

УДК 622.831.325.3

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2017

ПАРАМЕТРЫ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ДЕГАЗАЦИИ ПОРОД ПОЧВЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ СЛОЕВОЙ ОТРАБОТКЕ ТРЕТЬЕГО КАЛИЙНОГО ПЛАСТА НА РУДНИКАХ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

С.С. Андрейко, Е.В. Лукьянец, Н.А. Литвиновская¹,
 Е.А. Нестеров¹, Д.А. Бобров¹, А.Л. Поляков², Е.А. Лутович²

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

¹ Горный институт Уральского отделения Российской академии наук – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а)

² Институт горного дела (223707, Республика Беларусь, г. Солигорск, ул. Козлова, 69)

PARAMETERS OF PREVENTIVE GAS REMOVAL FROM MINE BEDROCKS DURING THE LAYER MINING OF THE THIRD POTASH FORMATION AT MINES OF BELARUSKALI JSC

Sergey S. Andreyko, Elena V. Lukyanets, Natalya A. Litvinovskaya¹,
 Egor A. Nesterov¹, Dmitriy A. Bobrov¹, Andrey L. Polyakov², Evgeniy A. Lutovich²

Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolskiy av., Perm, 614990, Russian Federation)

¹ Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science Perm

Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (78 Sibirskaya st., Building A, Perm, 614007, Russian Federation)

² Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production JSC (69 Kozlova st., Soligorsk, 223707, Republic of Belarus)

Получена / Received: 02.06.2017. Принята / Accepted: 28.07.2017. Опубликовано / Published: 15.09.2017

Ключевые слова:

калийный рудник, газодинамические явления, способы предотвращения, горная выработка, почва, Третий калийный пласт, штрек, слоевая отработка, лава, опорное давление, замерная станция, герметизатор, газоносность, начальная скорость газовой выделенности, давление газа, цифровой манометр, скважина, технологические схемы отработки, профилактическая дегазация.

Приведены результаты исследований, целью которых являлась разработка параметров профилактической дегазации пород почвы горных выработок при слоевой отработке Третьего калийного пласта в условиях рудников ОАО «Беларуськалий». Разработка параметров профилактической дегазации пород почвы горных выработок производилась на основе результатов шахтных экспериментальных исследований газоносности, газодинамических характеристик пород почвы и экспериментальных исследований динамики изменения во времени давления свободных газов в породах почвы горных выработок в различных горнотехнических условиях слоевой отработки Третьего калийного пласта. Методикой шахтных экспериментальных исследований предусматривалась количественная оценка следующих показателей: газоносность пород почвы горных выработок по свободным газам; начальная скорость газовой выделенности из пород почвы; давление свободных газов в породах почвы. Исследования динамики изменения во времени давления свободных газов в породах почвы подготовительных выработок проводились в выемочных столбах лав, обрабатывающих слои 2, 2–3, 3 Третьего калийного пласта с помощью замерных станций (пакеров), оборудованных для замера давления свободных газов в измерительных камерах цифровыми манометрами. На основании результатов шахтных экспериментальных исследований установлены закономерности формирования очагов газодинамических явлений в породах почвы горных выработок при различных горнотехнических условиях слоевой отработки Третьего калийного пласта. С учетом установленных закономерностей формирования очагов газодинамических явлений в породах почвы горных выработок разработаны параметры профилактического дегазационного бурения скважин в почву подготовительных выработок для лав, обрабатывающих слои 2, 2–3, 3 Третьего калийного пласта в различных геологических и горнотехнических условиях. Параметры профилактического дегазационного бурения для различных технологических схем отработки Третьего пласта включают: перечень выработок в выемочном столбе лавы, в которых должно применяться профилактическое дегазационное бурение; диаметр, глубину и расстояние между дегазационными скважинами. Внедрение схем профилактического бурения дегазационных скважин в почву подготовительных выработок лав, обрабатывающих слои 2, 2–3, 3 Третьего калийного пласта, позволяет повысить безопасность ведения горных работ на рудниках ОАО «Беларуськалий».

Key words:

potash mine, gas dynamic phenomena, prevention methods, mine, bedrock, Third potash formation, drift, layer mining, long face, reference pressure, metering station, sealer, gas content, initial gas release velocity, gas pressure, digital manometer, well, technological schemes of mining, preventive gas removal.

