

## РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 622.831.322

DOI:10.7242/echo.2021.3.14

### НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ ПРОХОДКЕ ВСКРЫВАЮЩИХ II КАЛИЙНЫЙ ГОРИЗОНТ БРЕМСБЕРГОВ В УСЛОВИЯХ КРАСНОСЛОБОДСКОГО РУДНИКА 2 РУ

Д.А. Бобров

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация.** В процессе исследований разработаны режимы проведения вскрывающих бремсбергов при пересечении карбонатно-глинистых и соляных пачек, расположенных между III и II калийными горизонтами, на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ ОАО «Беларуськалий». Разработаны временные рекомендации по безопасному ведению горных работ при проходке вскрывающих бремсбергов по породам глинисто-карбонатных и соляных пачек. Проведены исследования газоносности и газодинамических характеристик пород, залегающих между II и III калийными горизонтами.

**Ключевые слова:** калийный рудник, второй калийный горизонт, третий калийный горизонт, газоносность пород, научное сопровождение, геологическое строение, Старобинское месторождение калийных солей, Краснослободской рудник.

#### Введение

В статье приведены результаты исследований, целью которых являлась количественная оценка показателей газоносности и газодинамических характеристик пород глинисто-карбонатных и соляных пачек, расположенных по геологическому разрезу Старобинского месторождения калийных солей между III и II калийными горизонтами. Шахтные экспериментальные исследования газоносности и газодинамических характеристик пород глинисто-карбонатных и соляных пачек проводились во вскрывающих II калийный горизонт бремсбергах на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ ОАО «Беларуськалий». Методикой шахтных экспериментальных исследований предусматривалась количественная оценка следующих показателей: газоносности по свободным газам, начальной скорости газовыделения и давления свободных газов в породах 14, 16, 18, 20 22, 24 глинисто-карбонатных пачек, а также 15, 17, 19, 21, 23 и 25 соляных пачек. В настоящее время опасными по газодинамическим явлениям (ГДЯ) в условиях рудников ОАО «Беларуськалий», помимо пород III калийного горизонта и I калийного горизонта, почвы IV калийного горизонта, считаются и породы 12 карбонатно-глинистой пачки [8]. В процессе проведения бремсбергов, вскрывающих II калийный горизонт, пересекались породы глинисто-карналлитовой и верхней забалансовой сильвинитовой пачек III калийного горизонта, опасные по газодинамическим явлениям, а также породы карбонатно-глинистых и соляных пачек, расположенных между III и II калийными горизонтами, опасность которых по горючим газам и газодинамическим явлениям на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ ОАО «Беларуськалий» на начало работ была не установлена.

Как правило, геологическое строение карбонатно-глинистых пачек характеризуется частым чередованием прослоев глин с доломито-известковыми глинистыми породами, неслоистых и слабо слоистых пород; наличием слоев песчаников и алевролитов; наличием в верхней части горизонтов слоев каменной соли, играющих

роль своего рода «газонепроницаемых экранов»; наличием в породах горизонтов органического вещества (до 1%). Все эти особенности геологического строения карбонатно-глинистых пачек позволяют предполагать протекание в толще пород процессов образования свободных газов и, соответственно, формирование приконтактных и очаговых скоплений свободных газов, которые при проходке бремсбергов могут быть потенциальными очагами газодинамических явлений. Породы соляных пачек содержат слои и прослои несоляных пород – галопелитов, мощность которых колеблется от долей миллиметров до нескольких десятков сантиметров. К таким галопелитовым слоям и прослоям, как показывает практика ведения горных работ в калийных рудниках, могут быть приурочены приконтактные скопления свободных газов, которые также могут быть очагами таких газодинамических явлений, как внезапные обрушения (разрушения) пород кровли (почвы) горных выработок, сопровождающиеся газовыделением.

