

УДК 622.831.322

Лядов Владимир Олегович
ассистент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых»,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, г. Пермь,
Комсомольский проспект, д. 29,
e-mail: minevladimir1@gmail.com

Папулов Артем Сергеевич
инженер,
Горный институт УрО РАН,
614007 г. Пермь, ул. Сибирская, 78-А
e-mail: aspapulov@gmail.com;

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛНОЙ ГАЗОНОСНОСТИ ПОРОД ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА ГРЕМЯЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Аннотация:

Представлены методика выполнения и результаты исследований газоносности по свободным и связанным газам сивинитовых пород Гремячинского месторождения калийных солей. В ходе выполнения исследований были получены количественные характеристики газоносности по свободным и связанным газам сивинитовых пород, а также их компонентный состав. Полученные значения полной газоносности сивинитовых пород на участках ведения горных работ Гремячинского месторождения калийных солей могут быть использованы при прогнозах областей шахтного поля, опасных по газодинамическим явлениям, а также при изучении механизма образования газодинамических явлений в условиях Гремячинского месторождения. Методика исследований газоносности по свободным газам заключалась в последовательном измерении интенсивности газовыделений из загерметизированных шпуров с интервалом измерения 0,5 м до конечной глубины 3 м. Полученные в результате значения прироста давления в исследовательских шпурах используются в дальнейшем расчете газоносности сивинитовых пород по свободным газам. Также был исследован компонентный состав свободных газов. Исследования газоносности пород по связанным газам проводились в лабораторных условиях с помощью шаровой мельницы и газового хроматографа. После дезинтеграции образцов сивинитовых пород в шаровой мельнице фиксировался прирост давления и проводился отбор выделившихся связанных газов и их дальнейший анализ на газовом хроматографе. Проведенные исследования полной газоносности пород продуктивного пласта Гремячинского месторождения калийных солей установили, что газоносность по свободным газам в продуктивных породах составляет от 0,05 до 0,71 м³/м³ при среднем значении

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.02.099

Lyadov Vladimir O.
Assistant,
Department of mineral deposits development,
Perm National Research
Polytechnic University,
614990 Perm, 29 Komsomolsky Av.
e-mail: minevladimir1@gmail.com

Papulov Artem S.
Engineer,
Mining Institute, Ural Branch of RAS,
614007 Perm, 78-A Sibirskaya Str.
e-mail: aspapulov@gmail.com;

RESULTS OF STUDIES ON THE FULL GAS CONTENT IN ROCKS OF THE PRODUCTIVE FORMATION OF THE GREMYACHINSKOYE POTASH SALT DEPOSIT

Abstract:

The article presents the methodology and results of studies on free gas content and bonded gas content of silvinit rocks of the Gremyachinskoye potash salt deposit. In the result of the research, quantitative characteristics of free and bonded gas content of silvinit rocks, as well as their component composition, were obtained. The obtained values of the full gas content of silvinit rocks at the mining sites of the Gremyachinskoye potash deposit can be used in forecasting areas of the mine field that are dangerous for gas-dynamic phenomena, as well as in studying the mechanism of occurring of gas-dynamic phenomena in the conditions of the Gremyachinskoye deposit. The method of studying the gas content by free gases consisted in sequential measuring of the intensity of gas emissions from sealed boreholes with a measurement interval of 0.5 meters to a final depth of 3 meters. The resulting values of the pressure increase in the research boreholes is what we used in the further calculation of the free gas content of silvinit rocks. We also investigated the component composition of free gases. Studies of the bonded gas content of rocks were carried out in laboratory conditions using a ball mill and a gas chromatograph. After the disintegration of the samples of silvinit rocks in the ball mill, an increase in pressure was marked and the extraction of the released bonded gases for their further analysis on a gas chromatograph was carried out. The conducted studies of the full gas content of rocks of the productive formation of the Gremyachinskoye potash salt deposit have defined that the free gas content in productive rocks ranges from 0.05 m³/m³ to 0.71 m³/m³, with an average value of 0.11 m³/m³.

0,11 м³/м³. Газоносность продуктивных пород по связанным газам составляет в среднем 0,043 м³/м³ в районе 2-й восточной панели и 0,063 м³/м³ в районе 1-й западной панели.

Ключевые слова: Гремячинское месторождение, газоносность, газодинамические характеристики, газодинамическое явление, свободные газы, связанные газы, калийные соли, хроматографический анализ.

The bonded gas content of productive rocks is in average 0.043 m³/m³ in the area of the eastern panel 2 and 0.063 m³/m³ in the area of the western panel 1.

Key words: Gremyachinskoye field, gas content, gas dynamic characteristics, gas-dynamic phenomenon, free gas, bonded gas, potassium salts, chromatographic analysis.

Введение

Многолетний опыт разработки месторождений калийных солей среди проблем, сопряженных с процессом отработки залежей, так и не выявил однозначного решения проблемы газодинамических явлений (ГДЯ) в виде внезапных выбросов газа или газа и породы. Данный вид аварий способен нанести большой урон горному оборудованию и серьезно травмировать горнорабочих, вплоть до летальных исходов при большой энергии выброса [1]. В современной литературе особенности процесса возникновения ГДЯ в достаточной мере изучены лишь на Старобинском и Верхнекамском месторождениях калийных солей – старейших месторождениях на территории СНГ [2 - 6]. В свою очередь, полноценная отработка промышленных запасов на Гремячинском месторождении, расположенном в районе г. Котельниково, Волгоградская область, началась сравнительно недавно, а первое документально зафиксированное ГДЯ датируется 2019 годом. Карта района расположения месторождения приведена на рис. 1.