The article presents results of studies aimed to develop parameters for preventive gas removal of mine bedrocks occur during the layer mining of the Third potash formation in conditions of Belaruskali JSC mines. Development of parameters for preventive gas removal of bedrocks was carried out based on results of mine experimental studies of gas content, gas dynamic characteristics of bedrocks and experimental studies of dynamics of pressure of free gases under different mine industrial conditions of layer mining at the Third potash formation. A method of mine experimental research consider quantitative assessment of the indicators such as gas content of bedrocks on free gases, initial velocity of gas emission from bedrocks, pressure of free gases of bedrocks. Study of dynamics of change in time of pressure of free gases in bedrocks of the preparatory excavations were carried out in excavation poles of long faces that mine layers 2, 2-3 and 3 of the Third formation. That was done with help of measuring stations (packers) equipped for measuring the pressure of free gases in the measuring chambers by digital manometers. Based on results of mine experimental studies, regularities of formation of focuses of gas dynamic phenomena in bedrocks were established. Regularities consider various mining conditions of layer operation of the Third potash layer. Parameters of preventive gas removal drilling of wells into the bedrocks of preparatory excavations for long faces that mine layers 2, 2-3 and 3 of the Third potash layer in various geological and mining conditions have been developed. Parameters consider established regularities of formation of focuses of gas dynamic phenomena in bedrocks. Parameters of preventive gas removal drilling for various technological schemes for operation of the Third layer include a list of excavations in the long faces where preventive gas removal drilling should be applied and diameter, depth and distance between the degassing wells. Introduction of schemes of preventive drilling of degassing wells into the bedrocks of preparatory excavations of long faces that mine layers 2, 2-3, 3 of the Third potash layer allows to increase safety of mining operations at the mines of Belaruskali JSC.

Андрейко Сергей Семенович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых (тел.: +007 342 219 84 38, e-mail: ssa@mi-perm.ru).

Лукьянец Елена Владимировна – ассистент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых (тел.: +007 342 219 80 31, e-mail: LukyanecEV@yandex.ru).

Литвиновская Наталья Александровна – кандидат технических наук, научный сотрудник (тел.: +007 342 216 58 42, e-mail: nlitvinovskaya@mail.ru).

Нестеров Егор Анатольевич – кандидат технических наук, научный сотрудник (тел.: +007 342 216 58 42, e-mail: mine_igor@mail.ru).

Бобров Дмитрий Александрович – инженер (тел.: +007 342 216 58 42, e-mail: camdobr@yandex.ru).

Поляков Андрей Леонидович – кандидат технических наук, директор (тел.: +375 17 42 628 47, e-mail: sigd@list.ru).

Лутович Евгений Анатольевич – начальник горного отдела (тел.: +375 17 42 628 47, e-mail: sigd@list.ru).

Sergey S. Andreyko (Author ID in Scopus: 55922205900, 6506180352) – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Development of the Fields of Mineral Resources (tel.: +007 342 219 84 38, e-mail: ssa@mi-perm.ru).

Elena V. Lukyanets – Assistant Lecturer at the Department of Development of the Fields of Mineral Resources (tel.: +007 342 219 80 31, e-mail: LukyanecEV@yandex.ru).

Natalya A. Litvinovskaya (Author ID in Scopus: 56672920100) – PhD in Engineering, Research Fellow (tel.: +007 342 216 58 42, e-mail: nlitvinovskaya@mail.ru).

Egor A. Nesterov (Author ID in Scopus: 7006126508) – PhD in Engineering, Research Fellow (tel.: +007 342 216 58 42, e-mail: mine_igor@mail.ru).

Dmitriy A. Bobrov – Engineer (tel.: +007 342 216 58 42, e-mail: camdobr@yandex.ru).

Andrey L. Polyakov (Author ID in Scopus: 7201781150) – PhD in Engineering, Director (tel.: +375 17 42 628 47, e-mail: sigd@list.ru).

Evgeniy A. Lutovich – Head of the Mine Department (tel.: +375 17 42 628 47, e-mail: sigd@list.ru).

Введение

В настоящее время на рудниках ОАО «Беларускалий» решена значительная часть вопросов, связанных с предотвращением газодинамических явлений (ГДЯ) и дальнейшим повышением безопасности ведения горных работ. За последние два десятилетия внесен существенный вклад в исследование природы, механизмов протекания различных видов ГДЯ и способов борьбы с ними [1–15]. Разработаны эффективные методы прогнозирования и способы предотвращения известных видов газодинамических явлений [16–21]. Однако практика ведения горных работ на Третьем калийном пласте в условиях рудников ОАО «Беларускалий» в последние годы показала, что появилась новая природная опасность для шахтеров – газодинамические явления из почвы подготовительных и очистных горных выработок. Внезапность, большая мощность, наличие поражающих факторов в виде разлетающихся с высокой скоростью кусков породы, воздушной волны и интенсивного газовыделения природных горючих газов, отсутствие предупредительных признаков и предвестников газодинамических явлений данного вида представляют серьезную угрозу жизни шахтеров. На рис. 1 приведен пример внезапного выброса соли и газа из почвы на участке сопряжения конвейерного штрека с монтажным штреком лавы № 12а–2 (12-я южная «А» панель, рудник 4 РУ). В связи с фактами ГДЯ

