

Исследование содержания галопелитов в пласте каменной соли Б-В Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей

В.И. Галкин¹, С.С. Андрейко², Н.А. Литвиновская¹, С.В. Галкин¹, Т.А. Лялина²✉

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация

² Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, Российская Федерация

✉ tamara.lylina@gmail.com

Резюме: В статье представлены результаты исследований содержания галопелитов в пласте каменной соли Б-В в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей с позиций газодинамической опасности при отработке калийного пласта АБ. Наличие галопелитовых прослоев в пласте межпластовой каменной соли Б-В рассматривается как фактор, обуславливающий снижение как прочности пород при растяжении, так и сцепления между отдельными слоями пород кровли горных выработок, что приводит к ее интенсивному расслоению, а при наличии скоплений свободного газа в образовавшихся расслоениях или его фильтрации из вмещающих пород в образовавшиеся расслоения – и к газодинамическим явлениям в виде обрушений пород кровли, сопровождающихся газовыделением. Прогнозирование газодинамической опасности крайне важно как при отработке калийных пластов, так и при разработке совмещенных в плане нефтяных и калийных месторождений. В процессе проведения исследований содержание галопелитов в пласте каменной соли Б-В учитывалось через такой количественный показатель, как содержание нерастворимого в воде остатка (Н.О.). Проведён анализ статистической зависимости содержания нерастворимого остатка как количественной характеристики содержания галопелитов в пласте Б-В с другими характеристиками пласта, такими как содержание сульфата кальция, мощность пласта и абсолютная отметка кровли.

Получены уравнения регрессии, характеризующие корреляционные связи между Н.О. и CaSO_4 , Н.О. и $H_{кр}$ с учетом трех изучаемых вариантов. Выполнен анализ значений коэффициента корреляции между Н.О. по CaSO_4 , а также вида уравнений регрессии по свободным и угловым членам.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей, галопелиты, нерастворимый остаток, каменная соль Б-В, сильвинитовые пласты, газодинамические явления, коэффициент корреляции, статистическая модель, зоны газодинамической опасности

Благодарности: Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки РФ FSNM-2020-0027 на выполнение фундаментальных научных исследований на 2020 г. и плановый период 2021 и 2022 гг.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию №075-03-2021-374 от «29» декабря 2020 г. (рег. номер 122012000396-6)

Для цитирования: Галкин В.И., Андрейко С.С., Литвиновская Н.А., Галкин С.В., Лялина Т.А. Исследование содержания галопелитов в пласте каменной соли Б-В Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. *Горная промышленность*. 2022;(4):103–108. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-4-103-108>

Studies of halopelite content in the B-V rock salt layer of the Verkhnekamsk potassium-magnesium salt deposit

V.I. Galkin¹, S.S. Andreyko², N.A. Litvinovskaya¹, S.V. Galkin¹, T.A. Lyalina²✉

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

² Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russian Federation

✉ tamara.lylina@gmail.com

Abstract: The paper presents the results of studying halopelite content in the B-V rock salt layer in conditions of the Verkhnekamsk potassium-magnesium salt deposit in terms of gas-dynamic hazard during mining of the AB potassium layer. Presence of halopelite bands in the interformational B-V rock salt layer is considered as the factor which causes reduction of both rock tensile strength and cohesion between individual rock layers in the roof of the mine workings that leads to its intensive exfoliation. In case of free gas accumulation or its infiltration from the enclosing rocks into the formed voids this can cause gas-dynamic phenomena, i.e. the roof rocks collapse accompanied by gas emission. Forecasting of the gas-dynamic hazards is extremely important both in mining of potash beds and in the development of oil and potash deposits that coincide laterally. In the course of the research, the content of halopelite within the B-V rock salt formation was taken into account using such a quantitative indicator as the content of water insoluble residue (IR). Analysis of statistical dependence of insoluble residue

content as a quantitative characteristic of halopelite content in the B–V formation with the other formation characteristics such as calcium sulphate content, formation thickness and absolute roof elevation was performed.

The regression equations were obtained that characterize the correlation relations between the IR and CaSO₄, IR and H_{cr} with regard to the three studied options. Analysis of correlation coefficient values was executed between the IR by CaSO₄, as well as the type of the regression equations for free and angular members.

Keywords: Upper Kama deposit of potassium-magnesium salts, halopelites, insoluble residue, B-V rock salt, sylvinite layers, rockburst, correlation coefficient, statistical model, gas-dynamic hazard zones

Acknowledgments: The research was carried out under the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FSNM-2020-0027 to perform basic research in 2020 and the planning period of 2021 and 2022.

