



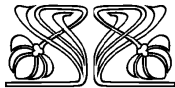
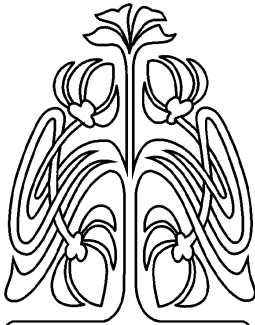
ГЕОЛОГИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 4. С. 264–271

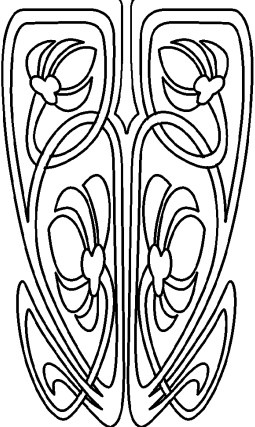
Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2023, vol. 23, iss. 4, pp. 264–271

<https://geo.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-4-264-271>, EDN: UAOFZL

Научная статья
УДК 550.85:553.632



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Нерастворимый остаток нижнепермских сильвинитовых пород западного и северо-западного обрамления Прикаспийской впадины

О. П. Гончаренко[✉], М. В. Соломон

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Гончаренко Ольга Павловна, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры петрологии и прикладной геологии, goncharenkoop@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4731-8740>

Соломон Максим Валерьевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры петрологии и прикладной геологии, solomonmv@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3545-3849>

Аннотация. В статье приведены результаты исследования нерастворимого остатка (НО) сильвинитов и сильвин-галитовых пород нижнепермской галогенной формации распространенной, в пределах Перелюбских участков (Западного и Восточного), перспективных для промышленного освоения (Саратовская область), и Гремячинского месторождения калийных солей (Волгоградская область). Представлена методика изучения НО сильвинитов. Выделены типы НО по форме нахождения в сильвинитах и охарактеризован минеральный состав НО. Уточнены условия формирования сильвинитосодержащих пород с учетом полученных данных по составу НО.

Ключевые слова: сильвиниты, нерастворимый остаток, Прикаспийская впадина

Для цитирования: Гончаренко О. П., Соломон М. В. Нерастворимый остаток нижнепермских сильвинитовых пород западного и северо-западного обрамления Прикаспийской впадины // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 4. С. 264–271. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-4-264-271>, EDN: UAOFZL

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Insoluble remains of Lower Permian sylvinite rocks in the western and north-western framing of the Caspian depression

О. П. Goncharenko[✉], М. V. Solomon

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Olga P. Goncharenko, goncharenkoop@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4731-8740>

Maxim V. Solomon, solomonmv@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3545-3849>

Abstract. The paper presents the results of a study of the insoluble residue of sylvinites and sylvinit-halite rocks of the Lower Permian halogen formation, common within the Perelyubsky areas (Western and Eastern), promising for industrial development (Saratov Region) and the Gremyachinsky potash deposit (Volgograd Region). A technique for studying the insoluble residue of sylvinites is presented. The types of insoluble residue are distinguished according to the form of occurrence in sylvinites and its mineral composition is characterized. The conditions for the formation of sylvinit-bearing rocks are refined, taking into account the data obtained on the composition of the insoluble residue.



Keywords: sylvinites, insoluble residue, Caspian depression

For citation: Goncharenko O. P., Solomon M. V. Insoluble remains of Lower Permian sylvinite rocks in the western and north-western framing of the Caspian depression. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 4, pp. 264–271 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-4-264-271>, EDN: UAOFZL

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Исследование нерастворимого остатка (НО) солей широко опробовано для Верхнекамского месторождения калийных солей [1]. Однако в большом количестве опубликованного материала для этого месторождения изучение НО проводилось с целью учета кондиционных параметров сильвинитовых залежей. Известно, что в перечень параметров кондиций для подсчета запасов калийного сырья содержание НО не входит [2].

В работах [3, 4] сделана попытка увязать петромагнитные параметры, полученные на керне, с количеством распределения НО в образце. Однако, как отмечено в этих работах, в некоторых случаях наблюдается отсутствие коррелятивной зависимости между НО солей и петромагнитными величинами.