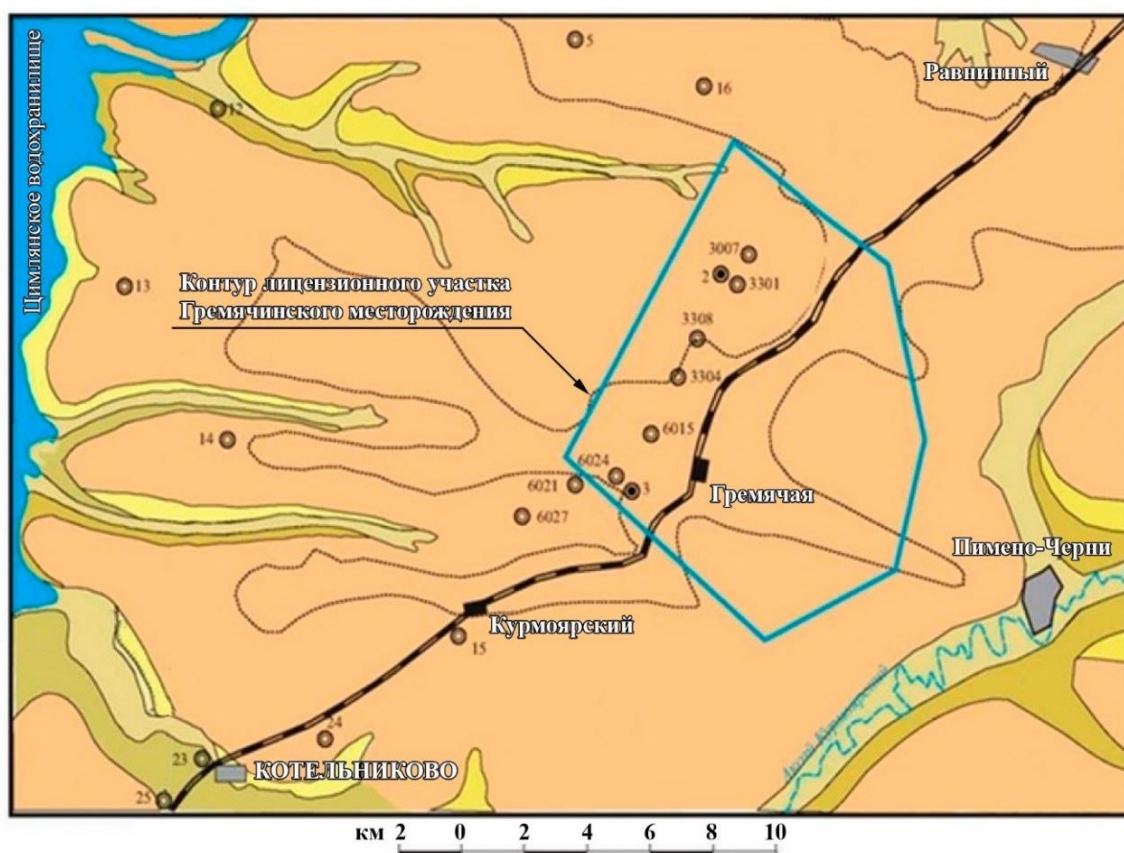


Рис. 1. Район местоположения Гремячинского месторождения калийных солей

Наряду с недостатком опытных данных об обстоятельствах возникновения ГДЯ на руднике Гремячинского месторождения дополнительные сложности создают геологические условия залегания продуктивного пласта, значительно отличающиеся от условий давно находящихся в разработке месторождений. Стратиграфический разрез Гремячинского месторождения калийных солей представлен на рис. 2.

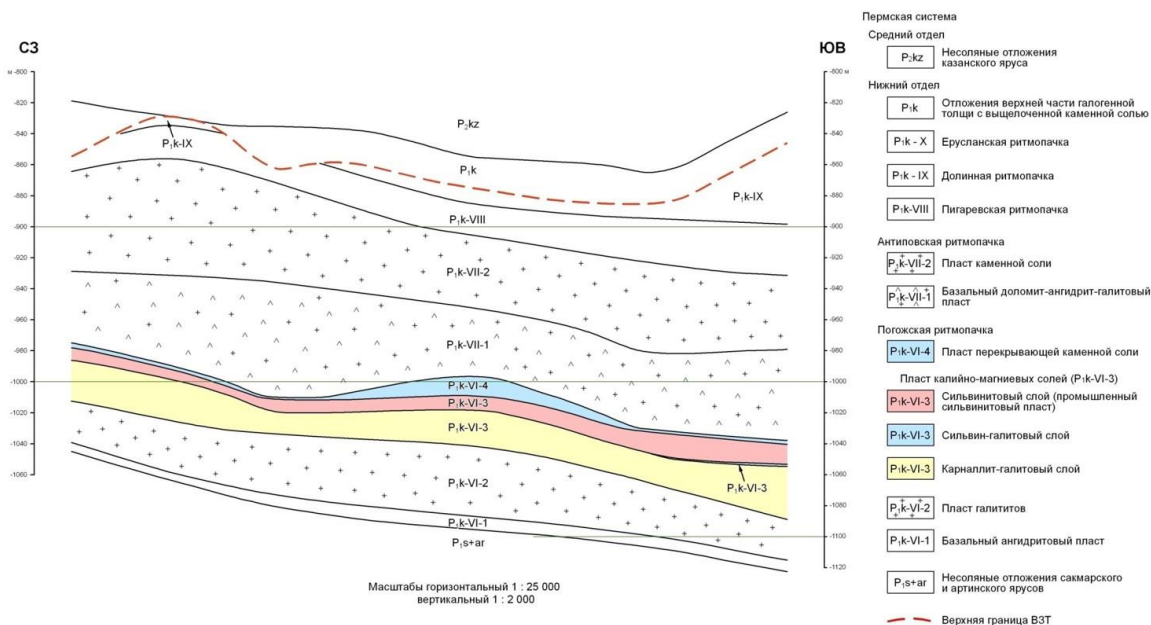


Рис. 2. Стратиграфический разрез Гремячинского месторождения калийных солей

Известно, что большая газоносность пород ведет к пониженным физико-механическим свойствам, что также приводит к повышенной вероятности возникновения газодинамических явлений. Полная газоносность пород включает в себя газоносность по свободным газам и газоносность по связанным газам в породах. Свободными являются газы, заключенные в открытых макропорах и трещинах пород под давлением, теоретически достигающим величины напряжений массива. В свою очередь, связанными называют газы, содержащиеся в закрытых микропорах между кристаллами и в виде микроскопических пузырьков внутри кристаллов пород, а также в сорбированном состоянии на поверхностях кристаллов, их пор или трещин. Для определения объема связанного газа в составе полной газоносности была проведена количественная и компонентная оценка газоносности по связанным газам в образцах породы в точках экспериментальных замеров. Полученные данные о полной газоносности продуктивных пород могут быть использованы в дальнейших исследованиях механизма возникновения ГДЯ в условиях рассматриваемого месторождения.

Методика выполнения исследований

Выполнение исследований газоносности пород по свободным газам заключалось в фиксации интенсивности газовыделений из пробуренных непосредственно перед замером исследовательских шпуров. При существенно превышающей фоновую интенсивности газовыделения также выполнялся отбор проб для дальнейшего исследования компонентного состава собранного газа. Принципиальная схема устройства герметизатора в исследовательском шпуре представлена на рис. 3.