The research was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education under Agreement on Governmental Order No. 075-03-2021-374 of December 29, 2020 (reg. number 122012000396-6)

For citation: Sokolovsky A.V., Tereshina M.A., Pikalov V.A., Zalyadnov V.Y. Studies of halopelite content in the B-V rock salt layer of the Verkhnekamsk potassium-magnesium salt deposit. *Russian Mining Industry*. 2022;(4):103–108. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-4-103-108>

Введение

В настоящее время на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей (ВКМС) разработка промышленных сylvинитовых пластов ведется подземным способом. Разработка запасов осуществляется пятью рудниками ПАО «Уралкалий»: три рудника (СКРУ–1, СКРУ–2 и СКРУ–3) эксплуатируют Соликамский и Ново-Соликамский участки, два рудника БКПРУ–2 и БКПРУ–4 ведут добычу на Дурыманском и Троицко-Быгельском участках, рудник ООО «Усольский калийный комбинат» – на Палашерском и части Балахонцевского участка. Кроме того, Усть-Яйвинский и Половодовский участки переданы для освоения ПАО «Уралкалий», а Талицкий участок передан ООО «Верхнекамская калийная компания».

В процессе горных работ, как подготовительных, так и очистных, в калийных рудниках Верхнекамского месторождения постоянной проблемой остаются газодинамические явления. [1–6]. Прогнозирование газодинамической опасности крайне важно как при отработке калийных пластов, так и при разработке совмещенных в плане нефтяных месторождений, в последнем случае особенно при проектировании мероприятий гидроразрыва нефтяного пласта. Эти явления чрезвычайно опасны не только для жизни шахтёров, они также приводят к незапланированным остановкам очистных и подготовительных работ. В конечном счете, всё это сказывается на экономической эффективности предприятия. В мировой практике подземной разработки калийных пластов известны случаи, когда проблема газодинамических явлений приводила к закрытию калийных рудников [7].

В калийных рудниках при ведении горных работ принят нисходящий порядок отработки сylvинитовых пластов. В этой связи преобладающее число газодинамических явлений – более 70% от общего количества, происходит при ведении горных работ на пласте АБ, который отработывается в первую очередь. Здесь чаще всего случается такой вид газодинамических явлений, как внезапное обрушение пород кровли горных выработок, сопровождающееся газовыделением (рис. 1).

Пласт каменной соли Б–В, залегающий над пластом АБ, выполняет защитную функцию, отделяя горные выработки пласта АБ от газоносного и опасного по газодинамическим явлениям пласта В. Обычно при отработке запасов пласта АБ для безопасной работы достаточно проводить горные выработки без подрезки пород пласта Б–В. При этом увеличение содержания галопелитов в пласте Б–В сопровождается снижением прочности пород пласта.

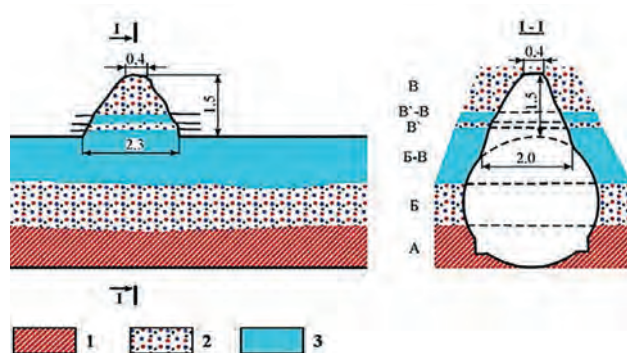


Рис. 1
Пример внезапного обрушения пород кровли выработки, сопровождающегося газовыделением:
1 – полосчатый сylvинит;
2 – пестрый сylvинит;
3 – каменная соль

Fig. 1
An example of a sudden collapse of the mine roof rocks accompanied by gas emission:
1 – banded sylvinite;
2 – mottled sylvinite;
3 – rock salt

При региональном и локальном прогнозировании зон, опасных по газодинамическим явлениям на пласте АБ, в решающих правилах учитывается содержание галопелитов в пласте каменной соли Б–В через такой количественный показатель, как содержание нерастворимого в воде остатка (Н.О.) [1]. Водонерастворимый остаток солей ВКМС может находиться как в виде включений в кристаллы минералов, так и в виде вкраплений между кристаллами. Кроме того, все соляные пласты включают множество прослоев галопелитов самой разной мощности. Ещё одна форма нахождения нерастворимого остатка – скопление глинистого материала [8–11]. Наибольший интерес, как повсеместно встречающиеся, представляют прослои галопелитов.