Нерастворимый остаток – полигенный компонент, поэтому распределение пелит-ангидритовой примеси по площади образца при описании керна учитывалось как для генетических выводов, так и с точки зрения влияния на промышленное качество сильвинитов. В большей степени тип текстур может косвенно указывать на наличие или отсутствие НО в соленых толщах, что подробно рассматривалось нами ранее [5]. Несомненно, пелит-ангидритовая примесь не фиксируется однозначно на каротажных диаграммах в пробуренных скважинах, тем более на этапе сейсморазведки перспективной территории.

Установление влияния распределения НО в теле породы на ее текстурно-структурное строение и, как следствие, на качество извлекаемого полезного ископаемого придает практическую ценность проведенным исследованиям [6].

Изучение НО солей позволяет делать выводы об обстановке минералообразования (гидродинамики среды бассейна, источников сноса, наличия переотложений осадка), что на пути к пониманию условий формирования калийных отложений играет немаловажную роль.

Исследование НО сильвин-галитовых пород проводилось по керну скважин, вскрывших продуктивные интервалы (интервал глубин 9708–13086 м) на Гремячинском месторождении калийных солей в Волгоградской области и перспективных на калийное сырье (сильвинит) на Западно-Перелюбском и Восточно-Перелюбском поисковых участках (интервал глубин 687,0–104114 м) в Саратовской области.

Цель статьи – детальное исследование НО сильвинитовых пород для уточнения условий их формирования.

Объектом исследования является керновый материал, отобранный из продуктивного сильвинитового интервала погожской ритмопачки иренского горизонта кунгурского яруса нижней перми, вскрытого скважинами на Перелюбских поисковых участках и на Гремячинском месторождении (рис. 1). На Гремячинском месторождении исследовались не только погожские сильвиниты, но и калийные породы долинной и луговской ритмопачек.

Приведем стратиграфическое соотношение и краткое литологическое описание соленосных отложений ритмопачек. Типовой стратиграфический разрез нижнепермской галогенной формации северного обрамления Прикаспийской впадины представлен на рис. 2. В соответствии с рекомендациями Ю. А. Писаренко (Pisarenko) с соавторами [7] и И. Н. Тихвинского [8] по стратификации данных образований выделяются следующие ритмопачки.

Волгоградская ритмопачка (e_2) представлена каменной солью, прозрачной с прослоями ангидрита. Мощность отложений ритмопачки до 120 м.

Балыклейская ритмопачка (f_1) имеет двучленное строение, на основании чего в ее составе выделяется две подсвиты. Нижняя подсвита обычно в основании представлена 5–10-метровым пластом ангидрит-полигалитового состава (репер f_1), переходящего вверх в галит-полигалитовый (репер f_{1p}) – верхняя подсвита. Мощность отложений ритмопачки достигает 10–12 м.

Луговская ритмопачка (g_1) имеет двучленное строение, нижний пласт представлен частым чередованием 1–3-миллиметровых прослоев глинистого доломита и ангидрита. Верхний пласт сложен мелкозернистым светлым ангидритом. Встречаются прослои маломощных калийных солей. Мощность отложений ритмопачки меняется от 120 до 250 м.

Погожская ритмопачка (h) в основании представлена доломит-ангидритовыми отложениями, перекрывается каменной солью. Репер (h_1^1) представлен каменной солью с повышенным содержанием ангидрита, иногда полигалита. На территории Краснокутского участка разрез заканчивается мощным (до 60 м), практически мономинеральным пластом бишофита и имеет карналлит-сильвинитовую оторочку (репер h_2). В разрезах Перелюбских участков бишофит в составе репера отсутствует, он