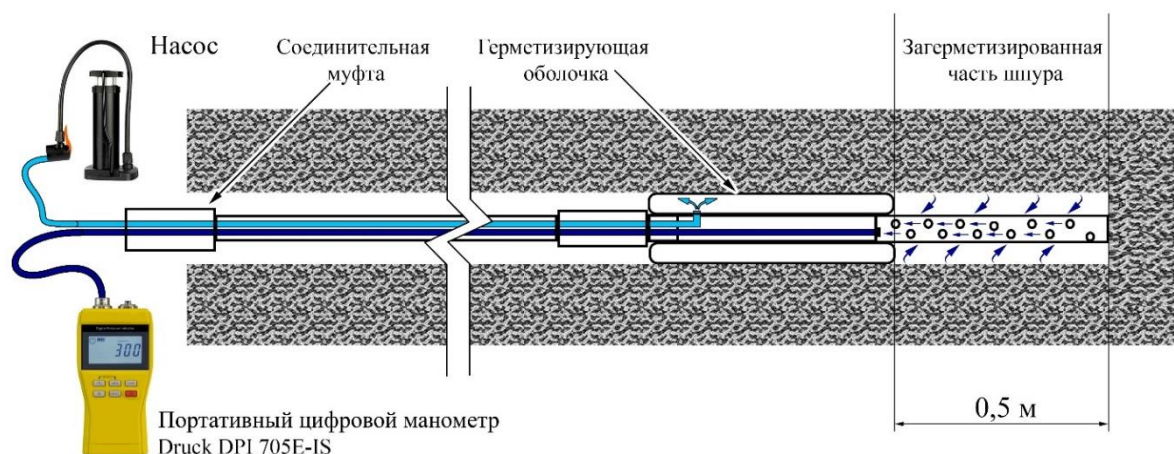


Рис. 3. Принципиальная схема устройства герметизатора в исследовательском шпуре

Выходящий из массива свободный газ, поступаая из загерметизированного участка в газоотводящий патрубок, создает давление, отображаемое на подключенном цифровом манометре высокой точности. Зафиксированный прирост давления выделяющихся газов в загерметизированной части исследуемого шпура в течение 30 с с момента герметизации определяет начальное газовое давление, по которому в дальнейшем вычисляются показатели газоносности. Измерения в каждом исследуемом шпуре проводились с интервалами 0,5 м, что позволяет получить достаточно точную картину распределения газоносности в рассматриваемых породах [7]. Хроматографический анализ отобранных образцов газа из породного массива для определения его компонентного состава проводился на газовом хроматографе 450-GC компании Varian [8, 9].

Исследование газоносности отобранных в точках замера образцов горных пород по связанным газам производилось набором оборудования компании Retsch, включающим в себя щековую дробилку ВВ 50, планетарную мельницу РМ 100 и специальный размольный стакан РМ GrindControl. После ручной дезинтеграции образцов пород до размера 30 – 35 мм, обусловленного размером горловины щековой дробилки ВВ 50, они далее дробятся до среднего размера в 10 мм. Полученный однородный породный материал фиксированного объема помещается в размольный стакан РМ GrindControl, особенностью которого является передача в реальном времени показателей температуры и давления в процессе размола материала. После дезинтеграции породного материала в шаровой мельнице через клапан отбирается образец связанного газа, который также анализируется с помощью хроматографа Varian 450-GC. Далее с помощью математического аппарата, в частности, обобщенного газового закона, вычисляется объем выделившегося во время размола газа из образца породы и значение газоносности по связанным газам. Данная методика также успешно используется при исследованиях полной газоносности сильвинитовых и карналлитовых пород на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей [10].

Исследования газоносности и газодинамических характеристик пород промышленного пласта проводились в забойных областях выработок 1-й западной панели и 2-й восточной панели, а именно в блоковом штреке № 3 4-го блока 1-й западной панели, панельном транспортном штреке 1-й западной панели, блоковом конвейерном штреке №3 11-го блока 2-й восточной панели, панельном конвейерном штреке 2-й восточной панели, а также в главном северо-восточном вентиляционном штреке. Места проведения исследований в пределах южной части шахтного поля и схемы расположения исследовательских шпуров в забое представлены на рис. 4 и 5, соответственно.