Для пород ВКМС характерны два типа прослоев галопелитов [9, с. 21]. Первый тип имеет небольшую мощность, 1–2 мм. Этот тип прослоев характерен для всего геологического разреза Верхнекамского месторождения, и эти тонкие прослои всегда находятся на контакте слоёв сylvинита и галита. Галопелитовые прослои второго типа гораздо мощнее прослоев первого типа, их мощность может достигать десятков сантиметров. Обычно прослои второго типа встречаются именно в межпластовой каменной соли (рис. 2). На рис. 2 красными стрелками показаны галопелитовые прослои второго типа, встречающиеся в каменной соли пласта Б–В (межпластовая каменная соль).

«Под скоплениями глинистого материала понимаются тела галопелитов, форма, размеры и положение которых не характерны для соляной толщи месторождения»

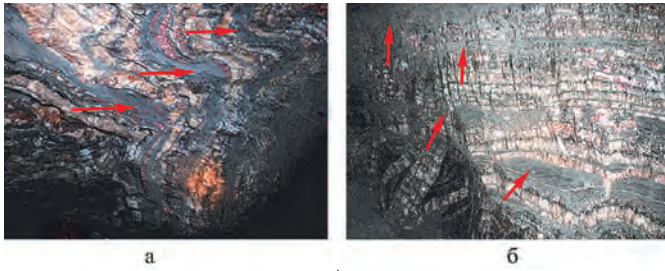


Рис. 2
Галопелитовые прослои в пласте каменной соли Б–В в месте внезапного выброса соли и газа: *а* – рудник БКПРУ–2, 13-я восточная панель, блоковый конвейерный штрек; *б* – рудник БКПРУ–2, 9-я восточная панель, очистная камера №189

Fig. 2
Halopelite interlayers in the rock salt layer B–V in the place of the rockburst of the salt and gas: *a* – Uralkali’s Berizniki Ore Development Unit No 2 (Mine 2), 13th eastern panel, block conveyor drift; *b* – Mine 2, 9th eastern panel, cleaning chamber No.189

[9, с. 26]. Выделяют пять видов скоплений глинистого материала: локальные утолщения, линзовидные тела, пластообразные, изометричные и тела сложной формы.

Вполне очевиден тот факт, что чем больше мощность галопелитовых прослоев и чем чаще они встречаются по геологическому разрезу, тем больше будет нерастворимого остатка в солях, а это, в свою очередь, приводит к осложнениям при ведении подготовительных и очистных горных работ. Например, наличие галопелитовых прослоев в пласте межпластовой каменной соли Б–В обуславливает снижение как прочности пород при растяжении, так и сцепления между отдельными слоями пород кровли горных выработок, что приводит к ее интенсивному расслоению, а при наличии скоплений свободного газа в образовавшихся расслоениях или его фильтрации из вмещающих пород в образовавшиеся расслоения – и к газодинамическим явлениям в виде обрушений пород кровли, сопровождающихся газовыделением.

Таким образом, исследование содержания галопелитов в пласте каменной соли Б–В является актуальной задачей с позиций оценки газодинамической опасности при ведении горных работ на пласте АБ.

Методология

Методика исследований содержания галопелитов предусматривает обработку данных геологоразведочных работ с поверхности и в подземных горных выработках калийных рудников. Известно, что методика геологического опробования геологоразведочных скважин, пробуренных с поверхности, оставалась на ВМКС неизменной в течение длительного времени. Керна подвергался сплошному секционному опробованию. Длина каждой секции керна бралась равной мощности пласта или слоя. Исключение составляли пласты большой мощности, более 3,0 м. Также отдельно рассматривались мощные пласты (более 5 см). Для опробования керна разделялся на две части по оси. В исследовании использовалась одна часть. В действующих калийных рудниках опробование проводилось либо по кернам скважин подземного геологоразведочного бурения в горных выработках, либо путем бороздового опробования по стенкам горных выработок по определенной сетке опробования. Статистической обработке был подвергнут весь фактический материал, имеющийся по данным опробования пласта каменной соли Б–В на

месторождении по Южному и Центральному участкам Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Методы математической статистики и теории вероятностей детально описаны в работах как отечественных, так и зарубежных авторов [12–18].

Результаты проведенных исследований

Для пласта каменной соли Б–В при прогнозировании зон, опасных по газодинамическим явлениям, содержание нерастворимого остатка (Н.О.) обычно определяют по статистической зависимости от содержания CaSO₄ [19], т.к. в результатах опробования часто отсутствуют сведения о количественном содержании Н.О. [20; 21]. Для более полного анализа влияния на величину Н.О. не только CaSO₄, но и других характеристик, таких как значения абсолютных отметок кровли пласта Б–В – Н_{кр} и мощности пласта Б–В – М_{Б-В}, выполнен расчет корреляционных связей между показателями. Для корреляционного анализа использованы данные по Южному и Центральному участкам Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Всего при анализе использовано 635 проб (n = 635). По этим данным были построены корреляционные поля между всеми показателями и были вычислены коэффициенты корреляции *r* между используемыми показателями. Значения коэффициентов *r* приведены в табл. 1.