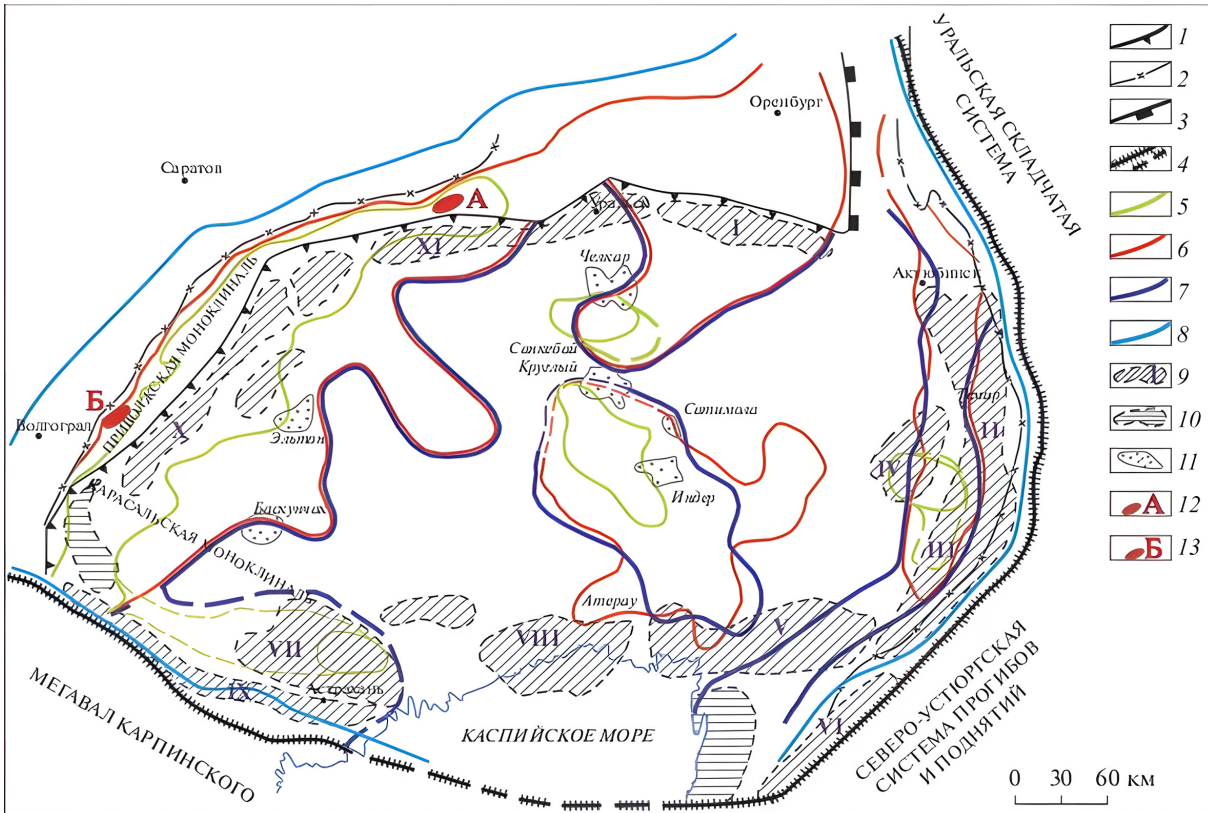


Рис. 1. Карта-схема фактического материала: 1 – граница бортового уступа; 2 – граница распространения соляных отложений; 3 – западная граница Предуральяского краевого прогиба; 4 – глубинные нарушения, разделяющие границы распространения солевых отложений; 5 – контуры зон бишофитсодержащих пород; 6 – контуры зон карналлитсодержащих пород; 7 – контуры зон сильвинитсодержащих пород; 8 – контур распространения каменной соли; 9 – своды, мегавалы; I – Карачаганакско-Кобландинский; II – Имбекский; III – Тамдыкольский; IV – Кзылджарский; V – Биикжалский; VI – Южно-Эмбенский; VII – Северо-Каспийский; VIII – Астраханский; IX – Карабулакско-Беркульский; X – Ахтубинско-Палласовский; XI – Алтатинско-Деркульский; 10 – зоны поднятия; 11 – солянокупольные структуры; 12 – Западно- и Восточно-Перелюбские поисковые участки; 13 – Гремячинское месторождение (цвет онлайн)

представлен карналлит-сильвинитовой, иногда сильвинитовой породой. Мощность ритмопачки в ближнем обрамлении Прикаспийской впадины изменяется от 60 до 140 м. По мере удаления от впадины выделяется иной тип разреза, отличающийся повышенным присутствием сульфатов.

Антиповская ритмопачка (i) начинается 3–7-метровым пластом ангидрит-доломитового состава. Встречается каменная соль. По керновому материалу отмечается увеличение содержания сульфатов в каменной соли по сравнению с вышеописанными ритмопачками. В составе свиты выделяется два карналлит-сильвинитовых пласта мощностью до 10–20 м (i_2) и мощностью до 5 м, редко до 5–10 м (i_3). Мощность ритмопачки изменяется от 80 до 170 м.

Пигаревская ритмопачка (k) представлена чередованием ангидритовой, гипсовой и доломитовой пород и каменной соли. В средней части ритмопачки иногда появляется пласт ангидрита мощностью до 10–15 м. Заканчивается свита маломощным (3–7 м) пластом карналлит-

сильвинит-полигалитовой породы (k_2). Мощность свиты изменяется от 50 до 120 м.