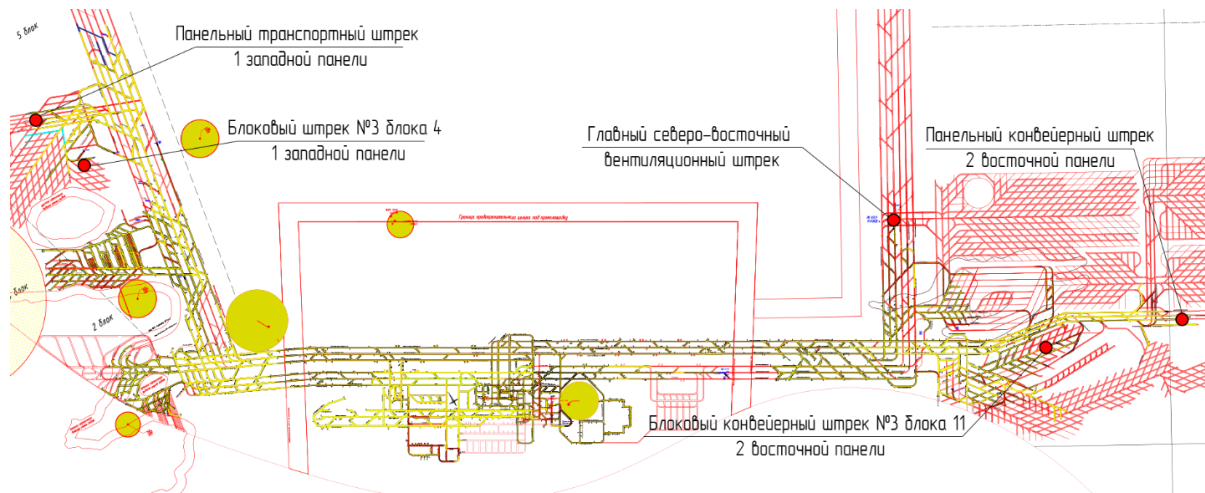


Рис. 4. Места проведения исследований в пределах южной части шахтного поля

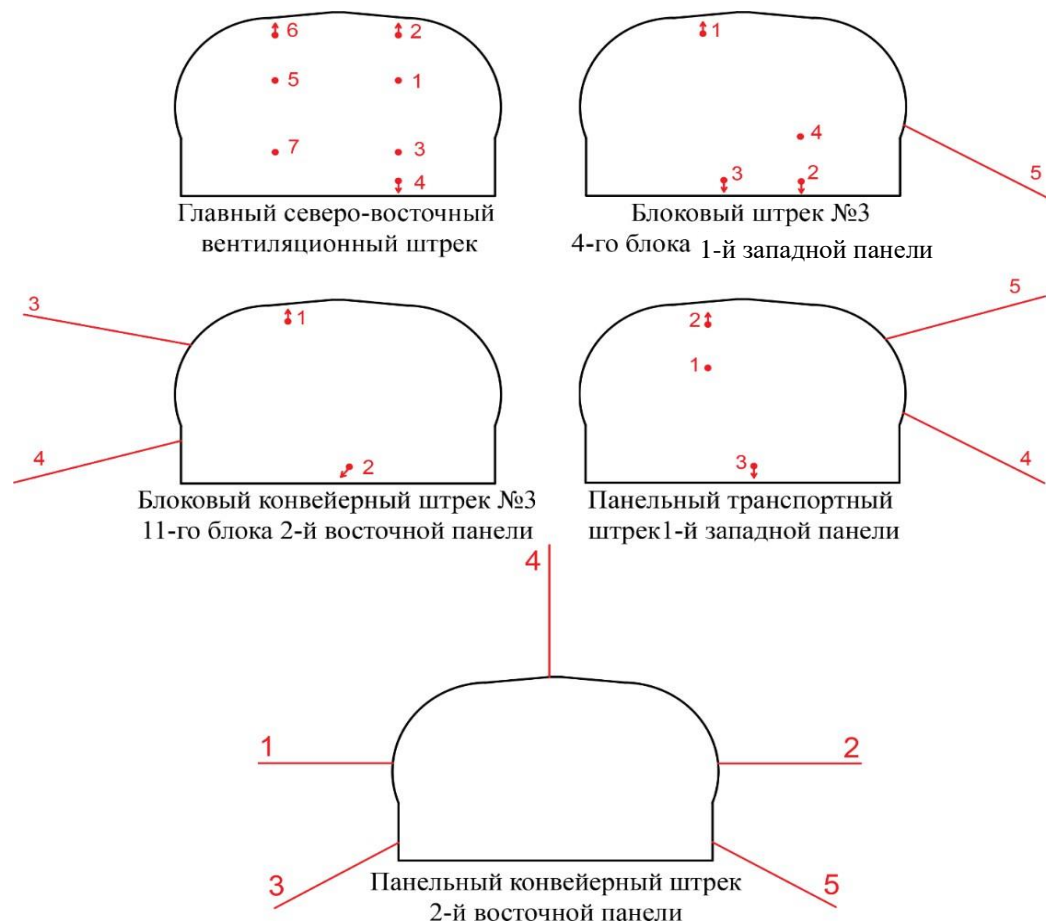


Рис. 5. Схемы расположения шпуров в забоях исследуемых выработок

Результаты исследований и обсуждение результатов

Выполненные шахтные исследования в забое главного северо-восточного вентиляционного штрека установили, что газоносность по свободным газам сильвинитовых пород составляет менее $0,05 \text{ м}^3/\text{м}^3$, не превышая предел чувствительности измерительного прибора. Отсутствие показателей газоносности на диаграммах, представленных

ниже, означает отсутствие превышения измеряемой величины предела чувствительности измерительного прибора.

Газоносность по свободным газам сильвинитовых пород в блоковом штреке № 3 4-го блока 1-й западной панели изменяется от 0,05 до 0,71 м³/м³ при среднем значении 0,16 м³/м³. Максимальная газоносность сильвинитовых пород зафиксирована на глубине 2,8 м в шпуре, пробуренном в почву выработки. Максимальное начальное давление свободных газов в массиве составило 0,199 МПа, начальная скорость газовыделения 1,03 л/мин. На глубине измерения от 1,0 до 1,5 м во всех исследовательских шпурах газоносность не превысила предела чувствительности измерительного прибора – 0,05 м³/м³. Значения газоносности в шпурах № 1, 4 и 5 не превысили предела чувствительности измерительного прибора на всех интервалах измерений. Резкое увеличение газоносности наиболее вероятно связано со вскрытием карналлитового слоя пород, находящегося в почве рассматриваемой выработки. Распределение газоносности по интервалам проведенных измерений представлено на рис. 6.

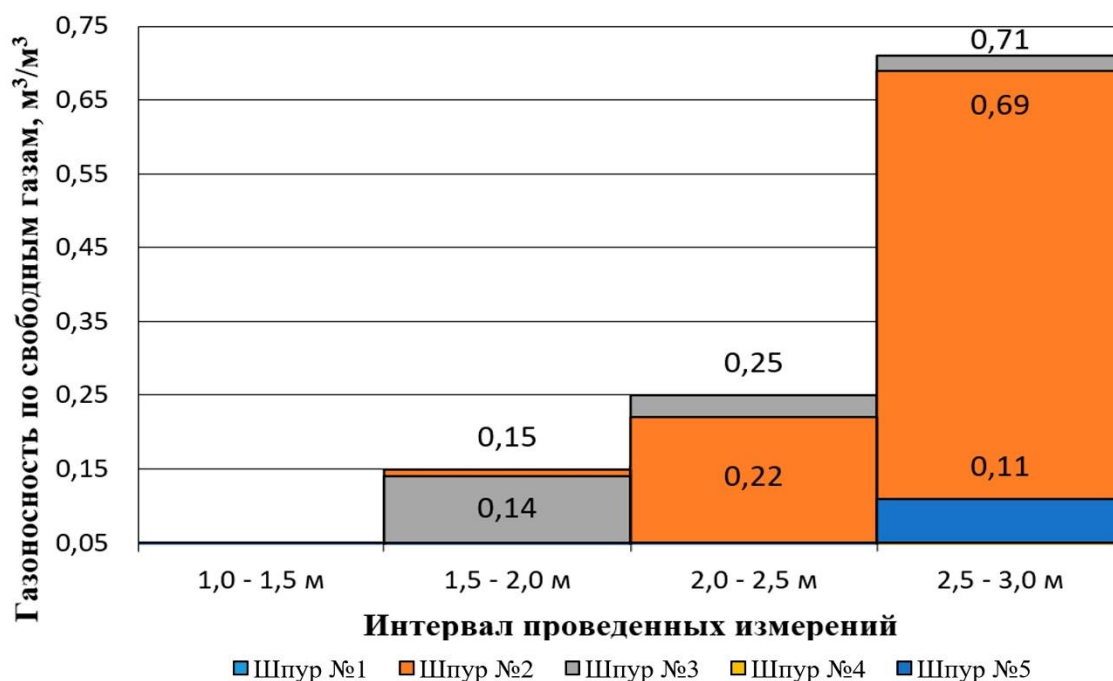


Рис. 6. Распределение газоносности по интервалам измерений в блоковом штреке № 3 4-го блока 1-й западной панели

При проведении измерений в блоковом штреке № 3 4-го блока 1-й западной панели также был отобран образец газа из шпура № 3 для дальнейшего исследования компонентного состава с помощью хроматографического анализа. В результате проведенного анализа получены следующие концентрации газов в образце: CH₄ – 22,08 %; H₂ – 1,75 %; C₂H₆ – 0,916 %; C₃H₈ – 0,057 %; i-C₄H₁₀ – 0,002 %; n-C₄H₁₀ – 0,009 %; N₂ – 74,99 %; CO₂ и другие газы – 0,19 %. Суммарное содержание горючих газов (CH₄ и H₂) равно 23,84 %. Суммарное содержание углеводородов метанового ряда (C₂H₆ – C₅H₁₀) составляет 0,985 %. Высокий процент содержания водорода указывает на присутствие карналлитовой породы в месте отбора образца. Диаграмма полученного компонентного состава отобранного газа представлена на рис. 7.

