

УДК 622.363.2

Компонентный состав связанных газов первичных соляных пород Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей

А. С. Папулов, О. В. Иванов, Е. А. Нестеров

Горный институт УрО РАН

614007, Пермь, ул. Сибирская, 78А. E-mail: aspapulov@gmail.com

(Статья поступила в редакцию 24.04.2026 г.)

Исследован компонентный состав связанного газа 321 пробы соляных пород центральной и южной частей Верхнекамского месторождения калийных солей. Газ относится к метаново-азотному типу и характеризуется резко доминирующим содержанием азота (в среднем около 90 %), углеводородов (около 9 %), а также незначительных количеств водорода и углекислого газа. Проведен двухэтапный статистический анализ: сначала по полному составу газовой смеси, затем с пересчетом на 100 % углеводородной фракции. Установлено существенное влияние литологического фактора на изменчивость газового состава. С использованием методов статистического анализа (включая Н-критерий Краскела – Уоллиса и U-критерий Манна – Уитни с поправкой Бонферрони) и геохимической визуализации выявлены четкие, статистически значимые различия между основными литотипами соляной толщи по газовому составу. Связанный газ сильвинитовых пород отличается выраженной гетерогенностью и наиболее высоким содержанием тяжелых углеводородных газов ($C_2 - C_5$); в карналлитовых породах наблюдается обратная картина: максимальные концентрации метана при минимальном присутствии его гомологов; образцы каменной соли занимают промежуточное положение. Наиболее информативными дискриминационными параметрами оказались коэффициенты $CH_4/(C_2H_6 + C_3H_8)$ и $i-C_4H_{10}/n-C_4H_{10}$ ($p < 0,001$). Полученные результаты свидетельствуют о существенной роли литологии в процессах фракционирования углеводородов в связанном газе соляных формаций и могут быть использованы при геохимической типизации пород и оценке условий их формирования.

Ключевые слова: *Верхнекамское месторождение, калийные соли, связанный газ, компонентный состав, boxplot, Н-критерий, U-критерий.*

DOI: 10.17072/psu.geol.25.2.197

Введение

Верхнекамское месторождение калийных солей является одним из крупнейших объектов пермской галогенной формации и важным источником данных о природе углеводородных газов в эвапоритовых толщах. Присутствие связанного газа в соляных породах отмечено с начала промышленного освоения месторождения (Андрейко и др., 1980; Андрейко и др., 2013; Воронов и др., 1976; Джиноридзе, 2000; Морачевский и др., 1937; Морачевский и др., 1939; Несмелова, 1956; Полянина и др., 1976; Чайковский, Иванов, 2014; Черепенников, Божовская, 1969). Несмотря на низкую газоносность соляных пород по связанным газам

(Валеева, 2016; Ключарев, 2020; Нестеров и др., 2010), этот газ представляет значительный интерес как индикатор процессов, протекавших на стадиях седиментогенеза, диагенеза и последующих постседиментационных преобразований. Однако сведения о его компонентном составе, а также о наличии газогеохимических особенностей, характерных для различных литотипов соляной толщи, до настоящего времени оставались ограниченными.

Целью работы является комплексное изучение компонентного состава связанного газа первичных соляных пород и выявление литологически обусловленных различий на основе описательных, графических и непараметрических статистических методов. Ис-

© Папулов А. С. Иванов О. В., Нестеров Е. А., 2026



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

следование выполнено по результатам анализа 321 пробы, отобранной из сильвинитовых ($n = 209$), карналлитовых ($n = 72$) и галитовых пластов ($n = 40$) центральной и южной частей Верхнекамского месторождения (рис. 1).

