

УДК 553.63:548.4: 551.46.062.5

Состав солеобразующих растворов и условия седиментации солей Якшинского месторождения, Верхнепечорский бассейн

С. Н. Шанина, Н. В. Сокерина, Ю. С. Симакова

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

167000, Сыктывкар, ул. Первомайская, 54. E-mail: shanina@geo.komisc.ru

(Статья поступила в редакцию 23.12.2025 г.)

В статье представлены результаты исследования флюидных включений в галите и нерастворимых остатков каменной соли из подстилающей толщи Якшинского месторождения, расположенного в западной части Верхнепечорского бассейна калийно-магниевых солей. Флюидные включения изучены методом гомогенизации и ультрамикрхимического анализа. Идентификация нерастворимых остатков солей проведена с помощью рентгено-дифрактометрического анализа. Для сферолитов ангидрита, входящего в состав нерастворимого остатка, выполнены исследования изотопного состава серы. Установлено, что накопление солей Якшинского месторождения проходило в мелководных условиях, а химический состав минералообразующих растворов при формировании толщи подстилающей каменной соли был близок к стадии осаждения калийных минералов. Началу формирования соляной толщи Якшинского месторождения, вероятно, предшествовал размыв ранее отложенных калийных солей на близлежащей территории.

Ключевые слова: *Верхнепечорский бассейн, Якшинское месторождение, каменная соль, галит, флюидные включения, рассолы.*

DOI: 10.17072/psu.geol.25.1.80

Введение

Верхнепечорский калиеносный бассейн расположен в южной части Верхнепечорской впадины Предуралья Краевого прогиба. Его открытие связано с проведением поисково-разведочных работ на нефть и газ в районе р. Тыбью в 50-х гг. прошлого столетия, по результатам которых в 1955 г. А. В. Ивановым было дано научное обоснование существованию самостоятельного соленосного бассейна – Верхнепечорского. В 1960–1963 годы в западной части бассейна под руководством Ю. П. Фойгта проведены геологоразведочные работы по изучению толщи калийно-магниевых солей (Иванов, Воронова, 1968; Богацкий и др., 1977). С 2010 по 2013 год в этом же районе ООО «ТрейдПромСервис» велись поисково-разведочные работы, по результатам которых в пределах западной части бассейна выделено Якшинское месторождение калийно-магниевых солей (Степанов и др., 2024).

Соленосные отложения Верхнепечорского бассейна распространены на площади более 6000 км². Бассейн вытянут в меридиональном направлении на 100–110 км, в широтном – до 55 км. Галогенная формация охватывает верхнюю часть иренского горизонта кунгурского яруса нижней перми, которая подстилается карбонатно-глинистыми и известняковыми отложениями верхнеартинского подъяруса и покрывается мергелями кунгурского яруса и алевроитопесчаниковыми породами уфимского яруса (Иванов, Воронова, 1968).

Толща подстилающей каменной соли сложена ангидритами, прослоями засоленных глин и глинисто-ангидритовой породы с галитом. Калийно-магниевые соли встречаются в виде гнезд. В разрезе четко прослеживаются две основные маркирующие пачки, сложенные соленосными глинисто-мергелистыми породами (галопелитами) с тонкими прослоями и включениями каменной соли и ангидрита. Мощность горизонта

© Шанина С. Н., Сокерина Н. В., Симакова Ю. С., 2026



Работа лицензирована в соответствии с CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

подстилающей каменной соли колеблется от 120–180 м на западе региона до 400 м и более на востоке.

Толща калийно-магниевого солей представлена чередованием пластов сильвинита, карналлита, каменной соли, галопелитов, засоленных глинисто-алевритовых пород и засоленных глин. В западной части бассейна толща калийно-магниевого солей имеет мощность 40–55 м, в восточном направлении уменьшается до 25–30 м.

Толща покровной каменной соли сложена мелко-крупнозернистой каменной солью с прослоями темно-серой засоленной глины или глинисто-алевритовой породы, содержащей включения, гнезда, тонкие прослои и прожилки калийно-магниевого солей, иногда значительно обогащающие отдельные прослои толщи. Мощность отложений толщи варьирует от 3,5 до 30 м. Более подробно особенности строения соленосных отложений и их состав рассмотрены в работах (Иванов, Воронова, 1968; Богацкий и др., 1977; Вишняков и др., 2018; Степанов и др., 2024).