Выполненный анализ корреляционных полей между показателями показал, что в пределах полей корреляции наблюдается на визуальном уровне наличие подполей, которые наиболее контрастно проявляются при анализе полей, где присутствует величина М_{Б-В}.

Из анализа данных полей видно, что разделение на подполя наблюдается по значению мощности пласта каменной соли Б–В (М_{Б-В} = 0,6 м). По ряду соотношений при М_{Б-В} больше или меньше 0,6 м наблюдаются изменения соотношений, в ряде случаев даже до смены знаков коэффициентов корреляции *r*. Анализ значений коэффициентов корреляции *r* показал, что из 18 значений коэффициентов корреляции *r* статистически значимыми являются 12, при этом в ряде случаев при рассмотрении трех изучаемых вариантов, приведенных в табл.1, происходит значительное изменение значений не только по силе связи, но и по направлению корреляции. Например, корреляция между Н_{кр} и М_{Б-В} по всем данным характеризуется обратной связью, при М_{Б-В} ≤ 0,6 м корреляция положительная, статистически незначимая. Также корреляция Н_{кр} с CaSO₄ и Н.О. имеет разные знаки в рассмотренных вариантах. Корреляции между

Таблица 1
Корреляционная матрица

Показатели	Абсолютные отметки кровли пласта Б–В, Н _{кр}	Table 1 Correlation matrix		
		Мощность пласта Б–В, М _{Б-В}	Содержание в пласте Б–В CaSO ₄	Содержание в пласте Б–В Н.О.
Н _{кр}	1,00	-0,17*	-0,03	0,04
	1,00	0,55	-0,28*	-0,34*
	1,00	-0,23*	0,17	0,48*
М _{Б-В}		1,00	-0,37*	-0,67*
		1,00	-0,33*	-0,08
		1,00	-0,34*	-0,43
CaSO ₄			1,00	0,65*
			1,00	0,60*
			1,00	0,70*
Н.О.				1,00
				1,00
				1,00

Примечание: -0,17* – значимые корреляционные связи

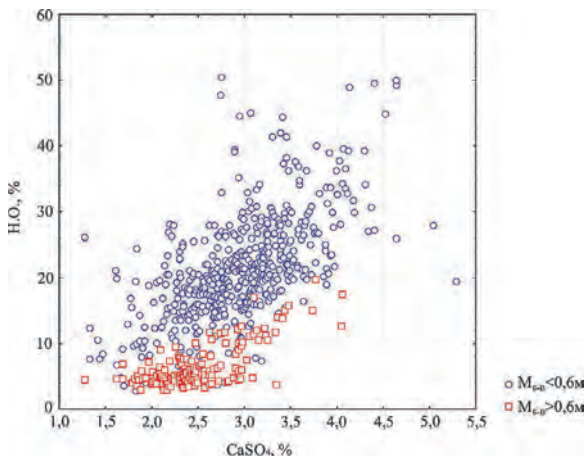


Рис. 3
Поле корреляции между Н.О. и CaSO₄

Fig. 3
Correlation field between N.O. and CaSO₄

M_{Б-В} и CaSO₄ во всех трех вариантах однонаправленные, так же как и корреляции между CaSO₄ и Н.О.

В матрице верхняя строка – все данные, в средней строке представлены данные для малой, менее 0,6 м, мощности пласта Б-В, а в нижней строке приведены данные для большой мощности пласта Б-В.

Величина Н.О. имеет значимые корреляционные связи различной силы и направленности не только с содержанием сульфата кальция (CaSO₄), но и с мощностью пласта каменной соли Б-В (M_{Б-В}). В то же время значимая корреляционная связь с абсолютными отметками кровли пласта Б-В (H_{кр}) отсутствует. На рис. 3 приведено поле корреляции между Н.О. и CaSO₄ с учетом значений M_{Б-В}.

Анализ распределения значений в пределах корреляционного поля между Н.О. и CaSO₄ с учетом значений M_{Б-В} показывает, что в пределах данного поля корреляции, несмотря на то что между ними существует статистически значимая корреляционная связь, на визуальном уровне выделяются два подполя, которые между собой практически не пересекаются. Отметим, что разделение на два подполя происходит в большей степени по значениям Н.О. на всем диапазоне значений, чем по величине CaSO₄. Кроме этого, из поля корреляции видно, что при CaSO₄ > 3,5%, наблюдается, во-первых, ослабление корреляционной связи между CaSO₄ и Н.О., и, во-вторых, практически отсутствуют значения Н.О. где M_{Б-В} больше 0,6 м. Уравнения регрессии, характеризующие корреляционные связи между Н.О. и CaSO₄ и Н.О. и H_{кр} с учетом трех изучаемых вариантов, приведены в табл. 2.