В этой связи нашей лабораторией были разработаны временные рекомендации по безопасному ведению горных работ при проходке вскрывающих бремсбергов. Кроме этого в процессе проходки вскрывающих II калийный горизонт бремсбергов предусмотрено научное сопровождение, заключающееся в проведении научно-исследовательских работ по изучению газоносности и газодинамических характеристик нижележащей толщи пород для своевременной корректировки и уточнению мероприятий по обеспечению безопасной проходки бремсбергов, вскрывающих II калийный горизонт на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ.

Всего по всем глинисто-карбонатным и соляным породам проведено более 200 замеров. Исследование охватили все глинисто-карбонатные и соляные пачки между II и III калийными горизонтами на всю их мощность.

### **Методика проведения исследований**

Сопровождение заключается в исследовании вышележащих пластов бремсберга и количественной оценке показателей газоносности и газодинамических характеристик пород глинисто-карбонатных и соляных пачек. Исследования проводились с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Исследование свойств геоматериалов» при ПНИПУ. Методика проведения экспериментальных исследований включает: определение газоносности вышележащей толщи пород по свободным газам и определение компонентного состава. Исследования реализовывалась путем шахтных инструментальных наблюдений за газовыделениями из комплекта скважин диаметром 42 мм, пробуренных в горных выработках с одновременным отбором проб свободного газа [1-7]. После обработки результатов исследований работы по проходке вскрывающих II калийный горизонт бремсбергов продолжались до отметки, где вышележащие породы были еще не изучены.

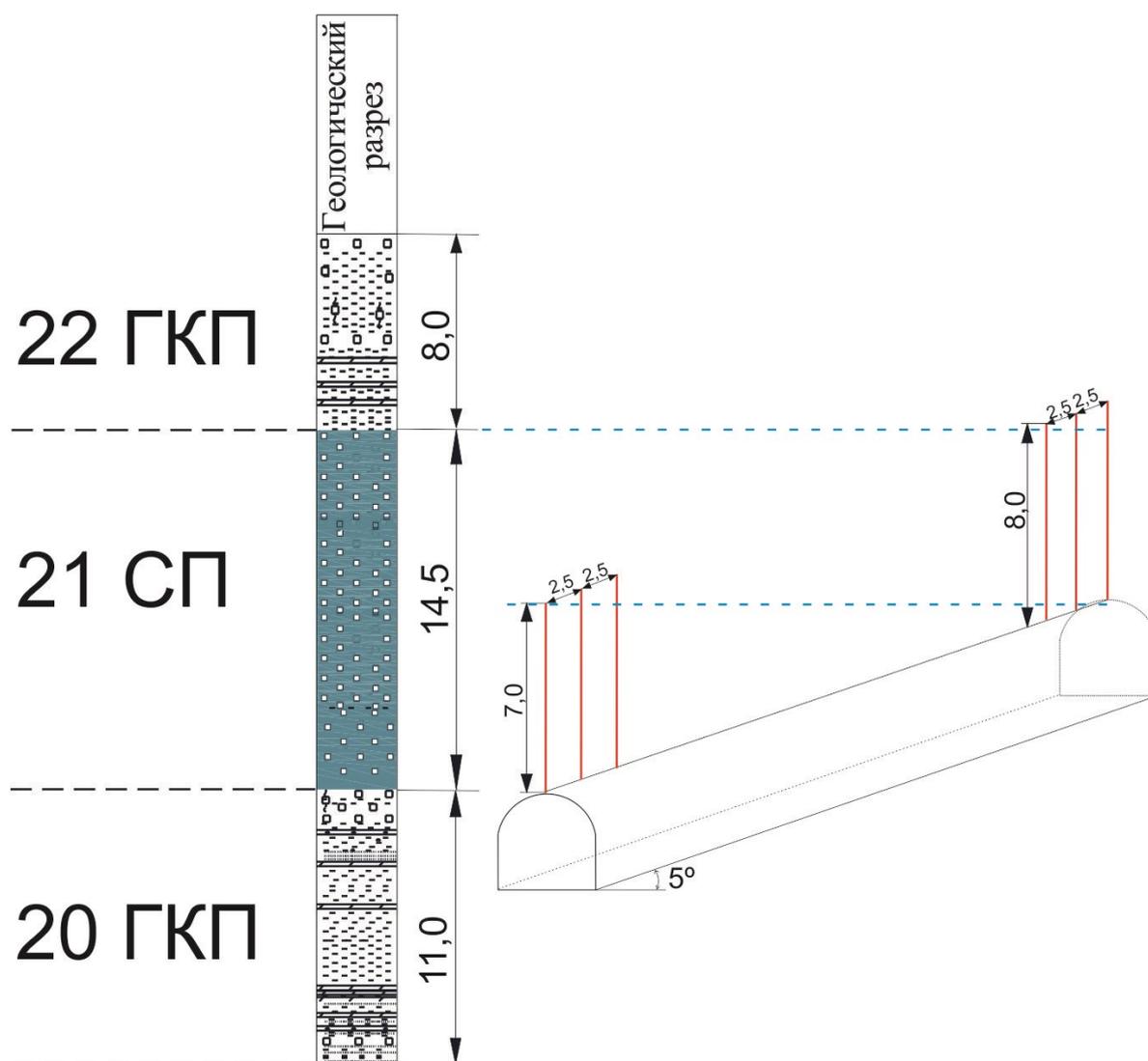
Исследовательские скважины поинтервально бурились в кровлю выработок (рис. 1) и сразу герметизировались на расстоянии 0,5 м от забоя шпура с помощью герметизатора [9]. Газ, выделяющийся из стенок и забоя загерметизированной части шпура (скважины), поступает в газоотводящий штуцер, к которому подключается прецизионный портативный цифровой манометр DPI-705 IS, предназначенный для работы в лабораторных и «полевых» условиях.

