часто приводит к отложению твердых минеральных осадков (солеотложению) в призабойных зонах скважин, в подземном и поверхностном оборудовании. Из отлагающихся минеральных соединений самые трудноудаляемые — сульфаты кальция, стронция и бария, поэтому необходимо предвидеть возможность отложения барита при повышенном содержании Ba²⁺ в пластовых водах.

Некоторые сведения о содержании бария в пластовых водах. Одновременно с барием мы приводим данные о содержании стронция, так как для понимания особенностей накопления бария в подземных водах имеет значение отношение Sr:Ba.

Источник бария и стронция в пластовых водах — воды бассейна осадконакопления и водовмещающие горные породы. Содержание бария и стронция в океанских водах, которые можно принять за основу вод бассейна осадконакопления, представлено в табл. 1. Видно, что в океанской воде отношение Ca:Sr:Ba составляет приблизительно 100:10:0,01.

Содержание бария в породах составляет 0,05 масс.%, что почти равно содержанию стронция (0,04 масс.%). Но в глинистых породах кларковое отношение Sr:Ba равно (%) 0,08:0,045, т. е. стронция содержится в 2 раза больше [Скива, 1970], что, вероятно, связано с лучшей сорбционной способностью стронция.

По мере концентрирования подземных вод, т. е. увеличения общей минерализации (M_{общ}), происходит увеличение содержания этих элементов до $n \cdot 10$ и $n \cdot 100$ мг/дм³ [Крайнов и др., 2004]. Однако, как показали наши расчеты, отношение Ca:Sr:Ba в пластовых водах многих нефтяных месторождений, которые представлены рассолами с M_{общ} от 80 до 260 г/дм³, остается практически аналогичным таковому в океанской воде, как, например, в водах нефтяных месторождений имени Юрия Корчагина (Прикаспий), Заманкульское (Дагестан), Курумбинское (Красноярский край), Манчаровское (Башкирия) (табл. 1). Это отношение остается близким, несмотря на то что в перечисленных месторождениях водовмещающие породы имеют разный литологический состав: в первых трех месторождениях — песчаники, а в Манчаровском месторождении — карбонаты (кальцит и доломит). Иногда эта закономерность нарушается. Например, в водах месторождения Колганское (Оренбургская область) с M_{общ} = 235 г/дм³ содержание Ba²⁺ в 10 раз превышает содержание Sr²⁺ (табл. 1), а отношение Ca:Sr:Ba составляет 100:1:10, т. е. в этом рассоле по сравнению с океанской водой резко увеличивается относительная доля стронция (в 10 раз) и бария (в 1000 раз). С чем связано такое резкое увеличение относительного содержания стронция и особенно бария в водах этого месторождения, сказать пока затруднительно. Возможно, опережающее накопление бария связано с некоторыми особенностями его гидрохимии, в частности с тем, что гидросульфид бария (BaS · 8H₂O) — достаточно хорошо растворимое соединение, имеющее растворимость (г/дм³) 38 и 101 при температуре 20 и 100 °С соответственно, поэтому барий может накапливаться в виде этой соли в высокотемпературных водах, содержащих растворенный сероводород. Для месторождений этой области характерно присутствие растворенного сероводорода в водах, но данные о

составе растворенных газов в водах месторождения Колганское у авторов отсутствуют.

Приведенные примеры показывают, что накопление бария и стронция в пластовых водах подвержено существенным колебаниям, однако в целом увеличение содержания Ba^{2+} в глубоких водах пропорционально концентрированию растворов, в которых обычно сохраняется опережающее накопление ионов Ca^{2+} и Sr^{2+} .