Анализ значений коэффициента корреляции *r* между Н.О. по CaSO₄ показывает, что для изучаемых вариантов они достаточно близки, тогда как вид уравнений регрессии значительно отличается. Корреляции между Н.О. и H_{кр} во всех трех вариантах значительно отличаются. При использовании всех данных имеется слабая положительная, статистически незначимая корреляция, при M_{Б-В} < 0,6 м корреляция статистически значимая, но обратная, при

M_{Б-В} > 0,6 м корреляция положительная, статистически значимая. Уравнения регрессии Н.О. от H_{кр} также имеют различные виды.

На шахтных полях рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-4 ПАО «Уралкалий» проводилось бурение подземных геологических скважин. Керн, отобранный при бурении этих скважин, в «ГИ УрО РАН» использовался для исследования химического состава и физико-механических свойств соляных пород. На основании полученных данных была установлена связь между прочностью пород каменной соли пласта Б-В на одноосное сжатие и содержания в ней нерастворимого остатка.

В процессе проведения экспериментальных исследований было установлено, что предел прочности на одноосное сжатие пласта каменной соли Б-В изменяется в пределах от 15,1 до 24,9 МПа, а его среднее значение составляет 21,3 МПа. Содержание нерастворимого остатка в пласте каменной соли Б-В колеблется от 2,96 до 11,76%, при среднем значении 5,74%. После статистической обработки экспериментальных данных авторами была получена корреляционная зависимость прочности на одноосное сжатие пласта каменной соли Б-В от содержания нерастворимого остатка следующего вида:

$$\sigma_{сж} = 0,10 \cdot (275,71 - 10,98 \cdot Н.О.),$$

где $\sigma_{сж}$ – прочность пласта каменной соли Б-В на одноосное сжатие, МПа; Н.О. – содержание нерастворимого остатка в пласте каменной соли Б-В, %.

Коэффициент корреляции *r* при этом составил –0,96, а величина коэффициента детерминации R – 0,92.

Наличие такой статистически значимой связи свидетельствует о том, что, имея значения Н.О. в породах пласта каменной соли Б-В, можно определить предел прочности на одноосное сжатие. Данная величина может быть использована на стадии регионального и локального прогнозирования газодинамической опасности пород при ведении подготовительных и очистных горных работ по пласту АБ в калийных рудниках. Следовательно, значения показателя нерастворимого остатка наряду с другими используемыми показателями будет применяться для определения газодинамической опасности при отработке пласта АБ [2; 8–10].

В данном случае прочность пласта каменной соли Б-В на одноосное сжатие является зависимой переменной и находится в отношении причинной связи с независимой переменной – содержанием нерастворимого остатка в пласте каменной соли Б-В. Следовательно, коэффициент детерминации 0,92 определяет долю, которая может рассматриваться как причинно обусловленная изменением содержания нерастворимого остатка. Влияние на прочность пласта каменной соли Б-В других факторов оценивается на уровне 8%. Следует отметить, что влияние других факторов на соотношение между $\sigma_{сж}$ и Н.О. также представляет определенный интерес с позиций повышения надежности прогнозирования газодинамической опасности при отработке калийных пластов.

При этом выше было показано, что соотношение между

Н.О. и CaSO₄ характеризуется разными взаимоотношениями в зависимости от величины M_{Б-В}. Поэтому вычислим значения нерастворимого остатка от CaSO₄ и H_{кр} по вышеприведенным уравнениям. Модельные значения, вычисленные по уравнениям, приведенным в табл. 2, были использованы для построения обобщенной модели, кото-

Таблица 2
Уравнения регрессии

Table 2
Regression Equations

Значения M _{Б-В}	Уравнение регрессии по CaSO ₄	Уравнение регрессии по H _{кр}
Все данные	$H.O.MO = -10,508 + 10,0005 \times CaSO_4$	$H.O.MO = 20,313 + 0,01717 \times H_{кр}$
M _{Б-В} < 0,6 м	$H.O.M<0,6 м = -1,185 + 7,736 \times CaSO_4$	$H.O.M<0,6 м = -7,143 - 0,210 \times H_{кр}$
M _{Б-В} > 0,6 м	$H.O.M>0,6 м = -5,830 + 4,990 \times CaSO_4$	$H.O.M>0,6 м = 13,388 + 0,04736 \times H_{кр}$

рая учитывает эти модельные значения. По мнению авторов данной статьи, именно построение такой модели позволит более точно прогнозировать значения Н.О., так как она будет учитывать дифференциальное влияние CaSO₄ и Н_{кр} на Н.О.