С помощью DPI-705 IS определяется начальная скорость газовой выделению в скважине по давлению, создаваемому газом, проходящим через откалиброванное отверстие капилляра, а также определяется приращение давления газов в скважине в течение 30 секунд после ее герметизации, т.е. начальное газовое

давление. По этой величине с помощью заранее построенных графиков зависимости  $X = f(P_2)$ , где  $X$  – газоносность пород,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $P_2$  – величина начального газового давления, определяются показатели газоносности. Давление газа в массиве рассчитывалось отдельно для каждого интервала по длине скважины в каждом конкретном случае.

Прибором DPI-705 IS замеряется скорость истечения газов из шпуров, секундомером фиксируется время изменения скорости. Полученный объем выделившихся из шпура газов соотносится к объему зоны дренирования вокруг шпура.

Для определения компонентного состава выделяющегося газа параллельно производится отбор проб. Анализ компонентного состава свободных газов проводится на газовых хроматографах.



**Рис. 1.** Схема расположения исследовательских скважин при проходке вскрывающих II калийный горизонт бремсбергов в условиях Краснослободского рудника 2 РУ

### Результаты исследований

В процессе проведенных исследований по изучению газоносности пород глинисто-карбонатных и соляных пачек, расположенных по геологическому разрезу Старобинского месторождения калийных солей между III и II калийными горизонтами, были получены следующие результаты (рисунок 3).