В работе [Кащавцев, Мищенко, 2004] отмечено, что отложения барита при разработке нефтяных месторождений с ППД встречаются в районах Большого Кавказа (Грозненские месторождения), но содержание бария в пластовых водах не приводится. В работе [Карцев и др., 1986] установлено, что наиболее высокие значения концентрации бария встречены в водах с довольно высокой температурой ($>80\text{ }^{\circ}\text{C}$) и не известны в подземных водах с температурой $40\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вероятно, это связано с тем, что растворимость некоторых солей бария ($BaCl_2$ и BaS) существенно повышается с ростом температуры. Растворимость же наименее растворимой сульфатной соли ($BaSO_4$) практически не увеличивается с ростом температуры.

В водах нефтяных месторождений Западной Сибири, по данным [Матусевич, 1976], содержание бария колеблется в пределах $n \cdot 0,01\text{ мг/дм}^3$ для меловых отложений практически на всей территории распространения, резко увеличиваясь до $n \cdot 1\text{ мг/дм}^3$ в юрских отложениях юго-восточной области, иногда достигая значений $n \cdot 10\text{ мг/дм}^3$. Отметим, что только в юго-восточных районах Западной Сибири в низах осадочного чехла распространены рассолы с минерализацией до 80 г/дм^3 , на остальной же территории $M_{\text{общ}}$ пластовых вод не превышает $20\text{--}25\text{ г/дм}^3$.

Материалы и методы исследований. С целью уточнения химического состава глубоких пластовых вод Западной Сибири и его влияния на процесс эксплуатации нефтяных месторождений проанализированы 34 глубинные пробы пластовой воды из двух нефтяных месторождений (названия месторождений привести невозможно, так как они находятся в разработке и публикация названий запрещена разрабатывающей организацией) Красноленинского свода (Западная Сибирь). Из этих проб 28 относится к водам пород викуловской свиты нижнемелового

возраста (BK_{1-3}), 4 пробы — к отложениям нижне-среднеюрского возраста ($ЮК_{2-9}$), 2 пробы — к водам доюрского комплекса (фундамент) палеозойского возраста (ДЮК).

Водовмещающие и нефтеносные породы представлены полевошпатовыми песчаниками с глинисто-карбонатным цементом. Домезозойские образования (PZ) в пределах Красноленинского свода сложены вулканогенно-осадочными породами — продуктами преобразования магматических и осадочных пород (песчаники, алевролиты, аргиллиты, базальты и туфогенные породы). В местах опробования породы сложены песчаниками с глинисто-карбонатным цементом. Отложения юрского возраста (J_{1-2}) выполнены неравномерным переслаиванием песчаников, алевролитов и глин (с некоторым преобладанием первых). К характерным особенностям пород относится их слабая сортировка, обилие растительного детрита, наличие пропластков и прослоев углей. Встречается пирит, изредка сидерит. Отложения нижнемеловой викуловской свиты (K_1vk) сформированы серыми и светло-серыми алевритами, уплотненными песками и песчаниками с прослоями серых алевритовых глин, реже глинистых известняков.

Определение концентрации основных ионов проводили на высокоэффективном ионном жидкостном хроматографе LC-20 (Shimadzu, Япония). Определение металлов выполнено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре iCAP 7600 Duo (Thermo Scientific Corporation, США). Результаты исследования (средние содержание) приведены в табл. 1 и 2.

Из полученных данных следует, что абсолютное содержание Ba^{2+} во всех исследованных водах нефтяных месторождений Красноленинского свода на 1–2 порядка больше его содержания в пластовых рассолах месторождений Заманкульское, имени Юрия Корчагина, Манчаровское и Куymbинское, изменяясь в пределах $34,6\text{--}78,8\text{ мг/дм}^3$ (табл. 1). При этом $M_{\text{общ}}$ вод месторождений Красноленинского свода не превышает 18 г/дм^3 , что, напротив, почти на порядок меньше $M_{\text{общ}}$ вод вышеуказанных месторождений, чьи пластовые воды представлены рассолами с $M_{\text{общ}} = 77\text{--}257\text{ г/дм}^3$. Таким образом,