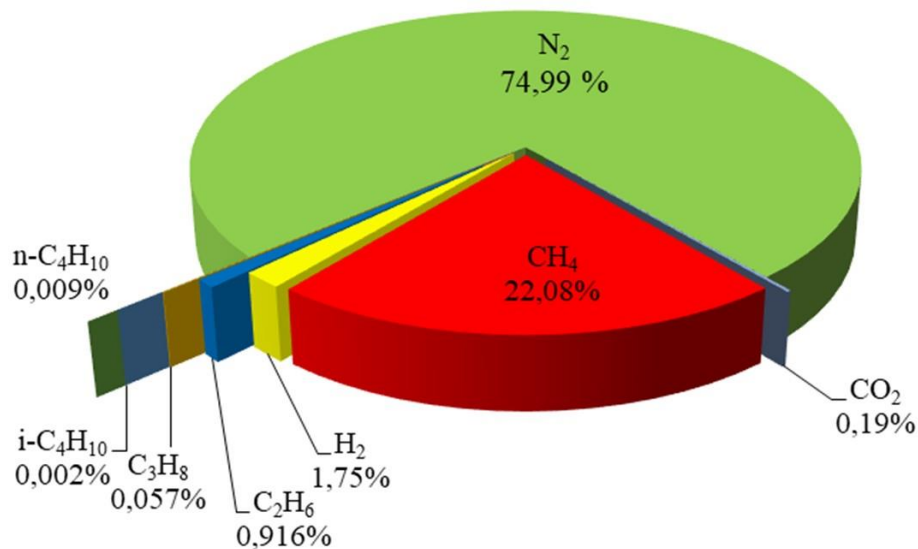


Рис. 7. Диаграмма компонентного состава свободного газа, отобранного из шпура № 3 в блоковом штреке № 3 4-го блока 1-й западной панели

Газоносность по свободным газам сильвинитовых пород в блоковом конвейерном штреке № 3 11-го блока 2-й восточной панели изменяется от 0,05 до 0,11 м³/м³ при среднем значении 0,06 м³/м³. Максимальная газоносность пород зафиксирована на глубине 1,5 м в шпуре, пробуренном в почву выработки. Максимальное начальное давление свободных газов в массиве при этом составило 0,190 МПа. Начальная скорость газовыделения из загерметизированного шпура составляла 0,15 л/мин. Значения газоносности в шпурах № 1 и 3 на всех интервалах измерения не превысили предела чувствительности измерительного прибора. Распределение газоносности по интервалам проведенных измерений представлено на рис. 8.

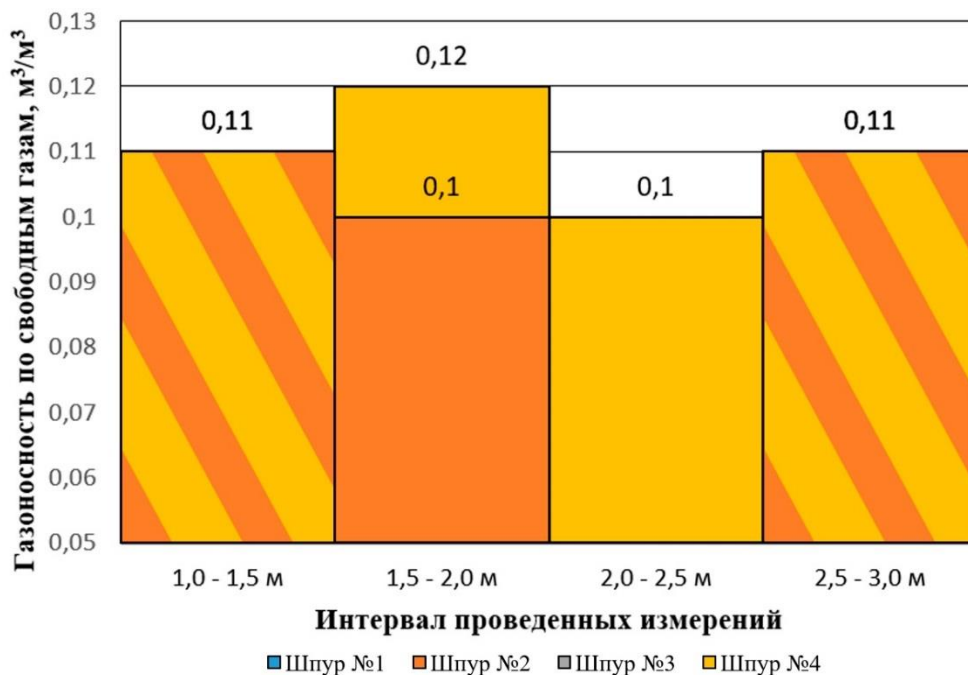


Рис. 8. Распределение газоносности по интервалам измерений в блоковом штреке № 3 11-го блока 2-й восточной панели

Газоносность по свободным газам сильвинитовых пород в панельном транспортном штреке 1-й западной панели изменяется от 0,05 до 0,11 м³/м³ при среднем значении 0,07 м³/м³. Максимальная газоносность сильвинитовых пород зафиксирована на глубине 1,5 м в шпуре, пробуренном в почву выработки. При этом максимальное начальное давление свободных газов в массиве составило 0,191 МПа, начальная скорость газовыделения 0,12 л/мин. Значения газоносности во всех исследовательских шпурах на интервалах измерений 2,0 – 2,5 и 2,5 – 3,0 м не превысили предела чувствительности измерительного прибора. Также значения газоносности в шпурах № 2 и 5 не превысили предела чувствительности измеряемого прибора на всех интервалах измерений. Распределение газоносности по интервалам проведенных измерений представлено на рис. 9.