- Установлено, что породы среднего глинисто-карналлитового пласта газоносны по свободным газам. Газоносность пород в верхней части среднего глинисто-карналлитового пласта достигает  $3,81 \text{ м}^3/\text{м}^3$  при среднем значении  $2,9 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Начальная скорость газовыделения из пород среднего глинисто-карналлитового пласта достигает 12 л/мин (среднее 3,0 л/мин), а давление свободных газов – 0,471 МПа.
- Установлено, что газоносность верхнего забалансового сильвинитового пласта изменяется в пределах от 0,98 до  $1,08 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Начальная скорость газовыделения свободных газов изменяется в пределах 0,74 до 1,11 л/мин. Давление свободных газов в массиве пород изменяется в пределах от 0,197 до 0,2 МПа.
- Установлено, газоносность пород нижней части слоя покровной каменной соли изменяется в пределах  $0,18-0,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Начальная скорость газовыделения из пород нижней части слоя покровной каменной соли изменяется в пределах 0,21-0,8 л/мин, а давление свободных газов – 0,191-0,195 МПа.
- Установлено, что в компонентном составе свободных газов глинисто-карналлитового пласта преобладает содержание азота (более 90%), метана (более 7%) и водорода, содержание которого приближается к 2%. Суммарное содержание тяжелых углеводородов метанового ряда не превышает 8,45%.
- В целом же можно сделать вывод, что породы 14 глинисто-карбонатной пачки и нижней части 15 слоя каменной соли обладают низким содержанием свободных газов.
- Установлено, что газоносность контакта 14 глинисто-карбонатной пачки и 15 слоя каменной соли колеблется в пределах  $0,112-0,142 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Начальная скорость газовыделения из пород 14 глинисто-карбонатной пачки изменяется в пределах 0,02-0,08 л/мин при среднем значении 0,06 л/мин. Давление свободных газов 14 глинисто-карбонатной пачки колеблется в пределах 0,1896-0,1902 МПа, составляя в среднем 0,189 МПа.
- Установлено, что породы 15 соляной пачки малогазоносны. Газоносность по свободным газам изменяется от 0,10 до  $0,12 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , что является «фоновым» значением газоносности по свободным газам соляных пород. Начальная скорость газовыделения свободных газов из пород 15 соляной пачки весьма незначительная и не превышает 0,03 л/мин, что свидетельствует об отсутствии фактора газодинамической опасности в породах 15 соляной пачки. Давление свободных газов в массиве пород 15 соляной пачки не превышает 0,190 МПа.
- Установлено, что породы 16 глинисто-карбонатной пачки характеризуются весьма незначительной газоносностью. Газоносность по свободным газам изменяется от 0,10 до  $0,12 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , что является «фоновым» значением газоносности по свободным газам для соляных и глинисто-карбонатных пород. Начальная скорость газовыделения свободных газов не превышает 0,03 л/мин и давление свободных газов в породах 16 глинисто-карбонатной пачки не превышает 0,190 МПа, что свидетельствует об отсутствии фактора газодинамической опасности в породах 16 глинисто-карбонатной пачки. Корректировка параметров режима проведения бремсбергов не требуется.
- Установлено, что породы 17 соляной пачки малогазоносны. Газоносность по свободным газам изменяется от 0,10 до  $0,125 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , что является «фоновым» значением газоносности по свободным газам соляных пород. Начальная ско-