Целью данной работы являлось определение состава солеобразующих растворов и условий седиментации солей Якшинского месторождения по результатам изучения первичных флюидных включений в галите и нерастворимых остатков каменной соли из подстилающей толщи.

Включения в галите представляют собой надежный и уникальный источник информации о физико-химических параметрах минералообразующих растворов. Для определения химического состава рассолов первичных жидких включений в галите хорошо зарекомендовал себя ультрамикрoхимический метод анализа (Петриченко, 1973), который позволяет анализировать небольшие по размеру включения (> 40 мкм) и определять содержание основных ионов – SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ .

Для реконструкции температуры рассола на момент его кристаллизации применяют метод гомогенизации первичных флюидных включений в кристаллах галита (Петриченко, 1973; Реддер, 1987; Noriba, Holand, 1988). Обычно для определения температурных условий древнего солеобразования исследуются первичные включения, содержащие

минерал-узник сильвин (Roedder 1984; Lowenstein, Spencer, 1990). Однако подобные включения встречаются лишь в галите, кристаллизация которого шла из концентрированных растворов, насыщенных хлоридом калия. В большинстве случаев первичные включения в галите являются однофазовыми, и поэтому определение температур гомогенизации в них возможно только при предварительном охлаждении галита (-10 – -20°C) до выделения во включениях газовой фазы (Benison, Goldstein, 1999; Галамай, 2005).

Образцы и методы

Изучены образцы галита из пласта подстилающей каменной соли (ПдКС) Якшинского месторождения. В работе использован керновый материал, отобранный из скважин 3, 7, 12, 15, 19. Для изучения включений готовились пластинки из выколотых по спайности кристаллов галита, которые предварительно просматривались под микроскопом для изучения особенностей седиментационных структур галита, установления генетического типа жидких включений, их формы, размера и фазового состава.

Для определения температуры минералообразования по однофазовым жидким включениям методом гомогенизации пластинки предварительно охлаждали при температуре $-13\pm 5^\circ\text{C}$ в течение 14–90 суток до образования газового пузырька внутри включения. Затем пластинку переносили в камеру термостата THSG600 Linkam, после чего быстро охлаждали до -10°C и нагревали со скоростью $0,5^\circ\text{C}/\text{мин}$ до момента гомогенизации газового пузырька. Более подробно методика описана в работе (Шанина и др., 2014).

Метод ультрамикрoхимического анализа детально изложен в работе (Петриченко, 1973). С его помощью в рассолах индивидуальных включений определено содержание основных ионов – SO_4^{2-} , Mg^{2+} , K^+ .

Содержания хлора и брома в пластинках седиментационного галита из нижней части пласта подстилающей каменной соли выполнены в химической лаборатории УКИИМ ОАО «Уралкалий».

Из образцов каменной соли и галопелитов были выделены нерастворимые в воде остатки. Минеральный состав нерастворимых остатков определен методом рентгенодифрактометрического анализа. Дифрактограммы неориентированных и частично ориентированных препаратов, подвергнутых стандартным диагностическим обработкам, получены в ЦКП «Геонаука» на рентгеновских дифрактометрах Shimadzu XRD-6000 и Naoyuan DX-2700BH (излучение $\text{CuK}\alpha$ (40 кВ, 30 мА) с шагом сканирования $2\theta - 0,05^\circ \text{C}$ при скорости съемки $1^\circ \text{C}/\text{мин}$). Полуколичественный анализ образцов нерастворимых остатков выполнен с помощью программы Profex.

В сферолитах ангидрита, входящих в состав нерастворимого остатка солей, изучен изотопный состав серы. Для анализа отбирались плотные округлые сферолиты ангидрита, размерами до нескольких миллиметров. Исследования проводились на спектрометре MAT253 с элементным анализатором Costech ECS 4010.

Результаты и их обсуждение

В образцах галита по разрезу соляной толщи постоянно встречаются хорошо сохранившиеся седиментационные реликты придонного галита, имеющие вид «елочек» или «шевронов». Размер подобных седиментационных структур составляет около 0,5–2 см, иногда достигает 3,5 см. Зональность преимущественно ритмическая с четким чередованием молочно-белых полос с

включениями и прозрачных – без включений (рис. 1). Широкое распространение подобной зональности в галите свидетельствует о мелководности солеродного бассейна.