Долинная (l), *ерусланская* (m) и *озерская* (n) ритмопачки характеризуются сходным строением. В основании каждой из них залегает ангидритовый пласт (l_1 , m_1 , n_1) мощностью 7–10 м, сменяемый каменной солью.

Материал и методика исследования

Нерастворимый остаток изучался с помощью стандартных методов его выделения из солей для исследования на рентгеновском дифрактометре, а также под микроскопом в навеске и в шлифах, при макроописании в аншлифах.

Для подготовки пробы использовалась следующая последовательность действий. Подготовленная проба керна дробилась и помещалась в мерный стакан для растворения в дистиллированной воде при температуре 40–50°C. Раствор фильтровался через высушенный до постоянного веса бумажный фильтр.

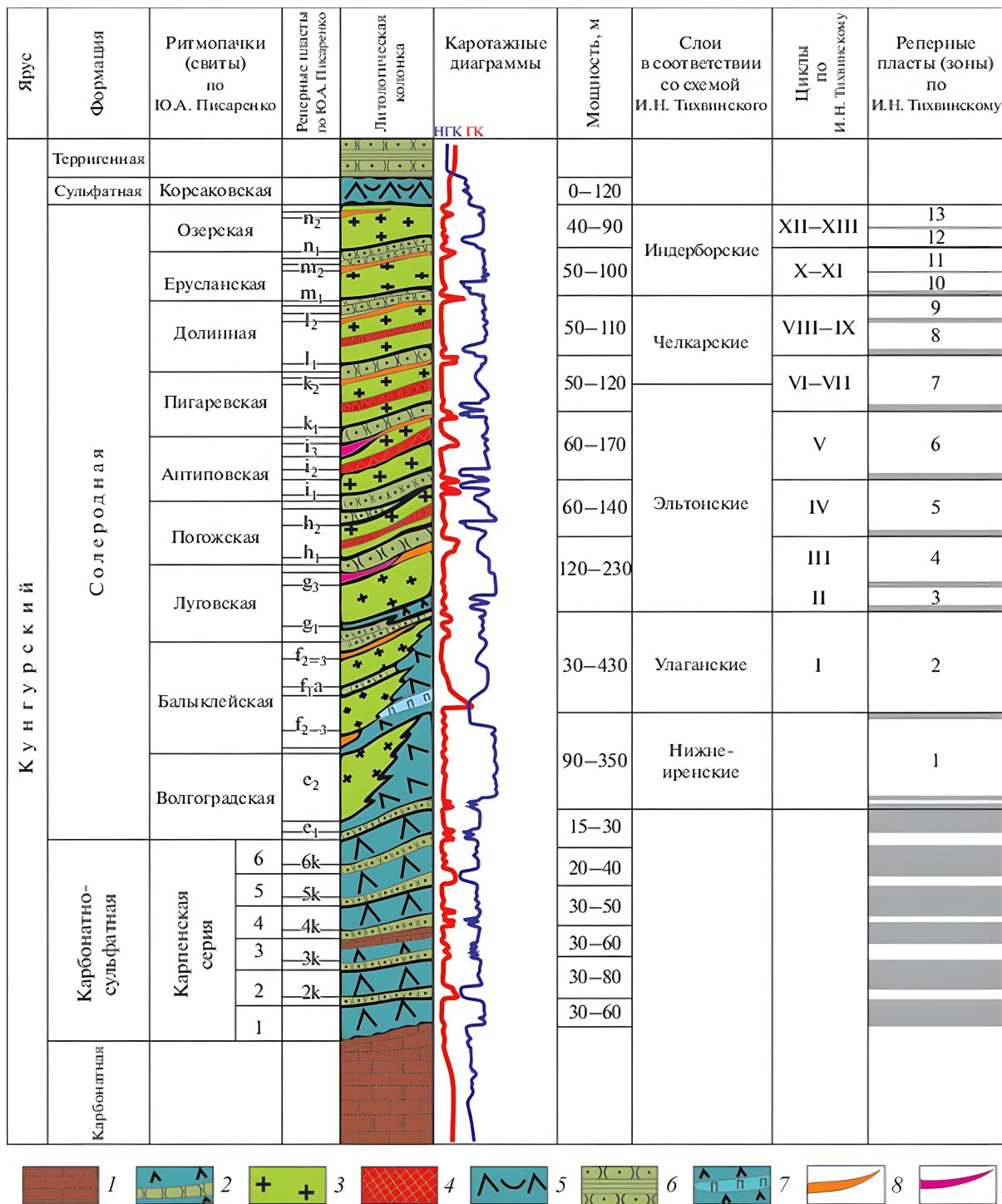


Рис. 2. Типовой стратиграфический разрез нижнепермской галогенной формации северного обрамления Прикаспийской впадины по Ю. А. Писаренко [7, с дополнениями] и И. Н. Тихвинскому [8]: 1 – известняки; 2 – ангидриты с прослоями терригенных пород; 3 – каменная соль; 4 – сильвиниты и сильвинитосодержащие породы; 5 – ангидриты с гипсами; 6 – терригенные породы; 7 – ангидриты с прослоями полигалитов; 8 – калийно-магниево-натриевые соли; 9 – магниевые соли (бишофиты) (цвет онлайн)

Фильтр с остатком промывался горячей водой до отрицательной реакции промывных вод на хлор-ион. Затем проба высушивалась в сушильном шкафу при температуре 100°C

до постоянной массы, охлаждалась в эксикаторе. После чего взвешивалась. От полученной навески отделялось 20 г для последующего исследования на рентгеновском дифрактометре



PW-1800 (Philips). Описанная методика выделения НО соответствует ОСТ 41-08-272-04 [9].

Кроме того, НО изучался оптически как в навеске под микроскопом (МБС-9), так и в шлифах. Микроскопическое описание экстрагированной навески под микроскопом МБС-9 позволило оценить качество подготовленной пробы и предварительно сделать выводы о ее минеральном составе. Микроскопическое описание в шлифах под микроскопом Axioscop 40 Pol. проводилось с целью установления характера распределения ангидрита и гипса в породе и их влияния на текстурно-структурные особенности солей. Для изучения минерального состава НО использовался рентгенофазовый анализ на рентгеновском дифрактометре