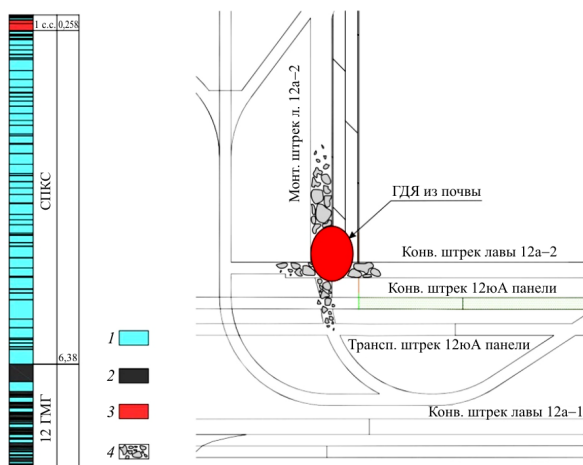


Рис. 1. Внезапный выброс соли и газа из почвы на участке сопряжения конвейерного штрека с монтажным штреком лавы № 12а–2 (12-я южная «А» панель, рудник 4 РУ): 1 – каменная соль; 2 – глина; 3 – силвинит; 4 – выброшенная порода

из почвы появилась настоятельная необходимость исследования и разработки как механизма

возникновения газодинамических явлений из почвы горных выработок, так и эффективных способов их предотвращения. Многолетняя практика ведения горных работ на пластах, опасных по газодинамическим явлениям, показывает, что только глубокое изучение природы ГДЯ из почвы горных выработок позволит обосновать эффективные меры борьбы с ними и определить возможные способы управления динамическим разрушением массива соляных пород [22–38].

Методика проведения шахтных экспериментальных исследований газоносности, газодинамических характеристик и динамики изменения во времени давления свободных газов в породах почвы подготовительных выработок

В период 2015–2016 гг. с использованием оборудования ЦКП «Центр исследования свойств геоматериалов» ПНИПУ проводились шахтные экспериментальные исследования газоносности и газодинамических характеристик пород почвы горных выработок, а также динамики изменения во времени давления свободных газов в породах почвы подготовительных выработок в выемочных столбах лав при отработке слоев 2, 2–3, 3 Третьего пласта на рудниках 2, 3 и 4 РУ ОАО «Беларускалий».

Методика проведения экспериментальных исследований газоносности и газодинамических характеристик пород почвы подготовительных горных выработок и сопряжения лава–штрек при отработке Третьего калийного пласта на рудниках включала определение газоносности пород почвы по свободным газам и газодинамических характеристик – начальной скорости газовыделения и давления свободных газов. Методика исследований реализовывалась путем шахтных инструментальных наблюдений за газовыделениями из скважин диаметром 42 мм, пробуренных в почву горных выработок с одновременным отбором проб свободного газа. Исследования газоносности и газодинамических характеристик пород почвы Третьего калийного пласта проводились в подготовительных выработках лав, как правило, в конвейерных, транспортных, вентиляционных и закладочных штреках. Скважины бурились поинтервально и сразу герметизировались на расстоянии 0,5 м от забоя скважины с помощью герметизатора. Газ, выделяющийся из стенок и забоя загерметизированной части скважины, поступал

в газоотводящий штуцер, к которому подключался прецизионный портативный цифровой манометр DPI-740. Диапазоны измерений манометра DPI-740: атмосферного давления – от 0,75 до 1,15 бар; абсолютного давления – от 0,035 до 1,3; 2,6; 3,5 бар; предельно допустимое давление – 4 бар. С помощью манометра DPI-740 определяется начальная скорость газовыделения в скважине по давлению, создаваемому газом, проходящим через откалиброванное отверстие капилляра, также определяется приращение давления газов в скважине в течение 30 с после ее герметизации, т.е. начальное газовое давление. По этой величине с помощью заранее построенных графиков зависимости $X = f(P_r)$, где X – газоносность пород, $\text{м}^3/\text{м}^3$; P_r – величина начального газового давления, определяются показатели газоносности.

Давление газа в породах почвы горных выработок рассчитывалось по известной формуле Л.С. Лейбензона:

$$P_0 = P_2 / \left(\frac{2}{\mu + 1} \right)^{\frac{\mu}{\mu - 1}},$$

где P_2 – измеренное начальное газовое давление в загерметизированной части исследовательской скважины, МПа; μ – показатель адиабаты для смеси газов, выделяющихся из массива соляных пород ($\mu \approx 1,4$).

Давление свободного газа в породах почвы рассчитывалось для каждого интервала по длине скважины. Прибором DPI-740 замерялась скорость истечения газов из исследовательских скважин, секундомером фиксировалось время изменения скорости. Полученный объем выделившихся из скважин газов соотносится с объемом зоны дренирования вокруг скважины. Для определения компонентного состава выделяющегося газа параллельно производится отбор проб свободного газа. Химический анализ состава свободных газов проводится на газовом хроматографе. Для проведения анализа компонентного состава газов использовались современные газовые хроматографы 450-GC компании Varian, Inc.