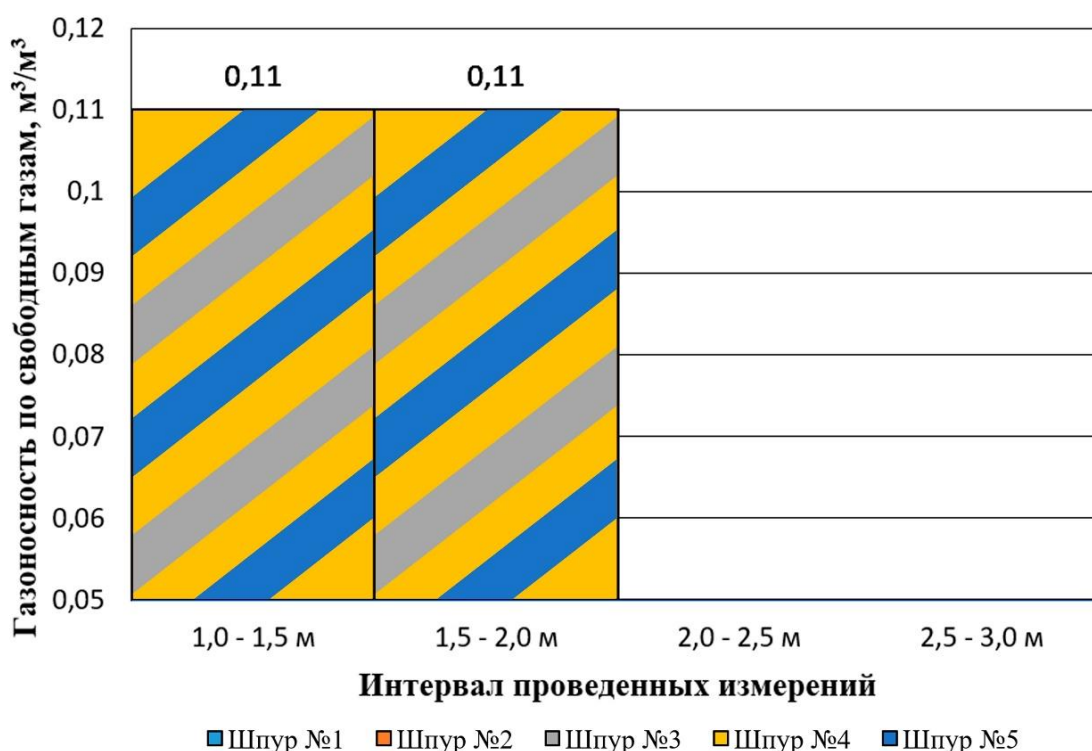


Рис. 9. Распределение газоносности по интервалам измерений в панельном транспортном штреке 1-й западной панели

Газоносность по свободным газам сильвинитовых пород в панельном конвейерном штреке 2-й восточной панели изменяется от 0,05 до 0,11 м³/м³ при среднем значении 0,06 м³/м³. Максимальная газоносность пород зафиксирована на глубине 1,5 м в шпуре, пробуренном в правую стенку выработки. Максимальное начальное давление свободных газов в массиве при этом составило 0,190 Мпа. Начальная скорость газовыделения из загерметизированного шпура составляла 0,11 л/мин. Полученные значения газоносности превысили предел чувствительности измерений только в шпурах № 2 и 3 на интервалах 1,0 – 1,5 и 2,0 – 2,5 м, соответственно. Распределение газоносности по интервалам проведенных измерений представлено на рис. 10.

Результаты проведенных исследований газоносности образцов пород промышленного сильвинитового пласта по связанным газам и компонентный состав связанных газов представлены в табл. 1.

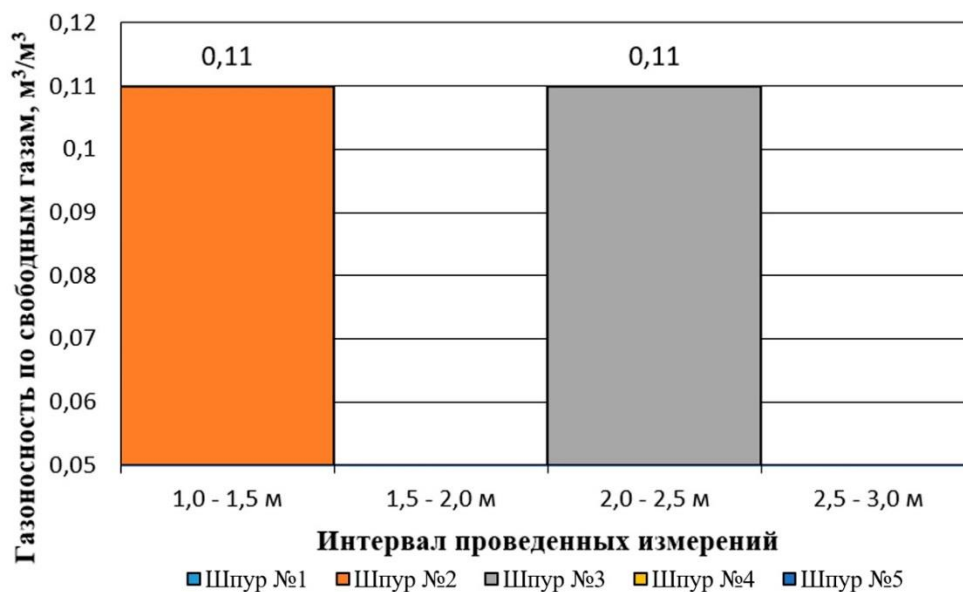


Рис. 10. Распределение газоносности по интервалам измерений в панельном конвейерном штреке 2-й восточной панели

Таблица 1

Результаты исследований газоносности образцов пород сильвинитового пласта по связанным газам и компонентный состав связанных газов

Исследуемая выработка	Газоносность по связанным газам,	Содержание газов, %									
		CH ₄	H ₂	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂	N ₂	CO ₂
Главный северо-восточный вентиляционный штрек	0,030	1,57	0,00	0,144	0,055	0,032	0,042	0,018	0,02	98,00	0,12
Блоковый штрек № 3 4-го блока 1-й западной панели	0,074	17,05	0,05	0,801	0,080	0,012	0,036	0,008	0,006	81,82	0,14
Блоковый конвейерный штрек № 3 11-го блока 2-й восточной панели	0,058	11,96	0,01	0,643	0,113	0,015	0,063	0,015	0,023	87,05	0,10
Панельный транспортный штрек 1-й западной панели	0,051	16,65	0,08	0,823	0,110	0,013	0,056	0,014	0,019	82,08	0,15
Панельный конвейерный штрек 2-й восточной панели	0,041	20,97	0,00	1,185	0,157	0,012	0,078	0,012	0,021	77,48	0,09

Полученные значения газоносности пород по связанным и свободным газам, а также значения полной газоносности сильвинитовых пород в исследуемых выработках приведены в табл. 2 и на рис. 11. В областях с малой газоносностью по свободным газам связанные газы составляют значительный объем в полной газоносности. Наименьшее значение полной газоносности наблюдается в забое главного северо-восточного вентиляционного штрека при значении $0,03 \text{ м}^3/\text{м}^3$, при этом наибольшее значение полной газоносности наблюдается в забое блокового штрека № 3 4-го блока 1-й западной панели при значении $0,234 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Примечательно, что при росте газоносности по свободным газам также наблюдается рост газоносности по связанным газам, что указывает на прямую связь этих двух параметров.