PW-1800 марки Philips (Голландия). Дифрактометр соответствует требованиям ГОСТ 12997-84 «Изделия ГСП. Общие технические условия» [10]. На основании анализа дифрактограмм устанавливался минеральный состав НО. Изучение НО солей в аншлифах сводилось главным образом к установлению распределения отдельных пропластков, линз ангидрита и гипса по площади образца.

Результаты и их обсуждение

По форме нахождения НО сильвинитов был подразделен нами на следующие типы: *включения в кристаллах солей*. Представлены в виде включений кварца, целестина, каинита (?), барита в кристаллах соляных минералов; *вкрапления в межзерновом пространстве*. Представлены мелкими кристаллами ангидрита, карбонатов, пелитовым материалом, гипсом и каемками гидроокислов железа. Ангидрит в шлифах, как

правило, микро-, тонкозернистый, встречается в виде тонкопризматических кристалликов. Зерна гипса ксеноморфные и пластинчатые. Карбонаты присутствуют в виде отдельных зерен и ромбоздров; *пелит-ангидритовый цементирующий компонент*. В состав всех соляных пород входят пелит и ангидрит в виде прослоев, линз, расщепляющихся слойков и т. д. Разные вариации распределения пелит-ангидритового материала определяют текстурно-структурное строение сильвинитов [3].

Вещественный состав НО сильвинитовых пород. Известно, что НО калийных солей может быть представлен аутигенными и аллотигенными составляющими. Карбонаты и сульфаты являются постоянными аутигенными образованиями и генетически связаны между собой. Эти две группы минералов массово выпадают в осадок на начальных стадиях сгущения морской воды, но их осаждение не прекращается даже на самых высоких стадиях ее осолонения [2]. Другой обширной группой минералов НО является терригенная (аллотигенная) составляющая. Дискуссионными остаются вопросы о характере транспортировки этого материала в солеродный бассейн, а также его преобразования. В составе НО соленых и соленосных пород выделяется две основные фазы – минеральная и рентгеноаморфная. Последняя может быть сложена органическим веществом.

Минеральный состав основных распространенных минералов в НО сильвинитовых пород в изученных разрезах западного и северо-западного прибортового обрамления Прикаспийской впадины, по данным рентгенофазового анализа, проиллюстрирован рис. 3.