Исследования динамики изменения во времени давления свободных газов в породах почвы подготовительных выработок проводились в выемочных столбах лав, отрабатывающих слои 2, 2–3, 3 Третьего пласта на рудниках 2, 3 и 4 РУ ОАО «Беларуськалий». Методика шахтных экспериментальных

исследований предусматривала бурение специальных исследовательских скважин в породы почвы подготовительных выработок лавы с последующим оборудованием замерных станций (пакеров). Кроме самого бурения вертикальных скважин в почву горных выработок в процессе бурения устанавливалось точное местоположение контакта «слой подстилающей каменной соли (СПКС) – 12-я глинисто-карбонатная пачка (12 ГКП)». Глубина скважин для оборудования замерных станций обеспечивала перебуривание контакта СПКС – 12 ГКП. Конструкция замерных станций приведена на рис. 2. На момент оборудования замерных станций и первого замера давления

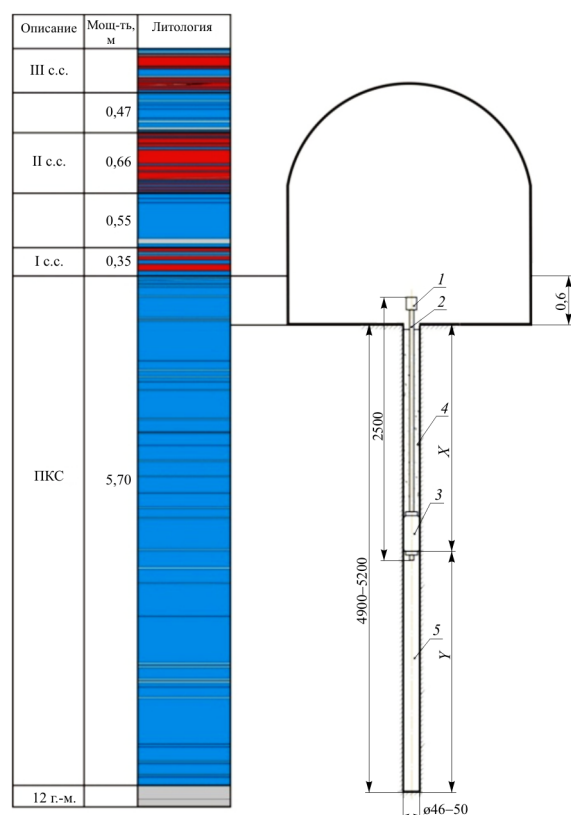


Рис. 2. Геологическое строение пород почвы горных выработок и конструкция измерительных станций: 1 – штек (обратный клапан); 2 – труба; 3 – герметизатор; 4 – цементный стакан; 5 – измерительная камера; 1-й, 2-й, 3-й газовый затвор (пакер)

свободных газов расстояние до линии очистного забоя лавы во всех случаях превышало 120 м, т.е. все замерные станции располагались вне зоны передового опорного давления. Время между замерами давления свободных газов в замерных станциях изменялось от 2 до 13 сут. Суммарное время наблюдений за динамикой изменения во времени давления свободных газов в породах почвы подготовительных выработок лавы

составляло примерно 1,5–2 месяца. Для замера давления свободных газов в измерительных камерах станций применялся цифровой манометр Crystal XP2i, который предназначен для измерения абсолютного, отрицательного и положительного избыточного давления. Цифровые манометры Crystal XP2i могут применяться в полевых и лабораторных условиях в качестве эталонных средств измерений. Основные технические характеристики цифрового манометра Crystal XP2i следующие: диапазоны измерения давления – от 0,1 до 70 МПа; температурная компенсация – во всем диапазоне измерений; погрешность $\pm 0,1\%$ от ИВ (в диапазоне от 20 до 100 % шкалы), $\pm 0,02\%$ от ВПИ (в диапазоне 0–20 % шкалы). Пример снятия отсчета с помощью цифрового манометра Crystal XP2i представлен на рис. 3.



Рис. 3. Измерение давления свободных газов в замерной станции с помощью цифрового манометра Crystal XP2i

В соответствии с методикой шахтных экспериментальных исследований динамики изменения во времени давления свободных газов в породах почвы подготовительных выработок при посещении замерной станции выполнялись следующие измерения: устанавливалась величина подвигания лавы по маркшейдерским отметкам, нанесенным на борта штреков лав, и расстояние от замерной станции до линии очистного забоя; с помощью цифрового манометра Crystal XP2i снимались показания давления свободных газов в измерительных камерах станций.

**Результаты шахтных
экспериментальных исследований
газоносности, газодинамических
характеристик и динамики изменения
во времени давления свободных газов
в породах почвы подготовительных
выработок**

В результате экспериментальных исследований в условиях рудников 2, 3 и 4 РУ было установлено, что по геологическому разрезу слоя