Таблица 2

Содержание макрокомпонентов (мг/дм³) и некоторые показатели химического состава исследованных вод

Объект	pH	M, г/дм³	HCO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	SO_4^{2-}	Тип воды по В.А Сулину	Формула ионного состава
BK_{1-3}	7,9	15,3	1230,2	8295,2	151,2	69,4	5532,8	2,7	Гидрокарбонатно-натриевый (ГКН)	$\frac{Cl\ 92\ HCO_3\ 8}{(Na+K)95Mg2Ca3}$
ДЮК	7,6	15,8	941,84	8857,3	186,0	50,7	5783,0	1,5	Гидрокарбонатно-натриевый (ГКН)	$\frac{Cl\ 94\ HCO_3\ 6}{(Na+K)95Mg4Ca1}$
$ЮК_{2-9}$	7,5	17,7	975,1	10\ 006,6	296,3	68,9	6378,5	1,3	Хлоридно-кальциевый (ХК)	$\frac{Cl\ 95\ HCO_3\ 5}{(Na+K)93Mg2Ca5}$

увеличение содержания Ba^{2+} в этих водах никак нельзя связать с увеличением $M_{общ.}$

Величина отношения $M_{общ.}:Ba$, которая для глубинных рассолов месторождений имени Юрия Корчагина, Заманкульское, Куюмбинское и Манчаровское изменяется в пределах десятков и сотен тысяч, в водах месторождений Краснотенинского свода уменьшается в 4–10 раз и близко к значениям этой величины для рассолов месторождения Колганское (табл. 1). Аналогичные закономерности характерны для отношений $Ca:Ba$ и $Sr:Ba$.

Значения отношения $Ca:Sr:Ba$ в водах месторождений Краснотенинского свода также отличаются от аналогичного отношения во всех приведенных для сравнения рассолах (за исключением вод месторождения Колганское) и океанской воды и приблизительно равны 100:10:10 для вод ВК и ДЮК.

В водах отложений юрского возраста (ЮК) определено опережающее накопление бария относительно стронция, почти равное содержанию кальция. Соответственно, отношение $Ca:Sr:Ba$ становится приблизительно равным 100:10:100, это крайне аномальное значение, так как накопление бария в количестве, сравнимом с содержанием кальция, не отмечено ни в одном из приведенных для сравнения пластовых рассолов.

Результаты исследований и их обсуждение.

Увеличение отношения $M_{общ.}:Ba$ для вод месторождений Краснотенинского свода можно связать с высокой температурой пластовых вод, составляющей 72, 106 и 116 °С для ВК, ЮК и ДЮК соответственно, так как растворимость соли $BaCl_2$ с ростом температуры до 100 °С повышается до 588 г/дм³. Однако этим нельзя объяснить накопление бария в количестве, равном или превышающем содержание стронция, так как все соли стронция лучше растворимы, чем соли бария, а кларковое содержание последнего в породах и океанской воде существенно меньше содержания стронция, тем более это не объясняет значения концентрации бария, сравнимые с концентрацией кальция. Возможно, ответ следует искать в особенностях накопления нижнемеловых и особенно юрских отложений этого района, в водах которых выявлено максимальное содержание бария.

Особенности растворов бассейна осадконакопления можно оценить по составу поровых растворов пород, т. е. по составу остаточных «маточных» растворов, сохранившихся в закрытых порах. Состав поровых растворов пород баженовской свиты (БС), т. е. отложений, накапливавшихся в верхнеюрское время, изучен в работе [Казак и др., 2017]. В качестве одной из основных особенностей этих растворов отмечено аномально высокое содержание бария, в 3–15 раз превышающее содержание стронция. В поровых растворах БС отношение $Ca:Sr:Ba$ приблизительно соответствует 100:1,0:10,0, т. е. Ba^{2+} в 10 раз больше, чем Sr^{2+} , однако значительно меньше, чем Ca^{2+} .