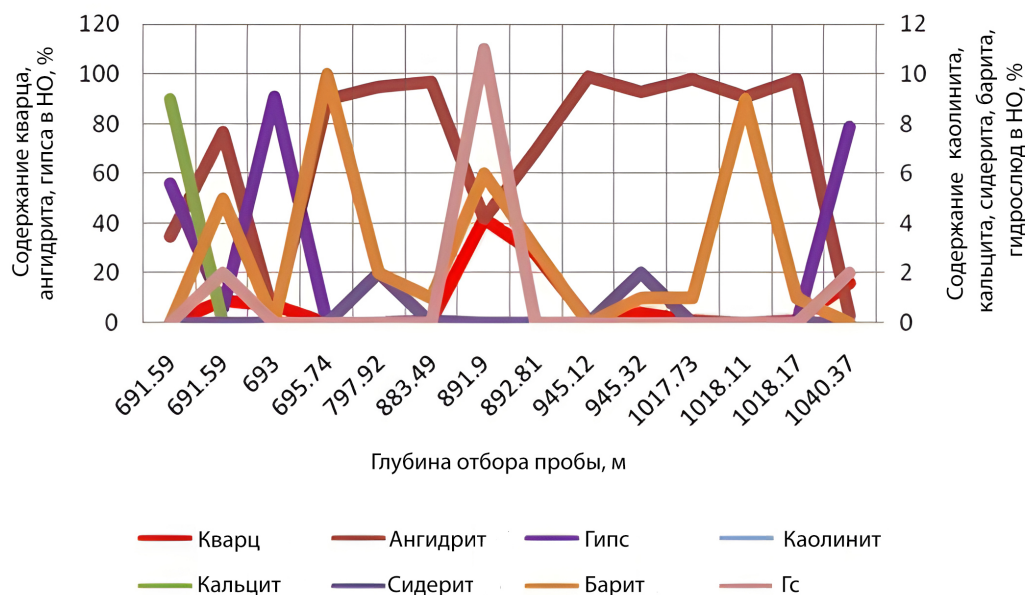


Рис. 3. Минеральный состав НО сильвинитовых пород в изученных разрезах (цвет онлайн)

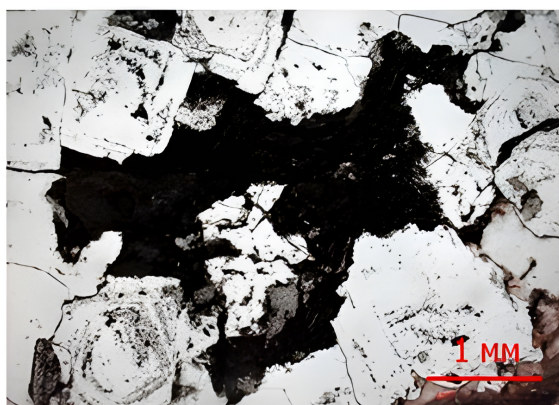


На диаграмме (см. рис. 3) изображено процентное содержание минералов в НО сильвинитовых пород, отобранных из интервалов с наибольшей примесью пелит-ангидритового материала. Полученные данные усреднены и выстроены по глубине. Наиболее распространенными минералами в НО являются ангидрит и гипс, в меньшей степени – кварц. Кроме того, их содержание колеблется в очень широких пределах: гипса от 1–6 до 79–91%, ангидрита от 2–3 до 93–98%, кварца от 1–4 до 28–42%. Содержание кальцита достигает 9%, сидерита – 2%, барита – от 1–2 до 9–10%, гидрослюды – от 2 до 11%.

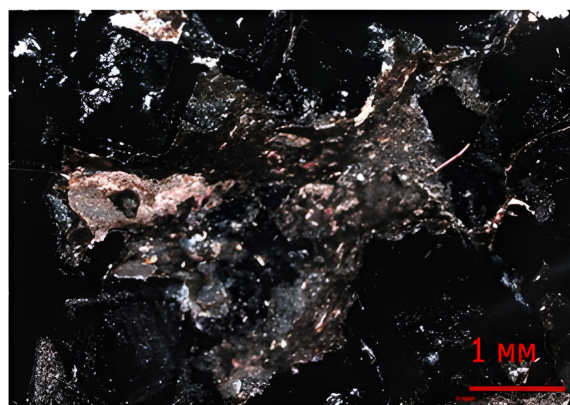
Полученные результаты минерального состава НО сильвинитовых пород согласуются с данными, опубликованными по разрезу скважины Краснокутской 1-К: преобладающими минералами в составе НО в исследованных разрезах являются ангидрит и гипс [11]. Минеральный состав НО солей также был сопоставлен с литологическим описанием сильвинитовых

пород в шлифах. Распределение ангидрита в виде линз и скоплений вокруг кристаллов галита с фрагментами регенерационной структуры показано на рис. 4.