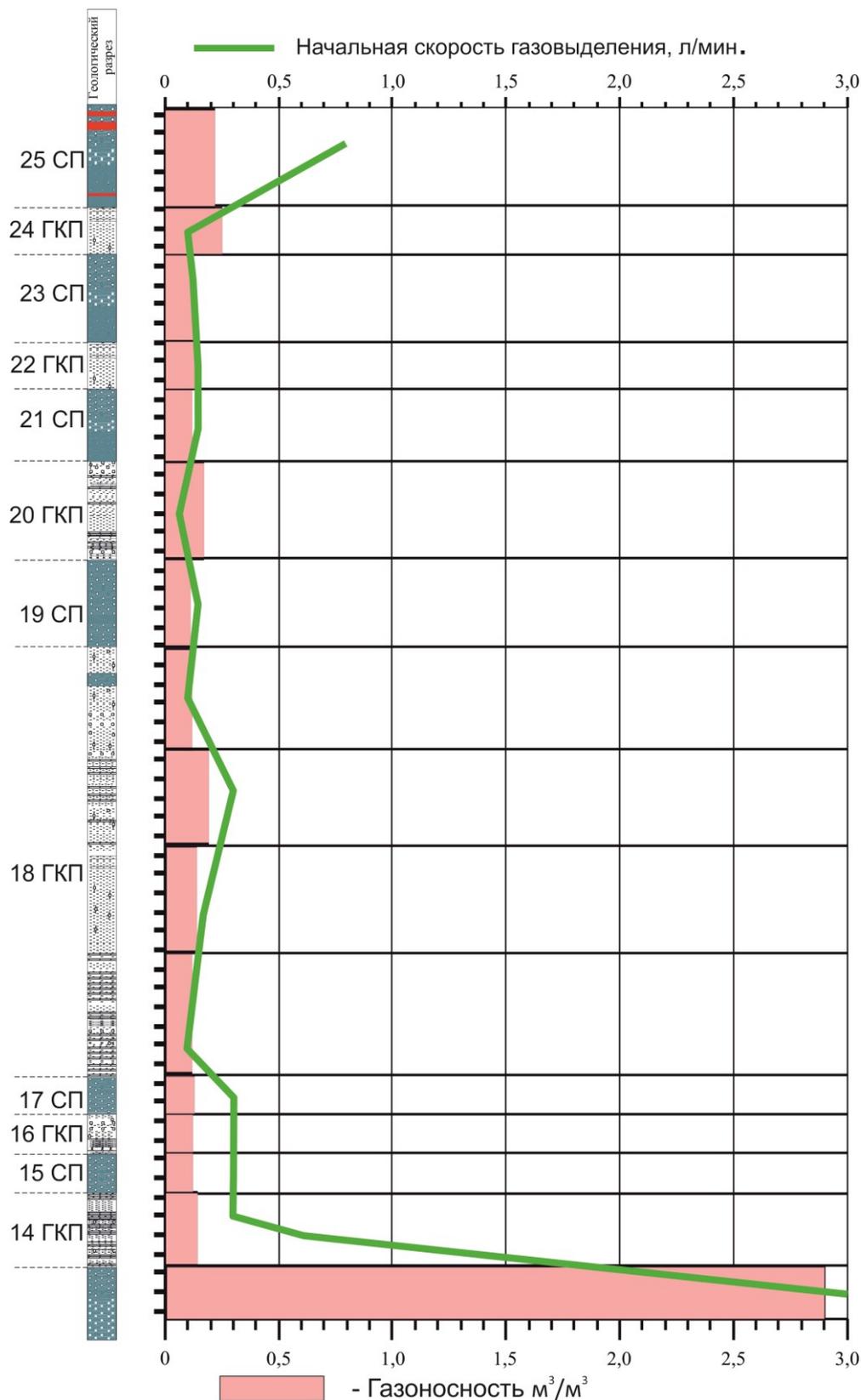
рость газовыделения свободных газов не значительна и не превышает 0,03 л/мин, что свидетельствует об отсутствии фактора газодинамической опасности пород 17 соляной пачки. Давление свободных газов в массиве пород 17 соляной пачки не превышает 0,190 Мпа, что свидетельствует об отсутствии фактора газодинамической опасности в породах 17 соляной пачки. Корректировка параметров режима проведения бремсбергов не требуется.