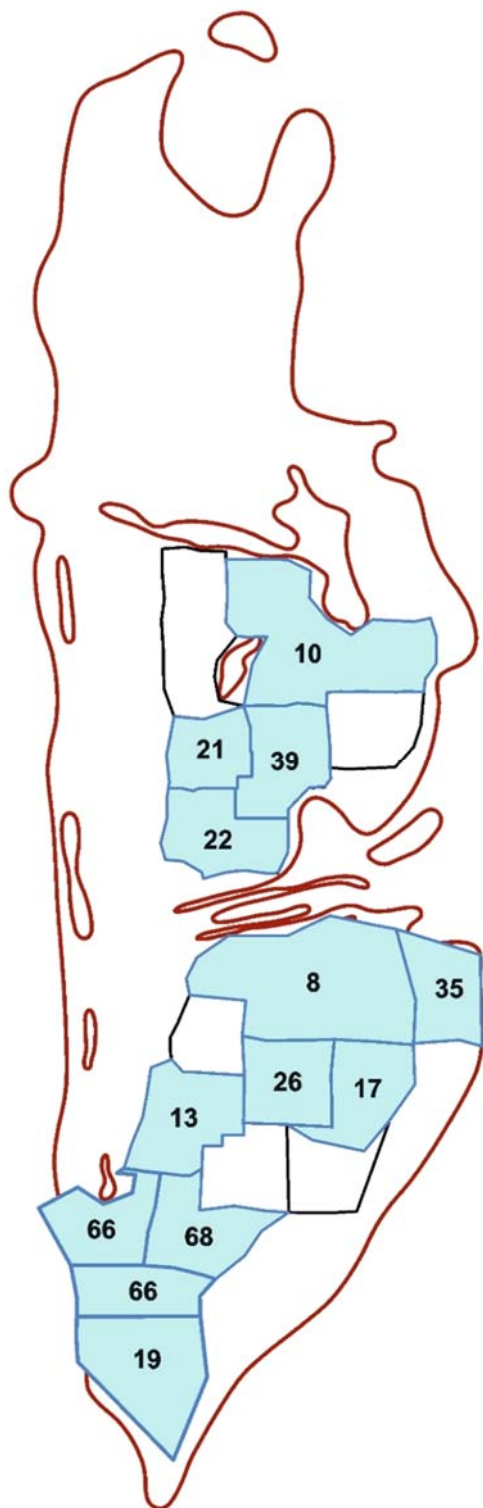


Рис. 1. Область исследования и количество образцов на Верхнекамском месторождении

Пробы отобраны с 12 участков, при этом большая их часть приходится на южную часть месторождения – на новые лицензионные участки (Вогульский, Романовский, Изверский и др.), где в последние годы сосредоточены основные разведочные работы. Компонентный состав связанных газов продуктивных пластов этих территорий ранее практически не изучался. Таким образом, полученные результаты исследования могут быть использованы при характеристике газового профиля продуктивных пластов на площадях, подлежащих активному промышленному освоению в ближайшие годы. Литолого-газогеохимические критерии могут быть использованы на стадии разведки для прогнозирования содержания горючих газов в сильвинитовых и карналлитовых пластах, что имеет значение для выбора безопасных технологий ведения горных работ, оптимизации параметров дегазации.

Методика исследования

Связанные газы извлекались механическим разрушением образцов соляных пород с поэтапным измельчением: первоначально в щековой дробилке Retsch BB 51, затем в планетарной шаровой мельнице Retsch PM 100 в герметичном размольном стакане, оснащённом системой PMGrindControl. После окончания размолва (режим 300 об/мин., 3 мин.) проба газа отбиралась через клапан. Компонентный состав выделившегося газа определялся методом газовой хроматографии на хроматографе Varian 450-GC.

Результаты

Связанный газ первичных соляных пород Верхнекамского месторождения по компонентному составу относится к метаново-азотному типу с резким преобладанием азота (рис. 2). Суммарное содержание углеводородных газов ($C_1 - C_5$) обычно не превышает 9–10 об. %, углекислого газа и водорода – в среднем составляет менее 1,5 об. %. В целом среднее содержание азота во всех литотипах превышает 90 об. % (рис. 3).

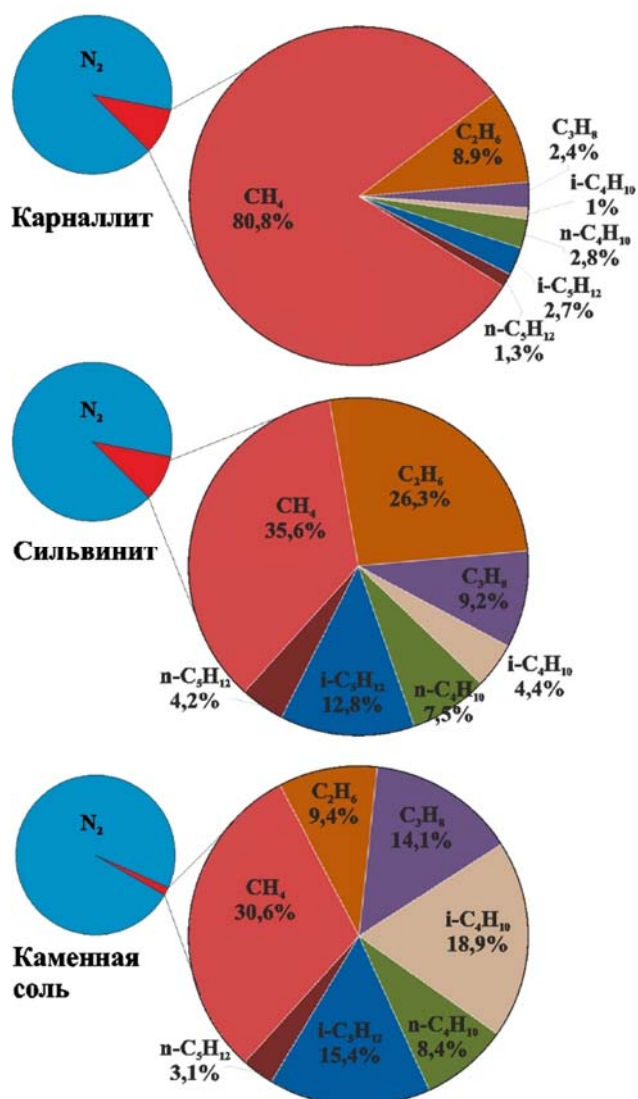


Рис. 2. Средний компонентный состав связанных газов в образцах первичных соляных пород