Первичные включения в галите являются преимущественно однофазовыми. Они имеют кубическую форму, а их размер варьирует от долей микрона до 200 мкм. Лишь в некоторых образцах в составе первичных включений выявлено присутствие мелких анизотропных кристалликов ангидрита. Вторичные включения, образованные на постседиментационном этапе образования солей, расположены хаотически, имеют неправильную или близкую к кубической форму. Они обычно встречаются в водно-прозрачном перекристаллизованном галите, а также приурочены к залеченным трещинам. Размер подобных включений составляет от 200 до 1000 мкм, и в них часто содержатся дополнительные фазы (газ, ангидрид, сильвин, органическое вещество).

Результаты изучения состава рассолов первичных включений в образцах (табл. 1), отобранных из нижней и средней частей пласта подстилающей каменной соли (скв. 12, 15) методом ультрамикрочимического анализа, показали, что основным источником рассолов Верхнепечорского солеродного бассейна являлась морская вода сульфатного типа (Na-K-Mg-Cl-SO_4), а соотношения основных ионов схожи с составом рассолов других пермских бассейнов (Галамай и др., 2013). Согласно полученным данным, концентрация рассолов при кристаллизации галита в нижней и средней

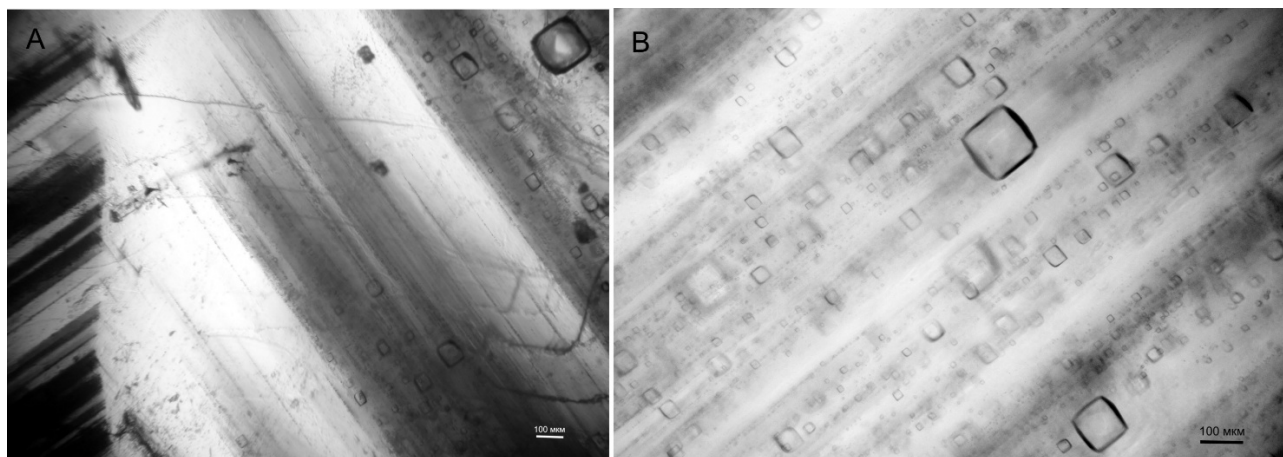


Рис. 1. Шевроновый галит Якинского месторождения: А) ритмическая зональность, В) первичные жидкие включения. Скважина 15, глубина отбора 473,9–474,0 м

Таблица 1. Состав рассолов первичных включений в галите ПдКС Якинского месторождения

Скважина	Образец	Интервал, м	Содержание, г/л		
			K ⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
15	27/15	406,4–406,5	18,0; 19,7; 20,2; 23,4; 22,7 (20,8)*	47,5; 55,1; 46,6 (49,7)	17,7; 20,6; 19,7; 20,7 (19,7)
	34/15	465,7–465,9	25,8; 19,1; 24,0; 23,0; 22,3 (22,8)	44,7; 43,6; 46,5; 37,3 (43,0)	20,5; 18,3; 21,3 (20,0)
	36/15	473,9–474,0	38,1; 34,3; 35,1 (35,8)	73,9; 62,1 (68,0)	28,7; 25,4; 32,1 (28,7)
	8/15	264,3–264,4	32,1; 30,0; 31,4 (31,1)	45,7; 47,7; 46,6 (46,7)	12,4; 13,2; 10,2 (11,9)
12	10/12	270,8–270,9	31,3; 34,3; 30,2 (31,9)	39,6; 41,1; 38,6 (39,8)	14,0; 13,1; 15,8; 15,2; 11,5 (13,9)
	16/12	282,4–282,6	23,8; 26,5; 24,1 (24,8)	26,3; 30,1; 26,7 (27,7)	10,3; 8,5; 6,7; 8,3 (8,5)