В отдельных участках ангидрит при введении анализатора образует выклинивающиеся прожилки и сосредоточен между кристаллами галита и сильвина. Содержание ангидрита, по данным рентгенофазового анализа, в НО данного образца достигает 93%. В некоторых образцах наблюдается интенсивное влияние каемок гидроокислов железа на структуру кристаллов сильвина. Участки с интенсивным влиянием гидроокислов железа встречаются фрагментарно и в единичных образцах. По данным рентгенофазового анализа, процентное содержание сидерита в НО достигает 3%. В отдельных образцах сильвинитов встречаются пластинчатые и игольчатые кристаллы гипса. Вкрапления кристаллов гипса в крупные кристаллы карналлита сложной формы отражены на рис. 5. Содерж-

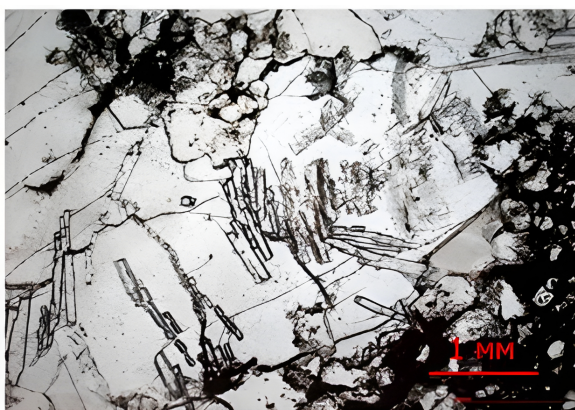


а

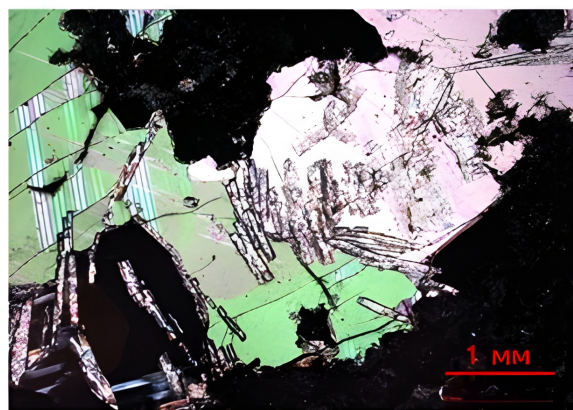


б

Рис. 4. Распределение ангидрита в шлифе сильвинитовой породы: а – шлиф без анализатора; б – шлиф с анализатором; скважина 208, образец 9, глубина отбора 945,12 м. Перелюбский участок (цвет онлайн)



а



б

Рис. 5. Распределение кристаллов гипса в крупном кристалле карналлита сильвинитовой породы: а – шлиф без анализатора; б – шлиф с анализатором; скважина 101, образец 67, глубина отбора 691,59 м. Перелюбский участок (цвет онлайн)



жание гипса по результатам рентгенофазового анализа в этом образце достигает 56%.

Выводы

Присутствие ангидрита и гипса в составе НО сильвинитов можно объяснить влиянием процессов постседиментационного выщелачивания верхних зон выхода соленосных ритмопачек на поверхность соляного зеркала. Установлено, что НО оказывал влияние на процессы калийного седиментогенеза в погожском, долинном и луговском суббассейнах. Сульфатные растворы, выделившиеся при уплотнении НО, сложенного глинистым и гидрослюдистым материалом, привнесенным в осадок калийных и калийно-магниевого солей за счет размыва рапой островных участков бассейна или при его эоловом заносе, определяли своеобразие минеральных преобразований на постседиментационном этапе. Существенное развитие НО в сильвиновых отложениях, поровые растворы которых содержали повышенное количество ионов сульфата, приводило к образованию парагенезисов с полигалитом даже в тех участках солеродного бассейна, в которых, судя по первичным парагенезисам, кристаллизация минералов шла из сильно метаморфизованной рапы с минимумом сульфата. Постседиментационные процессы определялись положением участка соленакопления в акватории солеродного бассейна (тупиковый участок, береговая полоса, приподнятый участок дна), что определяло своеобразие трансформации НО в калийных отложениях. В зоне Гремячинского месторождения постседиментационные процессы зависели от тупикового положения района. В Перелюбских участках постседиментационные изменения связаны с гидродинамическим движением рапы близ береговой полосы, о чем свидетельствует появление в составе НО терригенных гипса и ангидрита, а в шлифах – окатанных кристаллов галита с признаками растворения, а затем частичного дорастания. Процессы коррозии кристаллов калийных и калийно-магниевого минералов также происходили за счет воды, выделившейся при уплотнении НО глинистого и гидрослюдистого материала. На границах погожского бассейна седиментации переотложение (рециклинг) калийных отложений приводило к перераспределению НО, что зафиксировано в шлифах брекчированием солей в разрезах фланговых скважин Гремячинского месторождения и Перелюбского участка. На Краснокутском участке выделен переотложенный горизонт сильвинитов [11]. Сильвиниты, сформированные в интенсивных гидродинамических обстановках, вблизи береговой линии бассейна, характеризуются повышенным содержанием НО. Это следует учитывать при интерпретации данных ГИС и сейсморазведки.