- Установлено, что породы 18 глинисто-карбонатной пачки малогазоносны. Газоносность пород по свободным газам изменяется от 0,10 до 0,18 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> при среднем значении газоносности 0,11 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, что является «фоновым» значением газоносности по свободным газам. Начальная скорость газовыделения в породах 18 глинисто-карбонатной пачки изменяется в пределах 0,01-0,35 л/мин при среднем значении 0,07 л/мин.
- Установлено, что породы 19 соляной пачки малогазоносны. Газоносность по свободным газам составляет 0,11 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, что является «фоновым» значением газоносности по свободным газам соляных пород. Начальная скорость газовыделения из пород 19 соляной пачки изменяется в пределах 0,08-0,27 л/мин при среднем значении 0,13 л/мин, что свидетельствует об отсутствии фактора газодинамической опасности пород 19 соляной пачки.
- Установлено, что породы 20 глинисто-карбонатной пачки малогазоносны. Газоносность по свободным газам изменяется от 0,05 до 0,17 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> при среднем значении газоносности 0,09 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, что является «фоновым» значением газоносности по свободным газам соляных пород. Начальная скорость газовыделения 20 глинисто-карбонатной пачки изменяется в пределах 0,01-0,15 л/мин при среднем значении 0,06 л/мин, что свидетельствует об отсутствии фактора газодинамической опасности пород 20 глинисто-карбонатной пачки. Давление свободных газов в массиве пород 18 глинисто-карбонатной, 19 соляной и 20 глинисто-карбонатной пачек не превышает 0,190 МПа, что свидетельствует об отсутствии фактора газодинамической опасности в этих породах. Корректировка параметров режима проведения бремсбергов не требуется.
- Газоносность соляных пород 21 соляной пачки по свободным газам в разведочном бремсберге на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ незначительна и не превышает 0,12 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Значения начальной скорости газовыделения из пород 21 соляной пачки в разведочном бремсберге на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ как интегральной газодинамической характеристики соляных пород весьма незначительны, не превышают 0,13 л/мин, что свидетельствует об отсутствии газового фактора газодинамической опасности соляных пород 21 соляной пачки в разведочном бремсберге на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ.
- Газоносность по свободным газам пород 22 глинисто-карбонатной пачки в разведочном конвейерном бремсберге на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ незначительна, изменяется в пределах от 0,105 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> до 0,15 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> при среднем значении 0,12 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Значения начальной скорости газовыделения из пород 22 глинисто-карбонатной пачки как интегральной газодинамической характеристики горных пород весьма незначительны, не превышают 0,13 л/мин, что свидетельствует об отсутствии газового фактора газодинамической опасности пород 22 глинисто-карбонатной пачки в разведочном бремсберге на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ.

- Установлено, что газоносность соляных пород 23 соляной пачки по свободным газам в разведочном бремсберге на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ незначительна изменяется в пределах от  $0,1 \text{ м}^3/\text{м}^3$  до  $0,12 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , что в 25-30 меньше газоносности пород, опасных по газодинамическим явлениям. Значения начальной скорости газовыделения из пород 23 соляной пачки, как интегральной газодинамической характеристики соляных пород, весьма незначительны, не превышают  $0,12 \text{ л/мин}$ .
- Установлено, что давление свободного газа в массиве пород 23 соляной пачки не превышает  $0,190 \text{ МПа}$ . Давление свободных газов в породах 23 соляной пачки является низким и недостаточно для разрушения пород кровли выработки в виде газодинамического явления.
- Газоносность соляных пород 24 глинисто-карбонатной пачки по свободным газам в разведочном транспортном бремсберге на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ незначительна и не превышает  $0,26 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Значения начальной скорости газовыделения из пород 24 глинисто-карбонатной пачки в разведочном бремсберге на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ как интегральной газодинамической характеристики соляных пород весьма незначительны, не превышают  $0,1 \text{ л/мин}$ , что свидетельствует об отсутствии газового фактора опасности газодинамических явления из пород 24 глинисто-карбонатной пачки в разведочном транспортном бремсберге на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ. Значения давления свободного газа в массиве пород 24 глинисто-карбонатной пачки в разведочном транспортном бремсберге на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ не превышают  $0,191 \text{ МПа}$ , что является фоновым показателем.
- Газоносность соляных пород нижней части 25 соляной пачки по свободным газам в разведочном бремсберге и в подготовительных выработках II калийного горизонта на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ незначительна и не превышает  $0,22 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Значения начальной скорости газовыделения из пород 25 соляной пачки в разведочном бремсберге и в подготовительных выработках II калийного горизонта на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ весьма незначительны, не превышают  $0,08 \text{ л/мин}$ , что свидетельствует об отсутствии газового фактора газодинамической опасности соляных пород 25 соляной пачки в разведочном транспортном бремсберге и подготовительных выработках II калийного горизонта на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ. Значения давления свободного газа в массиве пород 25 соляной пачки в разведочном бремсберге и в подготовительных выработках II калийного горизонта на шахтном поле Краснослободского рудника 2 РУ не превышают  $0,191 \text{ МПа}$ , что является фоновым показателем.

### **Заключение**

В итоге проведенных исследований можно сделать вывод, что породы среднего глинисто-карналитового пласта газоносны по свободным газам, глинисто-карбонатные и соляные породы, залегающие между II и III калийными горизонтами, не газоносны, не содержат скоплений свободного газа и не являются опасными по газодинамическим явлениям. Проведение горных выработок в данных породах возможно без специальных мер предотвращения ГДЯ.