Разработанная модель имеет следующий нелинейный вид:

$$H.O.^{MM} = -1,478 + 1,0155(H.O.^M < 0,6M-CaSO_4 + H.O.^M > 0,6M-CaSO_4) + 0,2561(H.O.^M < 0,6M-H_{кр} + H.O.^M > 0,6M-H_{кр}) + 0,0044(H.O.^M < 0,6M-CaSO_4 + H.O.^M > 0,6M-CaSO_4)^2 - 0,0127(H.O.^M < 0,6M-CaSO_4 + H.O.^M > 0,6M-CaSO_4) * (H.O.^M < 0,6M-H_{кр} + H.O.^M > 0,6M-H_{кр}) - 0,0016(H.O.^M < 0,6M-H_{кр} + H.O.^M > 0,6M-H_{кр})^2$$
, при $R = 0,814$, $p < 0,0000$.

По данной формуле были вычислены значения Н.О.^{ММ} по всем 635 пробам. Графическое сопоставление значений Н.О. с Н.О.^{МО-CaSO₄} приведено на рис. 4, а, с Н.О.^{ММ} на рис. 4, б.

Как видно из рис. 4, между значениями Н.О. и Н.О.^{ММ} наблюдается более тесная корреляция, чем между Н.О. и Н.О.^{МО-CaSO₄}.

Анализ приведенных на рис. 4 корреляционных полей показывает, что корреляция усилилась на всем диапазоне значений по Н.О., но особенно сильно это проявляется в интервале при содержании Н.О. в пласте Б-В меньше 10%. По данным фактических и модельных значений Н.О. и Н.О.^{ММ} были вычислены средние значения $\sigma_{сж}$. Результаты приведены в табл. 3.

Анализ полученных статистических характеристик показывает, что при использовании при оценке значений $\sigma_{сж} - H.O.^{MO-CaSO_4}$ и $\sigma_{сж} - H.O.^{MM}$ средние значения практически близки, но стандартные отклонения для $\sigma_{сж} - H.O.^{MM}$ значительно выше – в 1,26 раза, что свидетельствует о том, что привлечение дополнительных показателей при

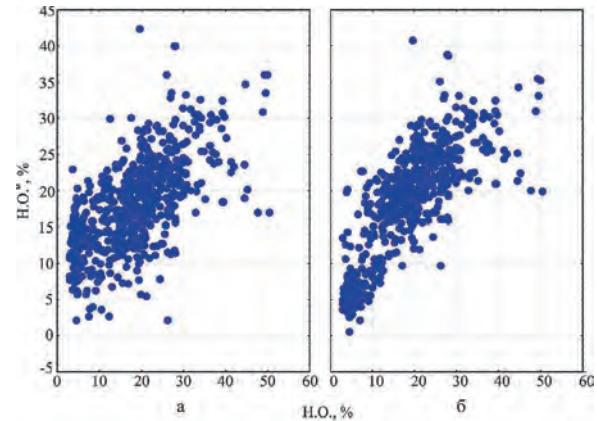


Рис. 4 Поле корреляции между Н.О. и Н.О.^{ММ}

Fig. 4 Correlation field between N.O. and N.O.^{MM}

Таблица 3 Средние значения $\sigma_{сж}$ для каменной соли Б-В и стандартные отклонения

Table 3 Average values of σ_{sq} for rock salt B-V and standard deviations

Статистические характеристики показателей	
$\sigma_{сж} - H.O.^{MO-CaSO_4}$, МПа	$\sigma_{сж} - H.O.^{MM}$, МПа
7,81 ± 6,90	7,99 ± 8,68

прогнозировании значений Н.О. наиболее полно отображает сложившуюся горно-геологическую ситуацию, и прогнозирование региональных и локальных зон газодинамической опасности при отработке калийного пласта АБ будет выполнено более дифференцированно.