пород подстилающей каменной соли (СПКС), залегающего в почве Третьего калийного пласта, неравномерно изменяются газоносность и газодинамические характеристики соляных пород. Наиболее газоносными в СПКС являются: пачка (пакет) глинисто-соляных прослоек, залегающая над 12-й глинисто-карбонатной пачкой (12 ГКП), мощностью примерно 0,4–0,5 м; пачка (пакет) глинисто-соляных прослоек, залегающая в центральной части СПКС на расстоянии примерно 4,0 м от почвы 1-го сильвинитового слоя Третьего калийного пласта, общей мощностью примерно 0,4 м; контакт СПКС с 12 ГКП. Свободные газы в СПКС представлены приконтактными скоплениями, которые формируются, в своем подавляющем большинстве, в процессе надработки слоев 2, 2–3, 3 Третьего пласта лавами при отработке 4-го сильвинитового слоя. Приконтактные скопления свободных газов в СПКС формируются при отходе лав от монтажных штреков и на сопряжениях лава–штрек. Кроме этого приконтактные скопления свободных газов формируются в породах СПКС на сопряжениях бортовых штреков лав, отрабатывающих слои 2, 2–3, 3 Третьего пласта, с подготовительными выработками различного назначения. Влияние горных работ на газоносность и газодинамические характеристики пород СПКС начинает сказываться в зоне передового опорного давления, величина которой составляет примерно 120 м впереди забоя лавы, отрабатывающей слои 2, 2–3, 3 Третьего пласта. В зоне передового опорного давления в СПКС наблюдается повышение газоносности – до $8,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$, давления свободных газов – до 5,1 МПа и начальной скорости газовой выделенности – до 8,8 л/мин [39]. Значительное увеличение газоносности, давления свободных газов и начальной скорости газовой выделенности (вплоть до суфлярного газовой выделенности) из СПКС и ГКП приурочено к стадии отхода лав от монтажных штреков, а в процессе отработки выемочного столба – к сопряжениям лава–штрек и сопряжениям бортовых штреков лав, отрабатывающих слои 2, 2–3, 3 Третьего пласта, с подготовительными выработками различного назначения. Так, на рис. 4 представлены результаты исследований газоносности пород слоя СПКС по глубине исследовательской скважины, расположенной на расстоянии 3,0 м от забоя лавы. Как видно из рис. 4, контакт СПКС – 12 ГКП вскрыт на глубине 4,9 м. До глубины бурения 4,0 м газоносность пород СПКС

изменяется в пределах от 0,13 до 0,84 м³/м³, достигая максимума на глубине 2,5 м. Далее, в интервале глубин 4,0–4,5 м, из СПКС произошло интенсивное газовыделение. Газоносность пород СПКС в этом интервале превысила 5 м³/м³. После вскрытия контакта с 12 ГКП газоносность пород также превышала 5 м³/м³. Результаты измерения начальной скорости газовыделения в исследовательской скважине № 7 показали, что в интервале глубин 1,0–4,0 м начальная скорость газовыделения изменялась в пределах 0,48–0,89 л/мин. Интенсивное газовыделение приурочено к интервалу глубин 4,0–4,5 м, где величина начальной скорости газовыделения достигла максимального значения, равного 8,81 л/мин. На глубине герметизации 4,5–5,0 м начальная скорость газовыделения составила 8,28 л/мин. При этом в интервале глубин 4,0–5,0 м, давление свободного газа превысило 0,380 МПа – предел измерения прибора DPI-740.

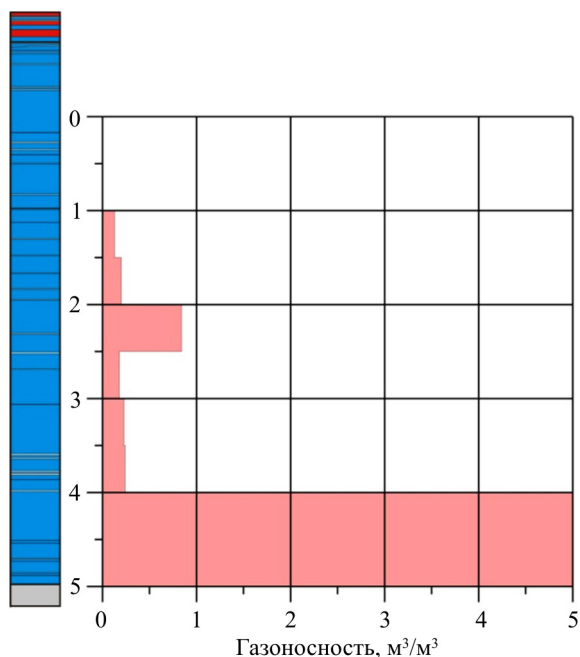


Рис. 4. Изменение газоносности пород по геологическому разрезу СПКС (3 м от забоя лавы, скважина № 7, вентиляционный штрек лавы 13н-2, рудник 3 РУ)

В процессе экспериментальных исследований динамики изменения во времени давления свободных газов в породах почвы подготовительных выработок при отработке слоев 2, 2–3, 3 Третьего пласта было установлено, что динамика изменения во времени давления свободных газов в измерительных камерах замерных станций вне зоны передового опорного давления от работающих лав носит преимущественно возрастающий характер. Такой характер изменения во времени давления

свободных газов в породах почвы вентиляционного штрека обусловлен, по-видимому, действием бокового опорного давления от соседних отработанных выемочных столбов или от отработанных столбов по 4-му сильвинитовому слою. В зоне передового опорного давления от лавы при отработке слоев 2, 2–3, 3 Третьего пласта давление свободных газов в измерительных камерах замерных станций возрастает почти в 2,5–3 раза, достигая величины 5,1 МПа и более. В завальной части лавы (в зоне разгрузки) за крепями сопряжения давление свободных газов в измерительных камерах снижается практически до нуля. На рис. 5 представлен график изменения давления свободных газов в измерительной камере замерной станции в зависимости от расстояния до очистного забоя лавы № 41–низ, отрабатывающей слои 2, 2–3, 3 Третьего пласта в условиях рудника 2 РУ.