Примечание. (*) – среднее значение

частях пласта подстилающей каменной соли уже была близка к началу садки калийных минералов и достигала этой стадии в верхней части пласта. Результаты исследований подтверждают тот факт, что морская вода кунгурского возраста характеризовалась самым низким содержанием сульфат-ионов по сравнению с современной морской водой.

Поскольку в рассолах первичных включений содержание иона калия повышено относительно других ионов, то можно предположить, что началу формирования толщи подстилающей каменной соли в Верхнепечорском бассейне предшествовал размыв ранее отложенных калийных солей на близлежащей территории. Расхождения в химическом составе рассолов для скважин 12 и 15 свидетельствуют о том, что вклад свежих морских или пресных вод на различных участках бассейна был неодинаков.

Для определения температур гомогенизации однофазовых жидких включений в галите из толщи подстилающих солей были отобраны образцы из пяти скважин (3, 17, 12, 15, 19). Газовая фаза во включениях в галите при его предварительном охлаждении была обнаружена только в образцах из 12 и 15 скважин, а в остальных по истечении трех месяцев включения остались однофазовыми. Во включениях в галите скважины 12 газовые пузырьки появились через две недели после помещения образцов в морозильную

камеру. В галите из скважины 15 газовая фаза во включениях обнаружена спустя 2 месяца после охлаждения образцов. Отличия во временном интервале обособления газовой фазы, вероятно, связаны с различной концентрацией рассолов включений изученных образцов. Появление газовых пузырьков установлено менее чем в 1–3 % включений в каждой из изученных седиментационных зональных структур.

Измеренные температуры гомогенизации для однофазовых жидких включений меняются от 10,0 до 25,4° С для скв. 15 и от 8,9 до 42,6° С для скв. 12 (табл. 2). В целом значения температур гомогенизации составляют 9–43° С и соответствуют данным для других мелководных бассейнов соленакопления (Benison, Goldstein, 1999). Зависимости между температурой гомогенизации и размером включений не выявлено. В скважине 12 отмечено варьирование температур гомогенизации с глубиной отбора образцов, а для скв. 15 подобных вариаций не обнаружено. Вероятно, это связано с тем, что в районе скв. 12 влияние свежих морских или пресных вод было существеннее, чем в месте локализации скв. 15. На гистограмме зависимости температур гомогенизации от частоты встречаемости (рис. 2) наблюдаются различные температурные интервалы и их широкий диапазон, что обычно характерно для мелководных бассейнов соленакопления.

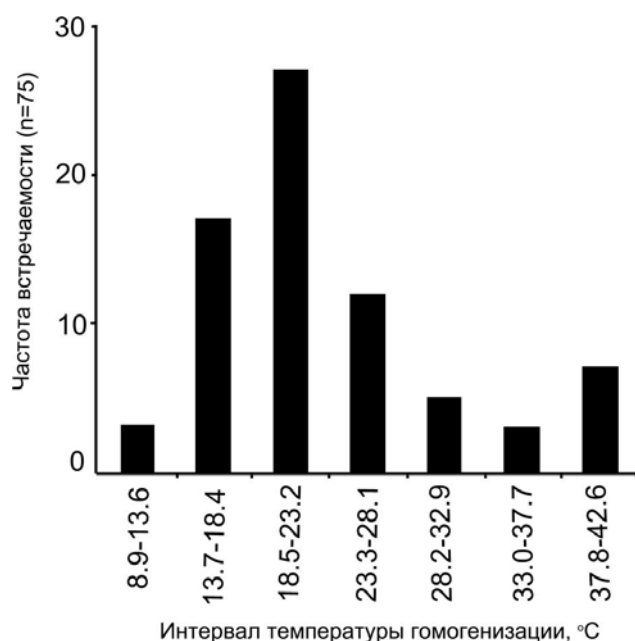


Рис. 2. Диаграмма зависимости температур гомогенизации включений от частоты встречаемости