**Рис. 2.** Газоносность пород и начальная скорость газовыделения в скважинах по разрезу толщи пород между III и II калийными горизонтами

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-45-596017 р\_НОЦ\_Пермский край*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исходные данные на проектирование 2 РУ. Развитие главных направлений горизонта – 450 м Краснослободского рудника. Разработать исходные данные для проекта вскрытия запасов западной площади шахтного поля Краснослободского рудника с пересечением Краснослободского разлома горными выработками: Отчет договор № 87-10, этап 10 / ОАО «БелГОРХИМПРОМ»; Рук. А.А. Крукович, Н.А. Зольников. – Минск, 2014. – 218 с.
2. Барбиков Д.В., Андрейко С.С., Иванов О.В., Бобров Д.А. Оценка газодинамических характеристик горных пород Краснослободского разлома // Горн. журн. – 2018. – № 8. – С. 38-42. – DOI: 10.17580/gzh.2018.08.04.
3. Андрейко С.С., Бобров Д.А., Нестеров Е.А., Лукьянец Е.В. Оценка газоносности и газодинамических характеристик пород соляных и глинисто-карбонатных пачек на шахтном поле рудника второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий» // Недропользование. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 270-279. – DOI: [10.15593/2712-8008/2020.3.7](https://doi.org/10.15593/2712-8008/2020.3.7).
4. Андрейко С.С., Калугин П.А., Щерба В.Я. Газодинамические явления в калийных рудниках: Генезис, прогноз и управление / под. ред. В.Я. Прушака. – Минск: Выш. шк., 2000. – 335 с.: ил.
5. Андрейко С.С. Механизм образования очагов газодинамических явлений в соляном породном массиве. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. – 196 с.
6. Андрейко С.С., Лялина Т.А., Нестеров Е.А., Еловицова А.С. Оценка возможности развития газодинамических явлений при ведении горных работ на III калийном горизонте Краснослободского рудника 2 РУ // Горная механика и машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 5-15.
7. Береснев С.П., Сенюк В.В., Гончар В.И., Андрейко С.С., Литвиновская Н.А. Исследование механизма формирования опасных по газодинамическим явлениям зон в породах калийного горизонта // Горн. журн. – 2010. – № 8. – С.31-33.
8. Андрейко С.С. Современное состояние проблемы газодинамических явлений на действующих и вводимых в эксплуатацию калийных рудниках // Горное эхо. – 2019. – № 2 (75). – С. 82-89. – DOI: 10.7242/echo.2019.2.20.
9. Земсков А.Н., Кондрашев П.И., Травникова Л.Г. Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними. – Пермь: Тип. Купца Тарасова, 2008. – 412 с.: ил., табл.

УДК 622.45

DOI:10.7242/echo.2021.3.15

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОВЕТРИВАНИЕМ НА КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ

С.А. Бублик, А.В. Зайцев, С.В. Мальцев, М.А. Семин  
*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Исследуется эффективность работы систем динамического управления проветриванием на калийном руднике Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей. Рассмотрены три возможных уровня реализации управления проветриванием (по степени глубины проветривания). Показано, что на сегодняшний день с учетом принятых нормативных документов на рудниках Верхнекамского месторождения целесообразно внедрение только наиболее глубокого (третьего) уровня управления проветриванием, учитывающего перераспределение потоков между блоками панелей. Проведено моделирование принципиально возможной экономии электроэнергии при внедрении на одном из рудников месторождения системы динамического управления проветриванием.

**Ключевые слова:** рудничная вентиляция, автоматизированное управление проветриванием, энергоэффективность, вентиляция «по требованию».

### Введение

Основная задача любой системы подземной вентиляции – обеспечение всех рабочих зон (или потребителей) воздухом в достаточном количестве и качестве, чтобы разбавить загрязняющие вещества до безопасных концентраций [1, 2]. Помимо обеспечения