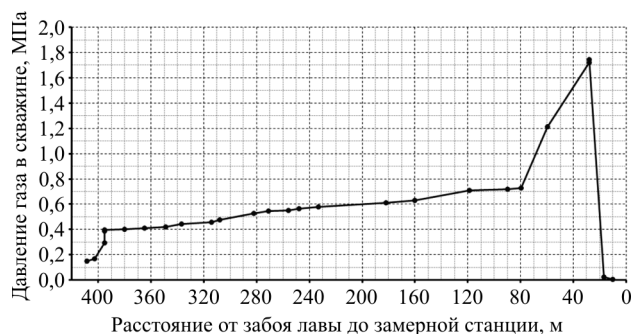


Рис. 5. График изменения давления свободных газов в измерительной камере замерной станции в зависимости от расстояния до очистного забоя лавы № 41–низ

Как видно из рис. 5, наблюдения начались при расстоянии от линии очистного забоя лавы до замерной станции 408,5 м. При этом давление в замерной камере составляло 0,15 МПа. Далее, по мере приближения забоя лавы к замерной станции, до расстояния 79,5 м наблюдался монотонный рост давления свободных газов в измерительной камере практически по линейной зависимости до величины 0,73 МПа. После этого на графике наблюдается резкий рост величины давления свободных газов в измерительной камере замерной станции до 1,22 МПа при расстоянии до линии очистного забоя лавы № 41–низ 59,5 м. Затем на графике при расстоянии до линии очистного забоя лавы № 41–низ 28,0 м наблюдается рост давления газа в измерительной камере замерной станции до максимальной величины 1,75 МПа. При расстоянии до линии очистного забоя лавы 17,0 м давление газа в измерительной камере резко

снизилось до 0,023 МПа. В завальной части лавы при расстоянии от забоя лавы 19,0 м в направлении выработанного пространства давление газа в измерительной камере упало до нуля.

Результаты анализа динамики изменения давления свободных газов в измерительной камере замерной станции в выемочном столбе лавы № 41–низ позволяют следующим образом интерпретировать данные. Рост давления свободных газов в измерительной камере замерной станции вне зоны передового опорного давления лавы № 41–низ обусловлен, по-видимому, фильтрацией газа в зону разгрузки породы почвы вентиляционного штрека лавы № 41–низ из зоны действия бокового опорного давления от лавы № 41–верх. По мере приближения к замерной станции очистного забоя лавы № 41–низ под действием передового опорного давления давление газа в измерительной камере замерной станции возрастало и достигло своего максимума, равного 1,75 МПа, при расстоянии до очистного забоя 28,0 м. Далее, при приближении очистного забоя лавы к замерной станции, в породах почвы градиент давления свободных газов в измерительной камере под действием передового опорного давления от лавы № 41–низ превысил градиент фильтрации в окружающих породах, что привело к фильтрации газа из измерительной камеры в окружающие породы, а избыточное давление в измерительной камере понизилось сначала до 0,023 МПа при расстоянии до очистного забоя 17,0 м, а затем и до нуля – в зоне разгрузки за крепью сопряжения лавы. Практически аналогичные закономерности динамики изменения давления свободных газов в измерительных камерах замерных станций в выемочных столбах лав, отрабатывающих слои 2, 2–3, 3 Третьего пласта, были установлены и на рудниках 3 РУ и 4 РУ. Некоторые отличия наблюдались в части величины максимального давления свободных газов в измерительной камере и расстояния в зоне опорного давления от максимума давления свободных газов до линии очистного забоя лавы.

Параметры профилактической дегазации для предотвращения газодинамических явлений из почвы горных выработок

Результаты шахтных экспериментальных исследований газоносности, газодинамических характеристик и динамики изменения давления свободных газов в породах почвы горных выработок при отработке слоев 2, 2–3, 3

Третьего пласта показали, что в породах почвы протекают активные стадии процессов сдвижения, деформирования массива и перераспределения горного давления. При этом создаются условия для увеличения локальной трещиноватости и образования расслоений надработанных пород почвы в результате сдвига и растяжения по глинистым прослойкам. В этой области породы почвы еще не имеют фильтрационных каналов, связывающих их с породами, где проявился эффект надработки, т.е. сохраняют при этом запас энергии сжатого газа. Росту давления газа в породах почвы горных выработок в этой области способствует опорное давление на породы почвы междувыработочных целиков. В таких горнотехнических условиях и при таком давлении свободных газов в породах почвы весьма вероятна динамическая форма разрушения в виде внезапных выбросов соли и газа или внезапных разрушений пород почвы, сопровождающихся газовыделениями.