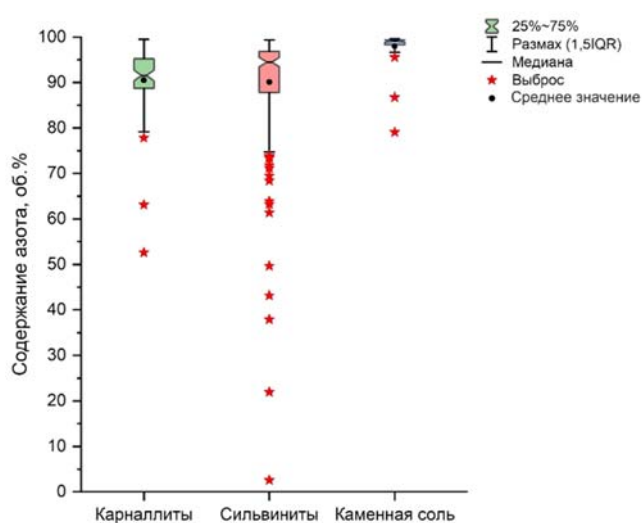
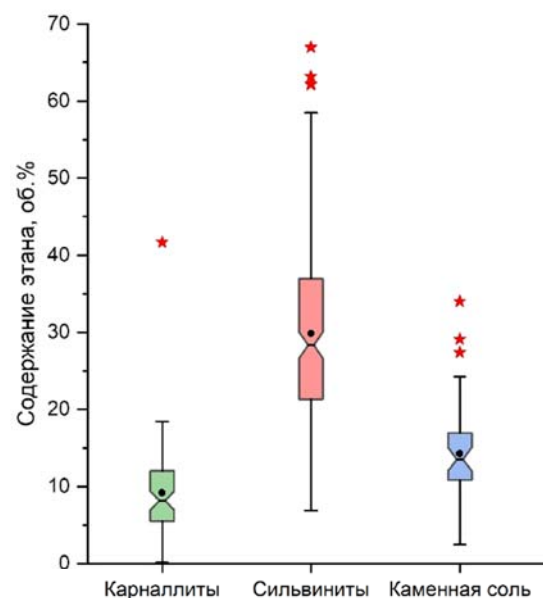
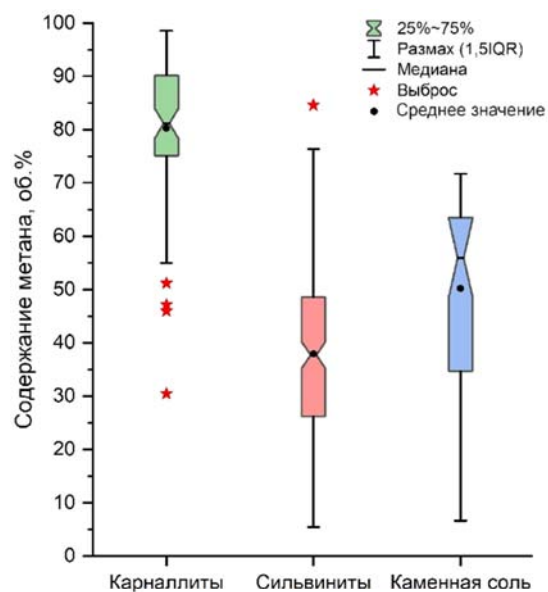


Рис. 3. Диаграммы размаха процентного содержания азота в образцах первичных соляных пород

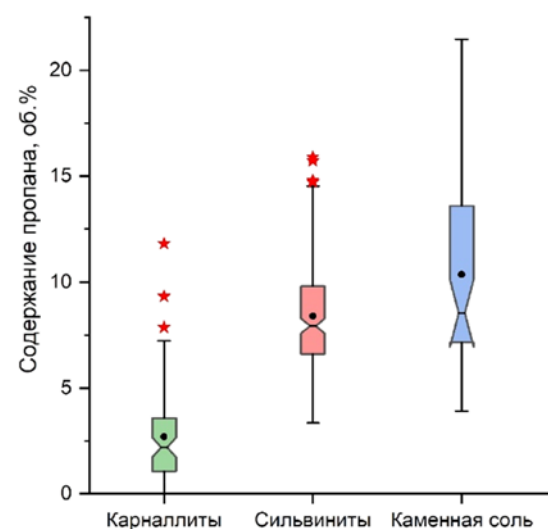


Рис. 4. Диаграммы размаха процентного содержания углеводородных газов (C₁ – C₃) в образцах первичных соляных пород