Список литературы

1. Андрейко С.С. Газодинамические явления в калийных рудниках: методы прогноза и способы предотвращения. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та; 2007. 219 с.
2. Земсков А.Н., Кондрашев П.И., Травникова Л.Г. Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними. Пермь; 2008. 414 с.
3. Медведев И.И., Полянина Г.Д. Газовыделения на калийных рудниках. М.: Недра; 1974. 168 с.
4. Полянина Г.Д., Земсков А.Н., Падерин Ю.Н. Технология и безопасность разработки Верхнекамского калийного месторождения. Пермь: Пермское кн. изд-во; 1990. 262 с.
5. Проскураков Н.М. Внезапные выбросы породы и газа в калийных рудниках. М.: Недра; 1980. 263 с.
6. Проскураков Н.М., Ковалев О.В., Мещеряков В.В. Управление газодинамическими процессами в пластах калийных руд. М.: Недра; 1988. 239 с.
7. Высоцкий В.А., Гарецкий Р.Г., Кислик В.З. Калиеносные бассейны мира. Минск: Наука и техника; 1988. 387 с.
8. Апполонов В.Н., Иванов А.Г. Галопелиты – соотношение аутигенных и аллотигенных компонентов. В кн.: Геохимические закономерности формирования галогенных отложений. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР; 1983. С. 37–39.
9. Баянзина Э.О., Кудряшов А.И. Нерастворимый остаток солей Верхнекамского месторождения. Пермь; 2015. 102 с.
10. Третьяков Ю.А., Сидоров И.В. Состав сульфатов, карбонатов и гидрослюда в соляных отложениях юго-восточной части Верхнекамского калийного месторождения. В кн.: Труды ВНИИГ. 1974. Вып. 71. С. 18–25.
11. Яржемская Е.А. Вещественный состав галопелитов. В кн.: Труды ВНИИГ. 1954. Вып. 29. С. 260–314.
12. Roberts N.M., Tikoff B., Davis J.R., Stetson-Lee T. The utility of statistical analysis in structural geology. *Journal of Structural Geology*. 2019;125:64–73. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2018.05.030>
13. Tekin S., Altun E., Çan T. A new statistical model for extreme rainfall: POT-KumGP. *Earth Science Informatics*. 2021;14(6):765–775. <https://doi.org/10.1007/s12145-021-00581-x>
14. Robert C.P. Essentials of Probability Theory for Statisticians. *Chance*. 2020;33(3):61–61. <https://doi.org/10.1080/09332480.2020.1820255>
15. Rocchi P., Burgin M. An Essay on the Prerequisites for the Probability Theory. *Advances in Pure Mathematics*. 2020;10(12):685–698. <https://doi.org/10.4236/apm.2020.1012042>
16. Саакян М.И., Закревский К.Е., Лепилин А.Е., Ахметов Ч.Р. К вопросу о перспективах создания корпоративного программного обеспечения геологического моделирования. *Нефтяное хозяйство*. 2019;(11):50–54. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2019-11-50-54>
17. Тараскин Е.Н., Гутман И.С., Руднев С.А., Захарян А.З., Урсегов С.О. Новый адаптивный подход к геолого-гидродинамическому моделированию длительно разрабатываемых месторождений и залежей. *Нефтяное хозяйство*. 2017;(6):78–83. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2017-6-78-83>
18. Зундэ Д.А., Горланов А.А., Шаламов И.П., Давлетшин А.И., Белянский В.Ю., Лознюк О.А., Закревский К.Е., Абрашов В.Н. Итерационный подход при геологическом и гидродинамическом моделировании. *Нефтяное хозяйство*. 2019;(5):58–61. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2019-5-58-61>
19. Андрейко С.С., Иванов О.В., Нестеров Е.А. Борьба с газодинамическими явлениями при разработке Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей. *Научные исследования и инновации*. 2009;3(4):34–37.
20. Андрейко С.С., Литвиновская Н.А. Локальный прогноз зон, опасных по газодинамическим явлениям из почвы горных выработок пласта АБ на южной части шахтного поля БКПРУ-4 Верхнекамского месторождения калийных солей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013;(4):205–211.

21. Лялина Т.А. Разработка математической модели метода прогноза зон, опасных по газодинамическим явлениям, в условиях южной части Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. *Научные исследования и инновации*. 2011;5(3):36–38.