Для предотвращения газодинамических явлений из почвы при отработке слоев 2, 2–3, 3 Третьего пласта разработаны с учетом различных вариантов применения столбовой системы разработки для условий рудников ОАО «Беларуськалий» следующие технологические схемы: профилактического бурения дегазационных скважин в почву монтажного (демонтажного) штрека и сопряжений монтажного (демонтажного) штрека с конвейерным, вентиляционным и другими штреками и выработками, расположенными в поле лавы; профилактического бурения дегазационных скважин в почву конвейерного или соседнего с ним штрека и вентиляционного штрека лавы по длине выемочного столба при валовой отработке слоев 2, 2–3, 3 Третьего пласта (с отработкой или без отработки 4-го сильвинитового слоя); профилактического бурения дегазационных скважин в почву конвейерного, вентиляционного и закладочного штреков и сопряжений при селективной выемке слоев 2, 2–3, 3 Третьего пласта (без отработки 4-го сильвинитового слоя) с закладкой разрушенной породы в выработанное пространство лав; профилактического бурения дегазационных скважин в почву конвейерного, вентиляционного и закладочного штреков и сопряжений при слоевой выемке Третьего пласта с селективной отработкой слоев 2, 2–3, 3 нижней лавой и закладкой разрушенной породы в выработанное пространство при раздельной подготовке слоевых лав; профилактического

бурения дегазационных скважин в почву конвейерного и вентиляционного штрэков и сопряжений при слоевой выемке Третьего калийного пласта лавами переменной вынимаемой мощности с полным обрушением кровли (выемка слоев 2, 2–3, 3 под надработкой, участок подъема лавы по почве со слоев 2, 2–3, 3 на 4-й сильвинитовый слой и выемка 4-го сильвинитового слоя). Так, на рис. 6 представлена схема профилактического бурения дегазационных скважин в почву монтажного (демонтажного) штрэка и сопряжений монтажного (демонтажного)

штрэка с конвейерным, вентиляционным и другими штрэками и выработками, расположенными в поле лавы. Как видно из рис. 6, для предотвращения газодинамических явлений из почвы при отходе лавы, отрабатывающей слои 2, 2–3, 3 Третьего калийного пласта, от монтажного штрэка должно производиться профилактическое бурение дегазационных скважин в почву монтажного штрэка и сопряжений монтажного штрэка с конвейерным, вентиляционным и другими штрэками и выработками, расположенными в поле лавы.

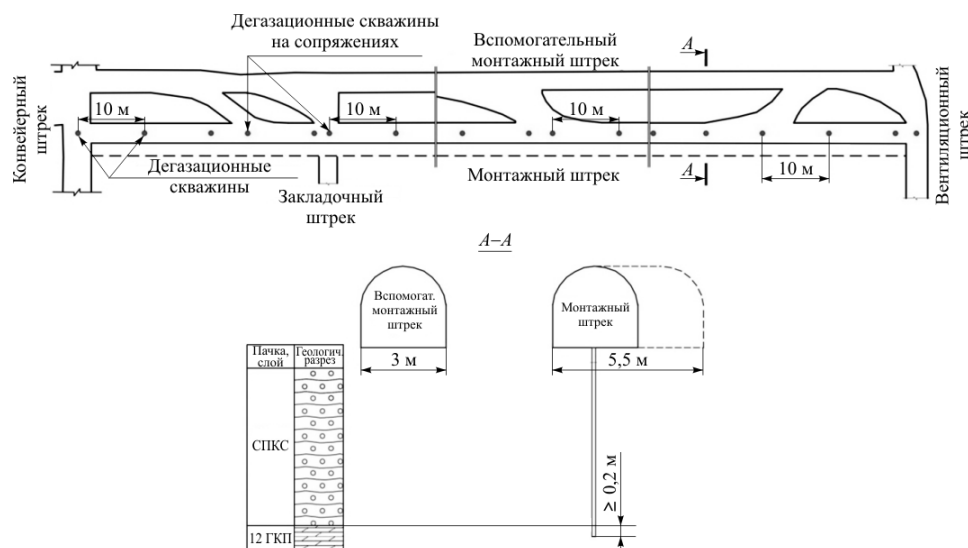


Рис. 6. Схема профилактического бурения дегазационных скважин в почву монтажного (демонтажного) штрэка и сопряжений монтажного (демонтажного) штрэка с конвейерным, вентиляционным и другими штрэками и выработками, расположенными в поле лавы

Дегазация пород почвы монтажного штрэка и сопряжений монтажного штрэка с конвейерным, вентиляционным и другими штрэками и выработками, расположенными в поле лавы, осуществляется до его расширения профилактическим бурением вертикальных дегазационных скважин в почву монтажного штрэка и сопряжений со следующими параметрами: диаметр дегазационных скважин не менее 40 мм; расстояние между дегазационными скважинами не более 10,0 м; глубина скважин должна обеспечивать перебуривание контакта СПКС – 12 ГКП не менее чем на 0,2 м. Бурение дегазационных скважин осуществляется по оси монтажного штрэка или с любой стороны от нее. В том случае, если бурение вертикальных дегазационных скважин в почву монтажного (демонтажного) штрэка лавы невозможно, допускается бурение наклонных дегазационных скважин в почву соседнего с ним вспомогательного штрэка (выработки).

При этом забой скважины должен вскрывать кровлю 12-й глинисто-карбонатной пачки на глубину не менее 0,2 м под почвой монтажного (демонтажного) штрэка.