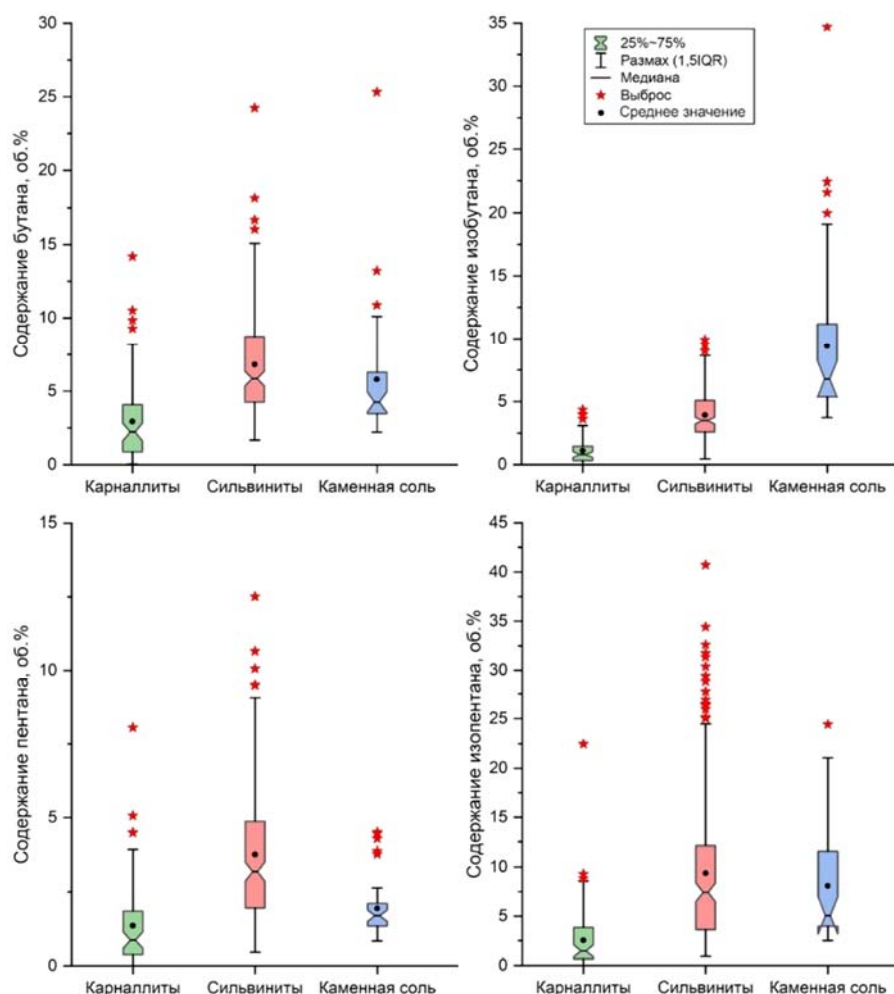


Рис. 5. Диаграммы размаха процентного содержания углеводородных газов ($C_4 - C_5$) в образцах первичных соляных пород

Однако для сильвинитовых пород характерны систематические отклонения в сторону более низких значений – в отдельных образцах содержание азота составляет 70 об. % и ниже. Статистические выбросы, наблюдаемые в этом литотипе, могут быть обусловлены литологической неоднородностью породы. В сильвинитовых пластах развиты галопелитовые и глинистые прослои, обладающие высокой адсорбционной способностью по отношению к тяжелым углеводородным газам ($C_2 - C_5$). Их селективное накопление приводит к относительному обогащению газовой смеси углеводородной фракцией и, как следствие, к снижению доли азота.

На первоначальном этапе проведен статистический описательный анализ всей газовой смеси, включающей углеводороды ($C_1 - C_5$), водород, азот, углекислый газ. На следующем этапе анализ повторно выполнен с пересчетом состава газа исключительно по углеводородной фракции (рис. 4, 5). Такой под-

ход позволяет более точно оценить соотношения между углеводородными компонентами без искажения результатов за счет присутствия инертных или неорганических компонентов, что важно для интерпретации генезиса, анализа процессов миграции и вторичных преобразований углеводородных газов.

Статистический описательный анализ показал, что литологические различия пород сопровождаются закономерными изменениями компонентного состава связанного газа. Связанный газ сильвинитовых пород характеризуется выраженной гетерогенностью и повышенным содержанием гомологов метана (C_{2+}). Связанный газ карналлитовых пород отличается повышенным содержанием метана при одновременно наименьших концентрациях его гомологов ($C_2 - C_5$) по сравнению с сильвинитовыми и галититовыми породами. Образцы каменной соли выделяются среди трех исследуемых литотипов вы-

сокими содержаниями пропана и изобутана. Такая особенность компонентного состава углеводородной фракции может быть обусловлена как условиями первичного накопления газа в породообразующей среде, так и последующими процессами дифференциации и миграции, в результате которых наиболее подвижный компонент, метан, преимущественно выносится вверх по разрезу в ходе длительного хроматографического эффекта.

Для того чтобы визуально выделить различия между исследуемыми литотипами, построены диаграммы по геохимическим коэффициентам (рис. 6). Образцы карналлитовых пород формируют на всех диаграммах четкую «сухую» кластеризацию. Визуально это проявляется в том, что все точки карналлитов располагаются близко к оси метана и далеко от области обогащения этаном и пропаном. Образцы сильвинитовых пород ха-

рактеризуются на всех графиках сравнительно широким распределением, что указывает на присутствие в газе значительных долей этан-пропановых фракций наряду с метаном. Связанный газ образцов каменной соли занимает промежуточное положение между газом сильвинитовых и карналлитовых пород: метановая составляющая остается выраженной, но соседствует со сравнительно высокими содержаниями тяжелых углеводородных газов.