В работе [Казак и др., 2017] высказано предположение, что барий мог накапливаться в поровых растворах пород БС в виде комплекса с сульфидом (HS^-), который мог образовываться в породах на стадии диагенеза в результате процесса сульфатредукции, весьма характерного для пород, содержащих повышенное количество органических веществ (ОВ). Для проверки этого предположения в работе [Киреева и др., 2020] были проанализированы поровые растворы из пород БС плотного сложения, как «нормального» состава, т. е. содержащих повышенное количество ОВ (6–13%), так и пород БС «аномальных» разрезов, которые характеризуются повышенной песчанистостью и содержанием $S_{орг}$ ~0,5%. В результате выяснилось, что хотя максимальному содержанию Ba^{2+} в поровых растворах и соответствовало максимальное содержание ОВ, но все же явная связь между содержанием в породах ОВ и концентрацией Ba^{2+} в поровых водах не выявлена.

В работе [Казак и др., 2017] установлено, что в породах БС содержание бария составляет 899–1254 мкг/кг, что значительно превышает кларковую концентрацию, равную 500 мкг/кг; как показали наши исследования, повышено содержание бария и в водовмещающих породах ВК относительно кларкового значения (до 1139, при среднем 690 мкг/кг). Поэтому возможен вынос Ba^{2+} из пород и обогащение им пластовых вод в условиях катагенеза и в процессе нефтегенерации. Однако последнее предположение не подтверждается данными В.М. Матусевича [Матусевич, 1976], который отмечал, что содержание бария в пластовых водах Западной Сибири уменьшается вблизи нефтяных залежей, т. е. барий переходит из воды в нефть, а не наоборот.

Вместе с тем есть еще один путь накопления бария в водах бассейна осадконакопления — поступление с гидротермами, сопровождающими вулканизм или разломную тектонику. Так, известны [Волостных, 1972] барит-полиметаллические жилы, образующиеся при изменении кристаллических пород среднетемпературными (300–400 °С) гидротермами. Подобные термы вполне могли поступать в бассейн волжского времени, для которого установлено проявление вулканической деятельности на территории накопления отложений БС [Перозин, Соколова, 1982]. Кроме того, в работах [Киреева, Казак, 2017; Зубков, 2019; Карпова и др., 2021] по данным РЭМ в породах БС установлено проявление гидротермального процесса.

Возможность обогащения барием термальных вод описана в работе [Бычков и др., 2016], в которой исследован микрокомпонентный состав вод термального углекислого источника Фируза-МГУ, находящегося в высокогорной (3925 м) области Памира (Таджикистан). В составе вод этого источника при минерализации 1,1 г/дм³ содержится 25 мг/дм³ Ba^{2+} , т. е. отношение $M_{общ.}:Ba$ составляет 44, что на порядок меньше минимального значения этого показателя для пластовых вод нефтяных месторождений

и доказывает возможность выноса значительного количества Ba^{2+} глубинными термальными водами.

Таким образом, повышенные значения концентрации иона Ba^{2+} в пластовых водах Красноленинского свода, вероятно, связаны с особенностями накопления пород юрского и раннемелового возраста в Западной Сибири и могут быть свойственны и другим нефтеносным площадям этого региона.

Сохранение высокого содержания иона Ba^{2+} в изученных водах, вероятно, связано с исключительно малым содержанием в этих водах сульфат-иона, которое не превышает $1-3 \text{ мг/дм}^3$. Бессульфатность вод вообще свойственна пластовым водам нефтяных месторождений, но в гидрокарбонатно-натриевых водах Западной Сибири эта особенность выражена особенно резко, вплоть до полного отсутствия иона SO_4^{2-} .