Таблица 2. Температуры гомогенизации первичных жидких включений в галите пласта ПдКС Якинского месторождения

Скважина	Образец	Интервал, м	$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$
12	2/12	245,7–245,8	32,4, 36,9, 27,4, 28,9, 28,1, 20,3 (29,0)*
	10/12	270,8–270,9	16,7, 21,2, 11,7, 13,7, 17,8, 14,8, 18,0, 18,3, 19,2, 22,0, 23,9, 24,8, 22,4, 21,7, 20,2, 25,2, 18,3, 19,0, 17,5, 22,1, 24,3 (19,6)
	11/12	271,6	8,9, 14,8, 18,9, 16,8, 22,2, 21,6, 24,6, 21,5, 19,9, 20,4, 31,5, 31,0 (21,0)
	16/12	282,4–282,6	33,7, 38,0, 42,3, 34,4, 41,0, 42,2, 42,6, 32,5, 40,4, 41,2 (38,8)
15	8/15	308,8	14,2, 18,3, 17,0, 20,0, 20,7, 24,0, 25,0 (19,9)
	22/15	395,7–395,8	10,0, 18,0, 18,6, 16,9, 20,0, 21,0, 19,2 (17,7)
	36/15	473,9–474,0	19,7, 22,5, 15,5, 21,5, 14,1, 18,1, 18,8, 25,4, 25,0, 19,4, 21,8 (20,2)

Примечание. (*) – среднее значение

Таблица 3. Содержание хлора, брома и значения бром-хлорного коэффициента в галите из пласта подстилающей каменной соли

Скважина	Образец	Интервал, м	Cl, %	Br, %	Br·10 ⁻³ /Cl
15	22/15	395,7–395,8	55,22	0,013	0,23
	34/15	465,7–465,9	52,39	0,008	0,15
	36/15	473,9–474,0	52,57	0,010	0,19
16	16/12	282,4–282,6	53,16	0,007	0,13
3	5/3	450,3–450,4	54,25	0,011	0,20
7	2/7	205,5–205,6	54,96	0,010	0,18

Данные по содержанию брома и хлора в перистом галите из нижней части пласта подстилающей соли приведены в табл. 3. Показатель бром-хлорного коэффициента меняется от 0,13 до 0,23, что типично для каменной соли (Валяшко, 1956). Однако с учетом высоких содержаний иона калия, выявленных в составе рассолов первичных включений, полученные значения выглядят несколько заниженными по сравнению с ожидаемыми. Подобный факт, вероятно, может быть объяснен размывом морскими или пресными водами ранее отложенных калийных солей.

В таблице 4 представлены данные по содержанию минеральных фаз нерастворимого остатка каменной соли, полученные методом полуколичественного рентгенофазового анализа. Основными минералами нерастворимого в воде остатка являются ангидрит, доломит

Таблица 4. Состав и относительное содержание минералов в нерастворимых остатках каменной соли пласта ПдКС

Образец	Относительное содержание минерала, %								
	Anh	Gp	Dol	Fsp	Qz	Chl	Ill	Bt	Py
8/15	20	4	34	18	6	7	4	3	4
34/15	57	3	29	7	1	<1	1	2	<1
2/19	17	10	19	24	8	13	6	1	2
11/12	6	22	11	20	12	9	12	4	4
2/17	30	25	9	10	8	6	10	1	<1
2/3	<1	1	61	17	6	5	6	1	2

Примечание. Anh – ангидрит, Gp – гипс, Dol – доломит, Fsp – полевой шпат, Qz – кварц, Chl – хлорит, Ill – иллит, Bt – биотит, Py – пирит

мит, гипс, полевой шпат, кварц. Постоянно встречаются глинистые минералы и пирит, однако их содержания несколько ниже. Слоистые силикаты представлены в основном неразбухающими минералами – иллитом и хлоритом. Они, как правило, деградированы и сопровождаются неразбухающими смешанослойными фазами иллит-хлоритового, реже иллит-сметитового состава, а иногда полностью заменяются ими. Хлорит преимущественно железистый, что на дифрактограммах выражается в более интенсивных четных отражениях минерала. Иллит характеризуется несколько увеличенными межплоскостными расстояниями $001 \sim 10,1\text{--}10,6 \text{ \AA}$, так же, как и хлорит ($14,3\text{--}14,6 \text{ \AA}$). Рефлексы иллита и хлорита, как правило, уширены и малоинтенсивны. Полученные данные подтверждают, что хлорит и неразбухающие глинистые минералы в породах являются более устойчивыми в присутствии хлоридно-натриевых солей по сравнению с разбухающими минералами (Симакова, Митюшева, 2025).