Наиболее информативной с точки зрения газохимической дифференциации является диаграмма « $\text{CH}_4/(\text{C}_2\text{H}_6+\text{C}_3\text{H}_8) - i\text{-C}_4\text{H}_{10}/n\text{-C}_4\text{H}_{10}$ », поскольку она позволяет эффективнее проследить различия в газовом составе, характерные для тех или иных типов солей (рис. 6). Данный график демонстрирует четкое разделение образцов каменной соли от образцов, относящихся к сильвинитовым и

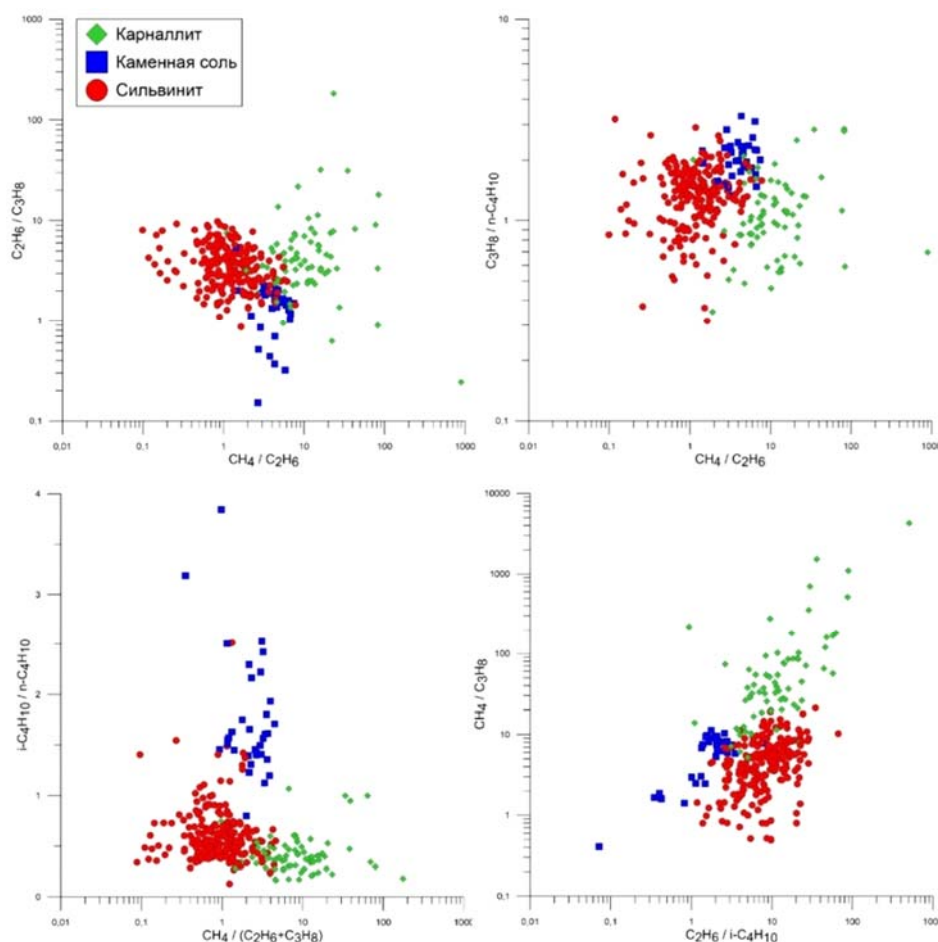


Рис. 6. Вариационные диаграммы углеводородных коэффициентов в образцах первичных соляных пород

карналлитовым породам по изобутан-бутановому коэффициенту, а также наблюдается выраженное разделение между карналлитовыми и сильвинитовыми породами по оси абсцисс. Учитывая выраженную асимметрию распределений и наличие выбросов для большинства переменных (рис. 4, 5), для проверки значимости различий между литотипами были использованы непараметрические методы (Гржибовский, 2008; Наркевич и др., 2020). Статистический анализ включал проверку равенства медиан с применением Н-критерия Краскела – Уоллиса. Для переменных, по которым Н-критерий Краскела – Уоллиса показал значимые различия ($p < 0,05$), проведены попарные сравнения по U-критерию Манна – Уитни с по-

правкой Бонферрони на множественное сравнение. В качестве параметров статистического анализа использовались содержания индивидуальных углеводородных газов (CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$, $n\text{-C}_4\text{H}_{10}$, $i\text{-C}_5\text{H}_{12}$, $n\text{-C}_5\text{H}_{12}$), а также два наиболее дискриминационных геохимических коэффициента – $\text{C}_1/(\text{C}_2+\text{C}_3)$ и $i\text{-C}_4\text{H}_{10}/n\text{-C}_4\text{H}_{10}$, которые показали наилучшее разделение литотипов на вариационных диаграммах (рис. 6). Остальные коэффициенты, представленные на рис. 6, использовались только для визуальной оценки и дополнительной иллюстрации закономерностей. Результаты статистического анализа по Н-критерию и U-критерию представлены в табл.