Таблица 2

**Результаты исследований сильвинитовых пород
Гремячинского месторождения на полную газоносность**

Исследуемая выработка	Газоносность по свободным газам, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Газоносность по связанным газам, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Полная газоносность, $\text{м}^3/\text{м}^3$
Главный северо-восточный вентиляционный штрек	0	0,030	0,030
Блоковый штрек № 3 4-го блока 1-й западной панели	0,16	0,074	0,234
Блоковый конвейерный штрек № 3 11-го блока 2-й восточной панели	0,06	0,058	0,118
Панельный транспортный штрек 1-й западной панели	0,07	0,051	0,121
Панельный конвейерный штрек 2-й восточной панели	0,06	0,041	0,101

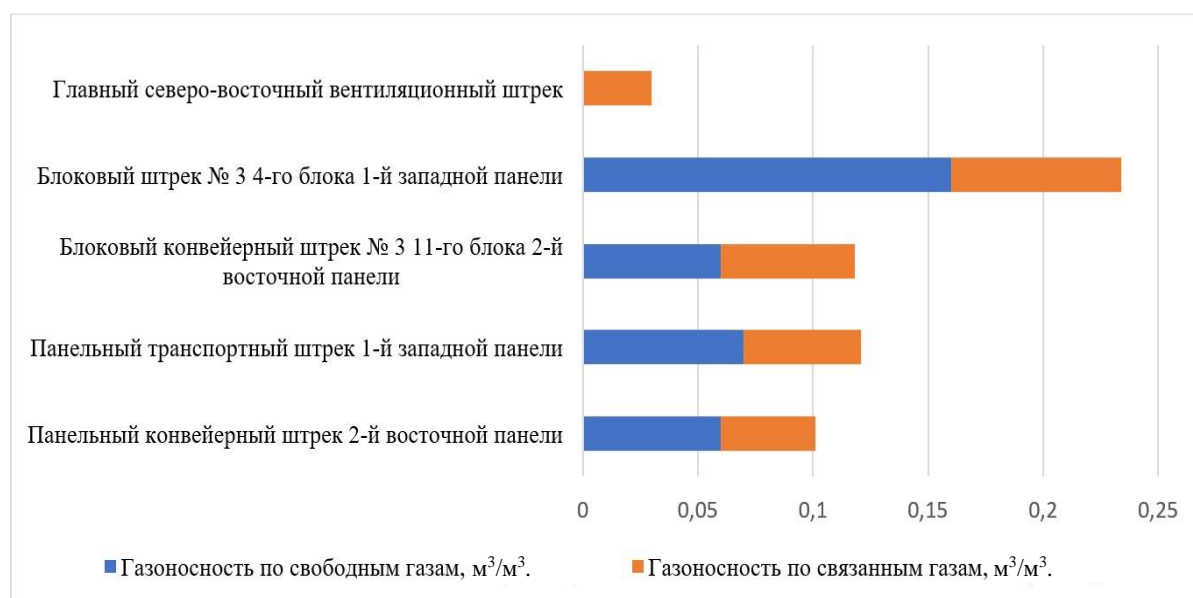


Рис. 11. Полученная в результате исследований полная газоносность в исследуемых выработках

Выводы

В результате исследования полной газоносности пород продуктивного пласта Гремячинского месторождения калийных солей было установлено, что газоносность по свободным газам в продуктивных породах составляет от $0,05$ до $0,71 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при среднем

значении $0,11 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Газоносность продуктивных пород по связанным газам составляет в среднем $0,043 \text{ м}^3/\text{м}^3$ в районе 2-й восточной панели и $0,063 \text{ м}^3/\text{м}^3$ в районе 1-й западной панели.

Компонентный состав газов в исследованном объеме свободного газа: CH_4 - 22,08 %; H_2 - 1,75 %; C_2H_6 - 0,916 %; C_3H_8 - 0,057 %; $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ - 0,002 %; $n\text{-C}_4\text{H}_{10}$ - 0,009 %; N_2 - 74,99 %; CO_2 и другие газы - 0,19 %. Суммарное содержание горючих газов (CH_4 и H_2) составляет 23,84 %. Суммарное содержание углеводородов метанового ряда (C_2H_6 - C_5H_{10}) - 0,985 %. Усредненный компонентный состав связанных газов в отобранных образцах выработок 2-й восточной панели: CH_4 - 11,5 %; H_2 - 0,003 %; C_2H_6 - 0,657 %; C_3H_8 - 0,108 %; $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ - 0,019 %; $n\text{-C}_4\text{H}_{10}$ - 0,061 %; $i\text{-C}_5\text{H}_{12}$ - 0,015 %; $n\text{-C}_5\text{H}_{12}$ - 0,021 %; N_2 - 87,51 %; CO_2 и другие газы - 0,103 %. Усредненный компонентный состав связанных газов в отобранных образцах выработок 1-й западной панели: CH_4 - 16,85 %; H_2 - 0,065 %; C_2H_6 - 0,812 %; C_3H_8 - 0,095 %; $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ - 0,0125 %; $n\text{-C}_4\text{H}_{10}$ - 0,046 %; $i\text{-C}_5\text{H}_{12}$ - 0,011 %; $n\text{-C}_5\text{H}_{12}$ - 0,0125 %; N_2 - 81,95 %; CO_2 и другие газы - 0,145 %.

Результаты исследования показывают, что при росте газоносности по свободным газам прослеживается рост газоносности по связанным газам, что позволяет сделать вывод о прямой зависимости этих двух параметров. Наиболее высокое значение газоносности зафиксировано на участке, вероятно, приуроченном к замещению карналлитовой породой или глинистому прослою, на что указывает существенная концентрация водорода в отобранном образце свободного газа. Известно, что наиболее вероятными местами скопления газов, по аналогии с подобными геологическими условиями на Верхнекамском месторождении [11], являются локальные замещения сильвинитовых слоев линзами неправильной формы, сложенными каменной солью и глиной. Таким образом, при подозрениях на приближение забоя выработки к карналлитовому замещению либо глинистым прослоям в целях безопасности рекомендуется бурение дегазационных шпуров для перебуривания газоносных пород или прослоев и снижения риска развития газодинамических явлений.