Постоянное присутствие в нерастворимом остатке солей Якшинского месторождения сферолитов ангидрита позволило изучить в них изотопный состав серы ($\delta^{34}\text{S}$). Установлено, что значения изотопного состава серы ангидрита меняются от +12,6 до +15,0 ‰ и являются типичными для морских эвапоритов пермского возраста (Galamaу et al., 2016). Выявленные колебания изотопного состава серы ангидрита в образцах связаны главным образом с процессами бактериальной сульфат-редукции в раннем диагенезе, на что указывает присутствие в нерастворимом

остатке солей сингенетичного пирита. Следует отметить, что по сравнению с другими пермскими отделами изотопный состав серы кунгурских ангидритов Якшинского месторождения характеризуется самыми максимальными значениями $\delta^{34}\text{S}$.

Заключение

Результаты исследования первичных флюидных включений в галите и минерального состава нерастворимого остатка толщи подстилающих солей Якшинского месторождения калийно-магниевого состава позволили сделать следующие выводы:

1. Накопление соленосной толщи Якшинского месторождения проходило в мелководных условиях. Об этом свидетельствуют выявленная ритмическая зональность седиментационных структур галита, а также широкий диапазон температур гомогенизации первичных жидких включений в галите;

2. Содержания основных ионов при кристаллизации галита пласта подстилающей каменной соли были близки к началу садки калийных минералов. На последнее также указывает значительное время обособления газовой фазы при охлаждении однофазовых жидких включений в галите;

3. Началу формирования соляной толщи Якшинского месторождения, возможно, предшествовал размыв ранее отложенных залежей калийных солей морскими или пресными водами. Масштаб влияния на состав рассолов свежих вод, размывавших калийные отложения, был неодинаков, что подтверждают отличия в содержаниях ос-

новых ионов для различных скважин и вариации значений температур гомогенизации флюидных включений;

4. Присутствие сингенетичного пирита в нерастворимых остатках каменной соли, наряду с выявленными колебаниями изотопного состава серы в ангидритах, свидетельствует о проявлении в толще подстилающей каменной соли Якшинского месторождения процессов бактериальной сульфат-редукции;

5. Результаты исследований подтверждают, что самые низкие содержания сульфат-ионов в рассолах и самые высокие значения $\delta^{34}\text{S}$ сульфатов среди пермских бассейнов соленакопления были характерны для кунгурского времени.

Работа проведена в рамках государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Фундаментальные проблемы минералогии и минералообразования, минералы как индикаторы петро- и рудогенеза, минералогия рудных районов и месторождений Тимано-Североуральского региона и арктических территорий» (ГР № 122040600009-2).