Таблица. Результаты статистического анализа по Н-критерию и U-критерию

Параметр	Н-статистика	p-value по Н-кр.	Сравниваемая пара	U-статистика	p-value по U-кр.	p-value*
CH_4	153,108	<0,001	1–2	510	<0,001	<0,001
			1–3	223	<0,001	<0,001
			2–3	2401	<0,001	<0,001
C_2H_6	174,582	<0,001	1–2	528	<0,001	<0,001
			1–3	714	<0,001	<0,001
			2–3	868	<0,001	<0,001
C_3H_8	138,578	<0,001	1–2	785	<0,001	<0,001
			1–3	103	<0,001	<0,001
			2–3	3288	0,032	0,097
$i\text{-C}_4\text{H}_{10}$	164,192	<0,001	1–2	1215	<0,001	<0,001
			1–3	4	<0,001	<0,001
			2–3	992	<0,001	<0,001
$n\text{-C}_4\text{H}_{10}$	81,875	<0,001	1–2	2307	<0,001	<0,001
			1–3	599	<0,001	<0,001
			2–3	3041	0,005	0,017
$i\text{-C}_5\text{H}_{12}$	87,986	<0,001	1–2	2073	<0,001	<0,001
			1–3	391	<0,001	<0,001
			2–3	3960	0,598	1
$n\text{-C}_5\text{H}_{12}$	95,867	<0,001	1–2	2244	<0,001	<0,001
			1–3	766	<0,001	<0,001
			2–3	1930	<0,001	<0,001
$\text{C}_1/(\text{C}_2+\text{C}_3)$	168,326	<0,001	1–2	335	<0,001	<0,001
			1–3	196	<0,001	<0,001
			2–3	1856	<0,001	<0,001
$i\text{-C}_4\text{H}_{10}/n\text{-C}_4\text{H}_{10}$	130,055	<0,001	1–2	3255	<0,001	<0,001
			1–3	66	<0,001	<0,001
			2–3	350	<0,001	<0,001

1 группа – карналлитовые породы

2 группа – сильвинитовые породы

3 группа – каменная соль

p-value* – скорректированное p-значение с учетом поправки Бонферрони

Проведенный непараметрический анализ с использованием Н-критерия Краскела – Уоллиса показал статистически значимые различия между группами по ряду газовых

компонентов и геохимических коэффициентов, указывая на гетерогенность исследуемых выборок. Это свидетельствует о существовании различий в составе и распределе-

нии углеводородных фракций в зависимости от литолого-генетической принадлежности или условий формирования газа. Дополнительно выполненный U-критерий Манна – Уитни (в попарном сравнении групп) подтвердил наличие различий для определенных пар групп (1 группа – карналлитовые породы, 2 группа – сильвинитовые породы, 3 группа – каменная соль) и позволил уточнить, между какими именно типами пород наблюдаются статистически значимые расхождения. Параметры, которые показывают значимость только для одной или двух пар, но не во всех трех сравнениях, рассматриваются как ограниченно информативные. В частности, несмотря на значимые различия по такому параметру, как содержание пропана (C_3H_8) в парах 1–2 и 1–3 ($p < 0,001$), отсутствие значимости в паре 2–3 ($p = 0,097$) указывает на ограниченную способность данного показателя различать все три группы. Аналогичная ситуация наблюдается и для такого параметра, как содержание изобутана ($i-C_4H_{10}$), который, несмотря на высокую значимость в некоторых сравнениях, не обеспечивает полной дискриминации между группами 2 и 3 (сильвинитовые породы и каменная соль) ($p = 1,000$).

Заключение

Проведенное исследование компонентного состава связанных газов 321 пробы первичных пород Верхнекамского месторождения выявило четкую дифференциацию, связанную с литологическим составом солей. Карналлитовые породы характеризуются наиболее «сухим» газом с высоким содержанием метана (CH_4) и минимальном содержанием его гомологов ($C_2 - C_5$). Сильвинитовые породы, напротив, содержат наиболее «жирный» связанный газ с существенно повышенными концентрациями этана (C_2H_6), пропана (C_3H_8), пентана ($n-C_5H_{12}$) и изопентана ($i-C_5H_{12}$). Связанный газ каменной соли отличается промежуточными характеристиками – отмечается как преобладание метана (CH_4), так и тяжелых углеводородных газов. Выявленная литолого-газогеохимическая дифференциация может быть обусловлена следующими факторами: (1) крайне низкой эффективной проницаемостью и низким со-

держанием глинистых прослоев в каменной соли, благодаря чему разветвленная молекула изобутана хуже диффундирует, чем линейная молекула н-бутана; (2) сильвинитовые породы содержат многочисленные галопелитовые прослои, обладающие высокой адсорбционной способностью, что приводит к селективному удержанию и накоплению тяжелых гомологов метана и формированию «жирного газа»; (3) подтоком метана в карналлитовую зону из нижележащих толщ. Полученные статистические результаты согласуются с графической интерпретацией вариационных диаграмм. Непараметрические критерии подтвердили, что по диагностическим коэффициентам ($C_1/(C_2+C_3)$, $i-C_4H_{10}/n-C_4H_{10}$) статистически значимо различаются карналлитовые, сильвинитовые и галитовые породы, что дает возможность использовать их в качестве инструмента предварительной геохимической типизации соляных пород на стадиях разведки.

Библиографический список

Андрейко С. С. Некоторые особенности распределения углеводородных газов по разрезу Верхнекамского месторождения калийных солей / С. С. Андрейко, В. И. Галкин, Г. П. Шаманский // Разработка соляных месторождений: межвуз. сб. науч. тр. Пермь: Перм. политех. ин-т, 1980. С. 82–87.