Впрочем, проблема аномального обогащения барием пластовых вод Красноленинского свода на этом примере не может считаться решенной, нами высказаны только возможные варианты ее объяснения. Основная же цель работы — обратить внимание на повышенное содержание бария в пластовых водах нефтяных месторождений Западной Сибири, что трудно предположить в связи с небольшой минерализацией вод, но следует учитывать в прогнозах солеотложения при разработке месторождений с применением системы поддержания пластового давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бычков А.Ю., Киреева Т.А., Салихов Ф.С. Условия формирования химического состава вод углекислого источник Фируза МГУ (Северный Памир) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2016. № 4. С. 47–52.

Волостных Г.Т. Аргиллизация и оруденение. М.: Недра, 1972. 240 с.

Зубков М.Ю. Тектоногидротермальные процессы в меловых отложениях Западной Сибири // Геология нефти и газа. 2019. № 1. С. 7–26.

Казак Е.С., Киреева Т.А., Казак А.В., Богданович Н.И. Ионно-солевой комплекс пород баженовской свиты Западной Сибири // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2017. № 4. С. 68–75.

Карпова Е.В., Хотелев А.О., Мануилова Е.А. и др. Гидротермально-метасоматические системы как важнейший фактор формирования элементов нефтегазоносного комплекса в баженовско-абалакских отложениях // Георесурсы. 2021. Т. 23, № 2. С. 143–152.

Карцев А.А., Вагин С.Б., Матусевич В.М. Гидрогеология нефтегазоносных бассейнов. М.: Недра, 1986. 223 с.

Кацавцев В.Е., Мищенко И.Т. Солеобразование при добыче нефти. М.: Орбита, 2004. 426.

Выводы. 1. Пластовые воды месторождений Красноленинского свода содержат Ba^{2+} в концентрации $34,5$ и $34,6 \text{ мг/дм}^3$ в нижнемеловых и палеозойских породах соответственно, и $78,8 \text{ мг/дм}^3$ в породах юрского возраста, это аномально высокие значения по отношению к общей минерализации вод, не превышающей 18 г/дм^3 .

2. Отношение $Ca:Sr:Ba$ в водах месторождений Красноленинского свода составляет $100:10:10$ для нижнемеловых и палеозойских пород, что отражает накопление бария, аналогичное накоплению стронция, что аномально для большинства пластовых рассолов.

3. В водах пород юрского возраста Красноленинского свода отношение $Ca:Sr:Ba$ составляет $100:10:100$, что указывает на опережающее накопление бария по сравнению со стронцием и практически аналогичное содержанию кальция, что также аномально для большинства пластовых вод.

4. Накопление бария в пластовых водах месторождений Красноленинского свода в количестве, почти равном содержанию кальция и превышающем содержание стронция, нельзя объяснить концентрированием раствора бассейна осадконакопления или выносом его из пород, вероятно, это обусловлено поступлением термальных вод в бассейн юрского возраста.

Киреева Т.А., Бычков А.Ю., Зубков М.Ю. Особенности микрокомпонентного состава поровых растворов пород баженовской свиты Западной Сибири // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2019. № 6. С. 49–59.

Киреева Т.А., Казак Е.С. Поровые растворы пород баженовской свиты Западной Сибири и их изменение в результате гидротермальной проработки // Геология нефти и газа. 2017. № 1. С. 83–92.

Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. М.: Наука, 2004. 677 с.

Матусевич В.М. Геохимия подземных вод Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. М.: Недра, 1976. 156 с.

Пероziо Г.Н., Соколова М.Ф. Глинистые минералы баженовской свиты // Доманикиты Сибири и их роль в нефтегазоносности // Тр. СНИИГГиМС. Новосибирск, 1982. С. 59–67.

Скива Н.С. Геохимия стронция и бария. Фрунзе: Изд-во АН Киргизской ССР, 1970. 129 с.

Хорн Р. Морская химия. М.: Мир, 1972. 398 с.

Статья поступила в редакцию 31.05.2022,
одобрена после рецензирования 08.06.2022,
принята к публикации 26.01.2023