Библиографический список

- Богацкий В. И., Иванов А. В., Агулов С. Н. Условия соленакопления в Верхнепечорском соленосном бассейне Коми СССР // Проблемы соленакопления. Новосибирск: Наука, 1977. Т. 2. С. 138–141.
- Валяшко М. Г. Геохимия брома в процессах галогенеза и использование содержания брома в качестве генетического и поискового критерия // Геохимия. 1956. № 6. С. 570–587.
- Вишняков А. К., Вафина М. С., Игнатович О. О. Строение и условия формирования калийных солей западной части Верхнепечорского соленосного бассейна // Отечественная геология. 2018. № 2. С. 70–78. EDN: YWHXVP
- Галамай А. Р. Температура кристаллізації галіту у «Гротах Кришталових» родовища кам'яної солі Величка (Польща) // Геологія і геохімія горючих копалин. 2005. № 2. С. 105–113.
- Галамай А. Р., Шанина С. Н., Игнатович О. О. Состав минералообразующих рассолов Верхнепечорского солеродного бассейна на стадии кристаллизации галита // Записки РМО. 2013. № 4. С. 32–46. EDN: QJCEWL
- Иванов А. А., Воронова М. Л. Геология Верхнепечорского соленосного бассейна и его калиеносность // Тр. ВСЕГЕИ. 1968. Т. 161. 80 с.
- Петриченко О. Й. Методи дослідження включень у мінералах галогенних порід. Київ: Наук. думка, 1973. 91 с.
- Симакова Ю. С., Митюшева Т. П. Влияние засоления на глинистые минералы почв на территории Серёговского соляного месторождения Республики Коми // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование: тр. X Всерос. симпозиума и XVII Всерос. чтений памяти акад. А. Е. Ферсмана. 2025. С. 111–115.
- Степанов О. А., Вевировский К. М., Волков В. В. Геологоразведочные работы на Якшинском месторождении минеральных (калийно-магниевых) солей // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: материалы XVIII Геологического съезда Республики Коми: ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2024. С. 59–69. EDN: MLKTNB
- Шанина С. Н., Сокерина Н. В., Галамай А. Р., Леденцов В. Н., Оносов Д. В. Определение температур гомогенизации включений в галите Якшинского месторождения // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 8. С. 3–6. EDN: TMESXD
- Benison K. C., Goldstein R. H. Permian paleoclimate data from fluid inclusions in halite // Chemical Geology. 1999. Vol. 154. P. 113–132. EDN: ACEUNZ
- Galamay A. R., Fanwei M., Bukowski K., Ni P., Shanina S. N., Ignatovich O. O. The sulphur and oxygen isotopic composition of anhydrite from the Upper Pechora Basin (Russia): new data in the context of the evolution of the sulphur isotopic record of Permian evaporates // Geological Quarterly. 2016. Vol. 60, No. 4. P. 990–999. DOI: 10.7306/gq.1309 EDN: YVBIRN
- Horita J., Holland H. D. Brine inclusions in halite and the origin of the middle Devonian Prairie evaporates of western Canada // Journal of sedimentary research. 1988. Vol. 68. P. 230–231.
- Lowenstein T. K., Spencer R. J. Syndepositional origin of potash evaporates: petrographic and fluid inclusion evidence // American Journal of Science. 1990. Vol. 290. P. 1–42.
- Roedder E. Fluid Inclusions. Reviews in Mineralogy. Mineralogical Society of America. 1984. Vol. 12. P. 644.

Brines Composition and Sedimentation Conditions of the Salts at the Yakshinskoye Deposit

S.N. Shanina, N.V. Sokerina, Yu.S. Simakova

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS

54 Pervomayskaya Str., Syktyvkar 167000, Russia

E-mail: shanina@geo.komisc.ru

The results of a fluid inclusions study in halite and insoluble salt residues in the underlying rock salt of the Yakshinskoye deposit, located in the western part of the Upper Pechora potassium-magnesium salt basin, are presented. Individual inclusions in halite were studied using fluid inclusion homogenization and ultramicrochemical analysis. Insoluble salt residues were identified using X-ray diffraction analysis. The isotopic composition of sulfur has been studied for nodular anhydrite. It was established that salts stratum of the Yakshinskoye deposit accumulated in shallow-water conditions, and the concentration of brines during crystallization in the underlying rock salt was close to the beginning of the precipitation of potassium minerals. Likely, the erosion of old potassium salts in the surrounding area preceded beginning of salt deposition.

Key words: *Upper Pechora basin; Yakshinskoye deposit; rock salt; halite; fluid inclusions; brines.*

References

Bogatskiy V.I., Ivanov A.V., Agulov S.N. 1977. Usloviya solenakopleniya v Verkhnepechorskom solenosnom bassejne Komi SSSR [Salt accumulation conditions in the Upper Pechora salt-bearing basin of the Komi Republic of the USSR]. *In: Problemy solenakopleniya. Eds. Yanshin A.L., Zharkov M.A.* Novosibirsk, Nauka, 2:138–141. (in Russian)

Valyashko M.G. 1956. Geokhimiya broma v protsessakh galogeneza i ispol'zovaniye sodержaniya broma v kachestve geneticheskogo i poiskovogo kriteriya [Geochemistry of bromine in halogenesis processes and the use of bromine content as a genetic and search criterion]. *Geokhimiya*, 6:570–587. (in Russian)