Андрейко С. С. Исследование газоносности соляных пород по связанным газам на новых участках шахтных полей рудников ОАО «Уралкалий» / С. С. Андрейко, Э. Р. Гайсина, К. А. Красильникова, В. В. Пачгин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2013. Т. 12, № 8. С. 86–100. EDN: SIKBRZ

Валеева О. А. Газоносность по связанным газам в образцах соляных пород скважины № 704/1 Половодовского участка Верхнекамского месторождения калийных солей / О. А. Валеева // Теоретические и практические аспекты развития современной науки: мат. междунар. (заочной) науч.-практ. конф. Душанбе, Таджикистан, 25 апреля 2016 года / под общей редакцией А. И. Вострецова. Душанбе: Научно-издательский центр «Мир науки» (ИП Вострецов Александр Ильич), 2016. С. 132–135.

Воронов А. Н. Природные газы осадочной толщи / А. Н. Воронов, А. Х. Махмудов,

З. Н. Несмелова (и др.) / под ред. В. П. Якуцени. Л.: Недра, 1976. 344 с.

Гржибовский А. М. Анализ трех и более независимых групп количественных данных // Экология человека. 2008. № 3. С. 50–58. EDN: IIRGIN

Джиноридзе Н. М. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / под ред. Н. М. Джиноридзе. Соликамск: ОГУП Соликамск, типография, 2000. 400 с.

Ключарев А. П. Газоносность пластов по связанным газам Палашерского участка Верхнекамского месторождения калийных солей / А. П. Ключарев // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. 2020. Т. 1. С. 239–243. EDN: GZANXB

Морачевский Ю. В. Газоносность толщи калийных солей Верхнекамского месторождения / Ю. В. Морачевский, А. Г. Самарцева, А. А. Черепенников // Калий. 1937. № 7. С. 24–31.

Морачевский Ю. В. Очерки геохимии Верхнекамских соляных отложений / Ю. В. Морачевский, А. Г. Безденежных, Т. Б. Поленова, М. М. Тихомирова, А. А. Черепенников // Тр. ВНИИГ. Вып. 17. Л.: ГОНТИ, 1939.

Наркевич А. Н. Множественные сравнения в

биомедицинских исследованиях: проблема и способы решения / А. Н. Наркевич, К. А. Виноградов, А. М. Гржибовский // Экология человека. 2020. № 10. С. 55–64. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-10-55-64 EDN: DDXMDA

Нестеров Е. А. Газоносность калийных пород по связанным газам в условиях краснослободского рудника / Е. А. Нестеров, О. В. Иванов, С. С. Андрейко // Научные исследования и инновации. 2010. Т. 4, № 1. С. 89–91. EDN: MBFMSV

Несмелова З. Н. Газоносность соляной толщи Березниковского калийного рудника: автореф. ... канд. геол.-минер. наук. ВСЕГЕИ, 1956.

Полянина Г. Д. Некоторые данные о газоносности соляных пород Второго Соликамского рудника / Г. Д. Полянина, А. Н. Земсков, Н. Ф. Красюк // Вентиляция шахт и рудников. Л.: ЛГИ, 1976. № 3. С. 57.

Чайковский И. И. Новые данные по геохимии газов калийных месторождений / И. И. Чайковский, О. В. Иванов // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 4(25). С. 56–65. EDN: TCRSUX

Черепенников А. А. Исследование газоносности Третьего калийного горизонта Первого Солигорского рудника / А. А. Черепенников, Т. К. Божовская // Труды ВНИИГ. 1969. № 51. С. 135.

Component Composition of Associated Gases In Primary Salt Rocks of the Verkhnekamskoye Potash Salt Deposit

A.S. Papulov, O.V. Ivanov, E.A. Nesterov

Mining Institute Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia

The component composition of associated gas in 321 samples of salt rocks from the central and southern parts of the Verkhnekamskoye potash deposit was studied. The gas is of methane-nitrogen type and is characterized by a sharply predominant nitrogen content (on average ~90%), hydrocarbons (~9%), and minor amounts of hydrogen and carbon dioxide. A two-stage statistical analysis was performed: first on the full gas mixture composition, and then with normalization to 100% of the hydrocarbon fraction. A significant influence of the lithological factor on gas composition variability was established. Using statistical analysis methods (including the Kruskal-Wallis H-test and the Mann-Whitney U-test with Bonferroni correction) and geochemical visualization, clear and statistically significant differences were identified among the main lithotypes of the salt formation in terms of gas composition. Associated gas in sylvinitic rocks exhibits pronounced heterogeneity and the highest content of heavy hydrocarbon gases (C_2-C_5), but, in carnallite rocks, the opposite pattern when maximum methane concentrations with minimal presence of its homologues was observed. Rock salt (halite) samples occupy an intermediate position. The most informative discriminant parameters were the $CH_4/(C_2H_6+C_3H_8)$ and $i-C_4H_{10}/n-C_4H_{10}$ ratios ($p < 0.001$). The results indicate a significant role of lithology in the fractionation processes of hydrocarbons in associated gases of salt formations and can be used for geochemical typification of rocks and assessment of their formation conditions.