References

1. Andreyko S.S. *Gas-dynamic phenomena in potash mines: methods of forecasting and methods of prevention*. Perm: Perm National Research Polytechnic University; 2007. 219 p. (In Russ.)
2. Zemskov A.N., Kondrashev P.I., Travnikova L.G. *Natural gases of potash deposits and measures to combat them*. Perm; 2008. 414 p. (In Russ.)
3. Medvedev I.I., Polyamina G.D. *Gas emissions at potash mines*. Moscow: Nedra; 1974. 168 p. (In Russ.)
4. Polyamina G.D., Zemskov A.N., Paderin Yu.N. *Technology and safety of development of the Verkhnekamskoye potash deposit*. Perm: Permskoe knizhnoe izdatel'stvo; 1990. 262 p. (In Russ.)
5. Proskuryakov N.M. *Sudden outbursts of rock and gas in potash mines*. Moscow: Nedra; 1980. 263 p. (In Russ.)
6. Proskuryakov N.M., Kovalev O.V., Meshcheryakov V.V. *Management of gas-dynamic processes in the layers of potash ores*. Moscow: Nedra; 1988. 239 p. (In Russ.)
7. Vysotsky V.A., Garetsky R.G., Kislik V.Z. *Potassium-bearing basins of the world*. Minsk: Nauka i tekhnika; 1988. 387 p. (In Russ.)
8. Appolonov V.N., Ivanov A.G. Halopelites – the ratio of authigenic and allothigenic components. In: *Geochemical patterns of formation of halogen deposits*. Novosibirsk: IGIG SB AS USSR; 1983, pp. 37–39. (In Russ.)
9. Bayandina E.O., Kudryashov A.I. *Insoluble residue of salts of the Verkhnekamsk deposit*. Perm; 2015. 102 p. (In Russ.)
10. Tretyakov Yu.A., Sidorov I.V. Composition of sulfates, carbonates and hydromicas in salt deposits of the southeastern part of the Verkhnekamsk potash deposit. In: *Trudy VNIIG*. 1974. Iss. 71, pp. 18–25. (In Russ.)
11. Yarzhemskaya E.A. The material composition of halopelites. In: *Trudy VNIIG*. 1954. Iss. 29, pp. 260–314. (In Russ.)
12. Roberts N.M., Tikoff B., Davis J.R., Stetson-Lee T. The utility of statistical analysis in structural geology. *Journal of Structural Geology*. 2019;125:64–73. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2018.05.030>
13. Tekin S., Altun E., Çan T. A new statistical model for extreme rainfall: POT-KumGP. *Earth Science Informatics*. 2021;14(6):765–775. <https://doi.org/10.1007/s12145-021-00581-x>
14. Robert C.P. Essentials of Probability Theory for Statisticians. *Chance*. 2020;33(3):61–61. <https://doi.org/10.1080/09332480.2020.1820255>
15. Rocchi P., Burgin M. An Essay on the Prerequisites for the Probability Theory. *Advances in Pure Mathematics*. 2020;10(12):685–698. <https://doi.org/10.4236/apm.2020.1012042>
16. Saakyan M.I., Zakrevskiy K.E., Gazizov R.K., Lepilin A.E., Ryzhikov E.A. The prospects of corporate geological modeling software creation. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2019;(11):50–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2019-11-50-54>
17. Taraskin E.N., Gutman I.S., Rudnev S.A., Zakharian A.Z., Ursegov S.O. New adaptive approach to geological and hydrodynamic modeling of fields and reservoirs with long production history. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2017;(6):78–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2017-6-78-83>
18. Zunde D.A., Gorlanov A.A., Shalamov I.P., Davletshin A.I., Belyansky V.Yu., Loznyuk O.A., Zakrevskiy K.E., Abrashov V.N. Iterative approach to geological and hydrodynamic modeling. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2019;(5):58–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2019-5-58-61>
19. Andreyko S.S., Ivanov O.V., Nesterov E.A. Fight against gas-dynamic phenomena in the development of Verkhnekamskoye and Starobinskoye potassium salt deposits. *Nauchnye issledovaniya i innovatsii*. 2009;3(4):34–37. (In Russ.)
20. Andreiko S.S., Litvinovskaya N.A. Local forecast of gas burst-hazardous zones on the floor of mine workings in stratum ab on the south of bkpru-4 mine at the Upper Kama potassium salt deposit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2013;(4):205–211. (In Russ.)
21. Lyalina T.A. Development of a mathematical model of the method for predicting zones hazardous by gas-dynamic phenomena in the conditions of the southern part of the Verkhnekamskoye potassium-magnesium salt deposit. *Nauchnye issledovaniya i innovatsii*. 2011;5(3):36–38. (In Russ.)

Информация об авторах

Галкин Владислав Игнатьевич – доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геологии нефти и газа, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация
Андрейко Сергей Семенович – доктор технических наук, заведующий лабораторией геотехнологических процессов и рудничной газодинамики, Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, Российская Федерация

Литвиновская Наталья Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация

Галкин Сергей Владиславович – доктор геолого-минералогических наук, декан горно-нефтяного факультета, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация

Лялина Тамара Александровна – инженер лаборатории геотехнологических процессов и рудничной газодинамики, Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, Российская Федерация; e-mail: tamara.lylina@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию: 05.07.2022
 Поступила после рецензирования: 22.07.2022
 Принята к публикации: 25.07.2022

Information about the authors

Vladislav I. Galkin – Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Head of the Department of Geology of Oil and Gas, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

Sergey S. Andreyko – Dr. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory of Geotechnological Processes and Mine Gas Dynamics, Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russian Federation

Natalia A. Litvinovskaya – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mineral Deposit Development, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

Sergey V. Galkin – Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Dean of the Faculty of Mining and Oil, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

Tamara A. Lyalina – Engineer of the Laboratory of Geotechnological Processes and Mine Gas Dynamics, Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russian Federation; e-mail: tamara.lylina@gmail.com

Article info

Received: 05.07.2022
 Revised: 22.07.2022
 Accepted: 25.07.2022