Список литературы

1. Земсков А.Н., Кондрашев П.И., Травникова Л.Г., 2008. *Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними*. Пермь: Типография купца Тарасова, 412 с.
2. Барях А.А., Андрейко С.С., Федосеев А.К., 2020. Газодинамическое обрушение кровли при разработке месторождений калийных солей. *Записки Горного института*, Т. 246, С. 601 – 609.
3. Андрейко С.С., Калугин П.А., Щерба В.Я., 2000. *Газодинамические явления в калийных рудниках: Генезис, прогноз и управление*. Минск: Вышэйшая школа, 335 с.
4. Лукьянец Е.В., Бобров Д.А., 2020. Механизм образования очагов газодинамических явлений в складчатых структурах калийных пластов. *Горное эхо*, № 2, С.106 - 114.
5. Андрейко, С.С., 2019. Современное состояние проблемы газодинамических явлений на действующих и вводимых в эксплуатацию калийных рудниках. *Горное эхо*, № 2, С. 82 – 89.
6. Кутырло, В.Э., 2007. Газодинамические явления в промышленных горизонтах Старобинского месторождения калийных солей. *Литосфера*, №1 (26), С. 140 – 148.
7. Иванов О.В., 2018. Результаты исследований газоносности и газодинамических характеристик пород в выработках околоствольного двора рудника Гремячинского ГОКа. *Стратегия и процессы освоения георесурсов: Сборник научных трудов*. Пермь: ГИ УрО РАН, С. 313 – 316.
8. Иванов О.В., 2012. Научно-учебный измерительный комплекс для изучения газоносности горных пород по связанным газам. *Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник научных трудов*. Вып. 10. Пермь: ГИ УрО РАН, С. 223 – 225.

9. Иванов О.В., 2020. Результаты исследований газоносности по связанным газам калийно-магниевых солей и вмещающих пород в пределах новых лицензионных участков. *Горное эхо*, № 1, С. 95 – 100.

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

11. Андрейко С.С., Иванов О.В., Лялина Т.А., Нестеров Е.А., 2021. Газоносность по свободным газам пород сильвинитовой и сильвинито-карналлитовой зон Верхнекамского месторождения. *Горная промышленность*, № 4, С. 125 – 133.

References

1. Zemskov A.N., Kondrashev P.I., Travnikova L.G., 2008. Prirodnye gazy kaliinykh mestorozhdenii i mery bor'by s nimi [Natural gases of potash deposits and measures to control them]. Perm': Tipografiya kuptsa Tarasova, 412 p.

2. Baryakh A.A., Andreiko S.S., Fedoseev A.K., 2020. Gazodinamicheskoe obrushenie krovli pri razrabotke mestorozhdenii kaliinykh solei [Gas-dynamic roof collapse during the development of potash deposits]. *Zapiski Gornogo instituta*, Vol. 246, P. 601 - 609.

3. Andreiko S.S., Kalugin P.A., Shcherba V.Ya., 2000. Gazodinamicheskie yavleniya v kaliinykh rudnikakh: Genezis, prognoz i upravlenie [Gas-dynamic phenomena in potash mines: Genesis, forecast and management]. Minsk: Vysheishaya shkola, 335 p.

4. Luk'yanets E.V., Bobrov D.A., 2020. Mekhanizm obrazovaniya ochagov gazodinami-cheskikh yavlenii v skladchatykh strukturakh kaliinykh plastov [Formation mechanism of gas-dynamic phenomena foci in the folded structures of potash beds]. *Gornoe ekho*, № 2, P.106 - 114.

5. Andreiko, S.S., 2019. Sovremennoe sostoyanie problemy gazodinamicheskikh yavlenii na deistvuyushchikh i vvodimykh v ekspluatatsiyu kaliinykh rudnikakh [The current state of the problem of gas-dynamic phenomena at existing and commissioned potash mines]. *Gornoe ekho*, № 2, P. 82 - 89.

6. Kutyrlo, V.E., 2007. Gazodinamicheskie yavleniya v promyshlennykh gorizontakh Starobinskogo mestorozhdeniya kaliinykh solei [Gas-dynamic phenomena in the industrial horizons of the Starobinsky potash salt deposit]. *Litosfera*, №1(26), P. 140 – 148.

7. Ivanov O.V., 2018. Rezul'taty issledovaniy gazonosnosti i gazodinamicheskikh kharakteristik porod v vyrabotkakh okolostvol'nogo dvora rudnika Gremyachinskogo GOKa [Study results of gas content and gas-dynamic characteristics of rocks in the workings of the near-trunk yard on the Gremyachinsky GOK mine]. *Strategiya i protsessy osvoeniya georesursov: Sbornik nauchnykh trudov*. Perm': GI UrO RAN, P. 313 –316.

8. Ivanov O.V., 2012. Nauchno-uchebnyi izmeritel'nyi kompleks dlya izucheniya gazonosnosti gornykh porod po svyazannym gazam [Scientific and educational measuring complex for studying the gas content of rocks by associated gases]. *Strategiya i protsessy osvoeniya georesursov. Sbornik nauchnykh trudov*. Vyp. 10. Perm': GI UrO RAN, P. 223 – 225.

9. Ivanov O.V., 2020. Rezul'taty issledovaniy gazonosnosti po svyazannym gazam kaliino-magnievyykh solei i vmeshchayushchikh porod v predelakh novykh litsenzyonnykh uchastkov [Study results of gas content on the associated gases of potassium-magnesium salts and host rocks within new license areas]. *Gornoe ekho*, № 1, P. 95 – 100.

10. Andreiko S.S., Gaisina E.R., Krasil'nikova K.A., Pachgin V.V., 2013. Issledovanie gazonosnosti solyanykh porod po svyazannym gazam na novykh uchastkakh shakhtnykh polei rudnikov ОАО "URALKALII" [Investigation of the gas content of salt rocks by associated gases in new sections of the minefields of the mines of ОАО URALKALI]. *Vestnik Permskogo*



natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo, № 8, P. 86 – 100.

11. Andreiko S.S., Ivanov O.V., Lyalina T.A., Nesterov E.A., 2021. Gazonosnost' po svobodnym gazam porod sil'vinitovoi i sil'vinito-karnallitovoi zon Verkhnekamskogo mestorozhdeniya [Gas content by the free gases in the rocks of the silvinite and silvinite-carnallite zones of the Verkhnekamskoye field]. Gornaya promyshlennost', № 4, P. 125 – 133.