Key words: *Verkhnekamskoye deposit; potash salts; associated gas; compositional profile; boxplot; H-test; U-test.*

References

- Andreyko S.S., Galkin V.I., Shamanskiy G.P. 1980. Nekotoryye osobennosti raspredeleniya uglevodorodnykh gazov po razrezu Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley [Some features of the distribution of hydrocarbon gases along cross-section of the Verkhnekamskoye potassium salt deposit]. In: *Razrabotka solyanykh mestorozhdeniy. Mezhvuz. sb. nauch. tr. Perm, Perm. politekhn. in-t*, pp. 82-87. (in Russian)
- Andreyko S.S., Gaysina E.R., Krasil'nikova K.A., Pachgin V.V. 2013. Issledovaniye gazonosnosti solyanykh porod po svyazannym gazam na novykh uchastkakh shakhtnykh poley rudnikov OAO "Uralkaliy" [Study of gas content in salt rocks by bound gases in new areas of mine fields of JSC Uralkaliy]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoye i gornoye delo*, 12(8):86-100. (in Russian)
- Valeyeva O.A. 2016. Gazonosnost po svyazannym gazam v obraztsakh solyanykh porod skvazhiny №704/1 Polovodovskogo uchastka Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley [Gas content by bound gases in samples of salt rocks from well No. 704/1 of the Polovodovskiy section of the Verkhnekamskoye potassium salt deposit]. In: *Teoreticheskiye i prakticheskiye aspekty razvitiya sovremennoy nauki. Mat. konf. (Elektronnyy resurs)*. Dushanbe, Tadzhikistan, Mir nauki, pp. 132-135. (in Russian)
- Voronov A.N., Makhmudov A.Kh., Nesmelova Z.N. 1976. Prirodnyye gazy osadochnoy tolshchi [Natural gases of the sedimentary strata]. Ed. V.P. Yakutsenya, Leningrad, Nedra, p.344. (in Russian)
- Grzhibovskiy, A.M. 2008. Analiz trekh i boleye nezavisimyykh grupp kolichestvennykh dannykh [Analysis of three or more independent groups of quantitative data]. *Ekologiya cheloveka*, 3:50-58. (in Russian)
- Dzhinoridze, N.M. 2000. Petrotektonicheskiye osnovy bezopasnoy ekspluatatsii Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliyno-magniyevykh soley [Petrotectonic foundations of safe exploitation of the Verkhnekamskoye potassium-magnesium salt deposit]. *Solikamsk, OGUP Solikamsk*, p. 400. (in Russian)
- Klyucharev A.P. 2020. Gazonosnost plastov po svyazannym gazam Palasherskogo uchastka Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley [Gas content of layers by bound gases in the Palasherskiy section of the Verkhnekamskoye potassium salt deposit]. *Problemy razrabotki mestorozhdeniy uglevodorodnykh i rudnykh poleznykh iskopayemykh*, 1:239-243. (in Russian)
- Morachevskiy Yu.V., Samartseva A.G., Cherepennikov A.A. 1937. Gazonosnost tolshchi kaliynykh soley Verkhnekamskogo mestorozhdeniya [Gas content of the potassium salt strata of the Verkhnekamskoye deposit]. *Kaliy*. 7:24-31. (in Russian)
- Morachevskiy Yu.V., Bezdenyevskiy A.G., Polenova T.B., Tikhomirova M.M., Cherepennikov A.A. 1939. Ocherki geokhimii Verkhnekamskikh solyanykh otlozheniy [Essays on the geochemistry of Verkhnekamsk salt deposits]. Tr. VNIIG, vyp. 17. Leningrad, GONTI. (in Russian)
- Narkevich A.N., Vinogradov K.A., Grzhibovskiy A.M. 2020. Mnozhestvennyye sravneniya v biomeditsinskikh issledovaniyakh: problema i sposoby resheniya [Multiple comparisons in biomedical research: problem and solutions]. *Ekologiya cheloveka*. 10:55-64. (in Russian)
- Nesterov E.A., Ivanov O.V., Andreyko S.S. 2010. Gazonosnost kaliynykh porod po svyazannym gazam v usloviyakh krasnoslobodskogo rudnika [Gas content of potassium rocks by bound gases under the conditions of the Krasnoslobodsky mine]. *Nauchnyye issledovaniya i innovatsii*. 4(1):89-91. (in Russian)
- Nesmelova Z.N. 1956. Gazonosnost solyanoy tolshchi Berezanikovskogo kaliynogo rudnika [Gas content of the salt strata of the Bereznikovskiy potassium mine]. Diss. cand.geol.-min.nauk, VSEGEI. (in Russian)
- Polyanina G.D., Zemskov A.N., Krasnyuk N.F. 1976. Nekotoryye dannyye o gazonosnosti solyanykh porod Vtorogo Solikamskogo rudnika [Some data on the gas content of salt rocks of the Second Solikamsk mine]. *Ventilyatsiya shakht i rudnikov*, V. 3, Leningrad, LGI, p. 57. (in Russian)
- Chaykovskiy I.I., Ivanov O.V. 2014. Novyye dannyye po geokhimii gazov kaliynykh mestorozhdeniy [(New data on the geochemistry of gases in potassium deposits)]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 4(25):56-65. (in Russian)
- Cherepennikov A.A., Bozhovskaya T.K. 1969. Issledovaniye gazonosnosti Tretyego kaliynogo gorizonta Pervogo Soligorskogo rudnika [Study of gas content of the Third potassium horizon of the First Soligorskiy mine]. *Trudy VNIIG*, v. 51, p. 135. (in Russian)