Vishnyakov A.K., Vafina M.S., Ignatovich O.O. 2018. Stroyeniye i usloviya formirovaniya kaliynykh soley zapadnoy chasti Verkhnepechorskogo solenosnogo bassejna [Structure and conditions of formation of potassium salts in the western part of the Upper Pechora salt-bearing basin]. *Otechestvennaya geologiya*, 2:70–78. (in Russian)

Galamay A.R. 2005. Temperatura kristallizatsii galita v «Grotakh Krishtalovykh» mestorozhdeniya kamennoy soli Velichka (Pol'sha) [Crystallization temperature of halite in the Crystal Grottoes of the Wieliczka rock salt deposit (Poland)]. *Geologiya i geokhimiya goryuchikh iskopaemykh*, 2:105–113. (in Ukrainian)

Galamay A.R., Shanina S.N., Ignatovich O.O. 2013. Sostav mineraloobrazuyushchikh rassolov Verkhnepechorskogo solerodnogo bassejna na stadii kristallizatsii galita [Composition of mineral-forming brines of the Upper Pechora salt basin at the stage of halite crystallization]. *Zapiski RMO*. 4:32–46. (in Russian)

Ivanov A.A., Voronova M.L. 1968. Geologiya Verkhnepechorskogo solenosnogo bassejna i ego kaliyenosnost' [Geology of the Upper Pechora salt-bearing basin and its potassium content]. *Trudy VSEGEI*, 161:80. (in Russian)

Petrichenko O.Y. 1973. Metody izucheniya mineralov galogenykh porod [Methods of studying the minerals of halogen rocks]. Kiev, Nauk. Dumka, p. 91. (in Ukrainian)

Simakova Yu.S., Mityusheva T.P. 2025. Vliyanie zasoleniya na glinistyie mineraly pochv na territorii Serogovskogo solyanogo mestorozhdeniya Respubliki Komi [The influence of salinization on clay minerals of soils in the territory of the Seregovskoye salt deposit of the Komi Republic]. *In: Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territoriy. Ratsional'noye prirodopol'zovaniye. Sovremennoye mineraloobrazovaniye: Tr. X Vseros. simpoziuma i XVII Vseros. chteniya pamyati akad. A.Ye. Fersmana*, p. 111–115. (in Russian)

Stepanov O.A., Veviorovskiy K.M., Volkov V.V. 2024. Geologorazvedochnye raboty na Yakshinskom mestorozhdenii mineral'nykh (kaliynomagniyevykh) soley [Geological exploration work at the Yakshinskoye deposit of mineral (potassium-magnesium) salts]. *In: Geologiya i mineral'nye resursy Yevropeyskogo Severo-Vostoka Rossii: Materialy XVIII Geologicheskogo syezda Respubliki Komi: IG Komi NTS UrO RAN*, p. 59–69. (in Russian)

Shanina S.N., Sokerina N.V., Galamay A.R., Ledentsov V.N., Onosov D.V. 2014. Opredeleniye temperatur gomogenizatsii vkluycheniy v galite Yakshinskogo mestorozhdeniya [Determination of homogenization temperatures of inclusions in halite of the Yakshinskoye deposit]. *Vestnik IG*, 8:3–6. (in Russian)

Benison K.C., Goldstein R.H. 1999. Permian paleoclimate data from fluid inclusions in halite. *Chemical Geology*, 154:113–132.

Galamay A.R., Fanwei M., Bukowski K., Ni P., Shanina S.N., Ignatovich O.O. 2016. The sulphur and oxygen isotopic composition of anhydrite from the Upper Pechora Basin (Russia): new data in the context of the evolution of the sulphur isotopic record of Permian evaporates. *Geological Quarterly*, 4:990–999.

Horita J., Holland H.D. 1988. Brine inclusions in halite and the origin of the middle Devonian Prairie evaporates of western Canada. *Journal of sedimentary research*, 68:230–231.

Lowenstein T.K., Spencer R.J. 1990. Syndepositional origin of potash evaporates: petrographic and fluid inclusion evidence. *American Journal of Science*. 290:1–42.

Roedder E. 1984. Fluid Inclusions. *Reviews in Mineralogy*. Mineralogical Society of America, V. 12, p. 644.