Таким образом, полученные характеристики НО сильвинитов дополняют имеющиеся представления о текстурно-структурном строении калийных солей и условиях их формирования, рассмотренные нами ранее [5, 6]. НО оказывает отрицательное влияние на многие процессы освоения месторождений калийных солей: извлечение полезного ископаемого, обогащение, количество отходов производства.

Библиографический список

1. Баяндина Э. О., Кудряшов А. И. Нерастворимый остаток солей Верхнекамского месторождения. Пермь : ООО «Типограф», 2015. 102 с.
2. Кудряшов А. И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е издание, переработанное. Москва : Эпсилон Плюс, 2013. 368 с.
3. Московский Г. А., Гончаренко О. П., Байгузина А. З. Особенности состава и условий формирования калийных и калийно-магниевого пород погожской ритмопачки в северо-западной и северо-восточной частях бортовой зоны Прикаспия // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2016. Т. 16, вып. 3. С. 188–192. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2016-16-3-188-192>, EDN: WRPIVL
4. Яночкин В. В., Московский Г. А., Решетников М. В., Ерёмин В. Н. Отражение в петромагнетизме закономерностей распределения нерастворимого остатка по разрезу погожской залежи Перелюбского месторождения калийно-магниевого солей // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2016. Т. 16, вып. 1. С. 48–53. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2016-16-1-48-53>, EDN: VQUJUN
5. Соломон М. В., Гончаренко О. П. Генетическая интерпретация текстурно-структурного облика нижнепермских сильвинитовых пород Прикаспийской впадины // Литология и полезные ископаемые. 2022. № 1. С. 68–84. <https://doi.org/10.31857/S0024497X22010074>, EDN: DPIDLK
6. Соломон М. В., Гончаренко О. П., Московский Г. А. Калийные и калийно-магниевого соли погожской ритмопачки западной части северного внешнего бортового обрамления Прикаспийской впадины: литологические особенности и условия формирования // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2019. № 1. С. 51–59. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-1-51-59>, EDN: YYSHZZ
7. Goncharenko O., Pisarenko Y., Solomon M. Refined Data on the Structure of the Kungurian Salt-Bearing Series and on Mineral Composition of Polyhalite Ores from the Sharlyk Field in the Orenburg Region // Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources : Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017. Kazan : Filodiritto international proceedings, 2018. P. 343–350.



8. Тихвинский И. Н. Стратиграфия и калиеносные горизонты кунгура Прикаспийской впадины // Советская геология. 1974. № 5. С. 44–54.
9. Гусев С. С., Любимова Л. Н., Масалович Н. С. ОСТ 41-08-272-04. Стандарт отрасли. Управление качеством аналитических работ. Методы геологического контроля качества аналитических работ. Москва : ВИМС, 2004. 43 с.
10. Изделия ГСП. Общие технические условия. ГОСТ 12997-84. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003319> (дата обращения: 05.07.2023).
11. Жеребцова И. К., Золотарева В. А., Пантелева О. Д. Особенности формирования соляных отложений кунгура в северной части Приволжской моноклинали // Физико-химические закономерности осадконакопления в солеродных бассейнах. Москва : Наука, 1986. С. 13–21.

Поступила в редакцию 08.09.2023; одобрена после рецензирования 04.10.2023; принята к публикации 18.10.2023
The article was submitted 08.09.2023; approved after reviewing 04.10.2023; accepted for publication 18.10.2023