Параметры профилактического дегазационного бурения скважин в почву подготовительных выработок разработаны для лав, отрабатывающих слои 2, 2–3, 3 Третьего калийного пласта в различных геологических и горнотехнических условиях. Внедрение схем профилактического бурения дегазационных скважин в почву подготовительных выработок лав, отрабатывающих слои 2, 2–3, 3 Третьего калийного пласта, позволяет повысить безопасность ведения горных работ на рудниках ОАО «Беларуськалий».

Заключение

Результаты шахтных экспериментальных исследований газоносности, газодинамических характеристик и динамики изменения давления свободных газов в породах почвы горных

выработок при отработке слоев 2, 2–3, 3 Третьего пласта позволили установить закономерности в породах почвы процессов перераспределения давления свободных газов. Установлено, что в породах почвы горных выработок создаются условия для увеличения локальной трещиноватости и образования расслоений надроботанных пород почвы в результате сдвига и растяжения по глинистым прослойкам. В породах почвы сохраняется запас энергии сжатого газа. Росту давления газа в породах почвы горных выработок в таких областях способствует боковое и передовое опорное давление, что в конечном итоге приводит к динамической форме разрушения в виде внезапных выбросов соли и газа или внезапных разрушений пород почвы, сопровождающихся газовыделениями. Для

предотвращения динамических форм разрушения пород почвы горных выработок в виде внезапных выбросов соли и газа или внезапных разрушений пород почвы, сопровождающихся газовыделениями, при отработке слоев 2, 2–3, 3 Третьего пласта необходимо применять профилактическую дегазацию пород почвы монтажных, бортовых и закладочных штреков, расположенных в поле лав, а также сопряжений штреков, расположенных в поле лав с другими штреками и выработками различного назначения со следующими параметрами: диаметр дегазационных скважин не менее 40 мм; расстояние между дегазационными скважинами не более 10,0 м; глубина скважин должна обеспечивать перебуривание контакта СПКС – 12 ГКП не менее чем на 0,2 м.

Библиографический список

1. Журавков М.А., Невельсон И.С., Андрейко С.С. Актуальные научные и инженерно-технические задачи геомеханики блочно-слоистых массивов месторождений соляных пород Беларуси // Маркшейдерский вестник. – 1996. – № 3. – С. 17–25.
2. Журавков М.А. Динамические срывы по структурным нарушениям в условиях блочно-слоистого массива горных пород. Проблемы, гипотезы, модели // Материалы, технологии, инструмент. – 1997. – № 2. – С. 76–87.
3. Журавков М.А., Андрейко С.С. Основные концепции системы регионального мониторинга для районов ведения крупномасштабных горных работ // Известия вузов. Горный журнал. – 1997. – № 9–10. – С. 24–31.
4. Андрейко С.С., Блюм М.Ф., Земсков А.Н. Проблемы безопасности горных работ на рудниках ПО «Беларуськалий» в условиях газовыделений и газодинамических явлений // Горный журнал. – 1998. – № 11–12. – С. 88–92.
5. Калугин П.А., Андрейко С.С. Исследование механизма образования источников свободного газа очагов газодинамических явлений в калийных рудниках Старобинского месторождения // Горная механика. – 2000. – № 1–2. – С. 21–29.
6. Чужов В.Н., Андрейко С.С. Газодинамические явления из почвы горных выработок в калийных рудниках // Горная механика. – 2001. – № 1–2. – С. 26–30.
7. Прушак В.Я., Щерба В.Я., Андрейко С.С. Анализ геологических условий возникновения газодинамических явлений на Старобинском месторождении калийных солей // Горная механика и машиностроение. – 2002. – № 1. – С. 89–94.
8. Механизм образования свободного газа в очагах газодинамических явлений калийных рудников / В.Я. Щерба, А.А. Тухто, С.С. Андрейко, В.С. Зубович // Горный журнал. – 2004. – № 3. – С. 64–67.
9. Андрейко С.С. Статистические критерии и результаты оценки закономерностей распределения газодинамических явлений на калийных месторождениях // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2003. – № 4. – С. 45–56.
10. Андрейко С.С., Чистяков А.Н., Береснев С.П. Состояние и перспективы решения проблемы газодинамических явлений в калийных рудниках на Верхнекамском и Старобинском месторождениях калийных солей // Горная механика. – 2006. – № 2. – С. 66–72.
11. Геомеханическое моделирование внезапных разрушений пород почвы горных выработок / И.А. Подлесный, С.П. Береснев, С.С. Андрейко, С.В. Некрасов, Н.А. Литвиновская // Горный журнал. – 2010. – № 8. – С. 28–30.
12. Исследования газоносности пород пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения / В.А. Тараканов, И.И. Головатый, С.П. Береснев, С.С. Андрейко, О.В. Иванов // Горный журнал. – 2010. – № 8. – С. 25–27.
13. Определение критической величины газового давления, способного вызвать газодинамические явления при разработке силвинитового пласта / С.С. Андрейко, Т.А. Лялина, О.В. Иванов, Е.А. Нестеров // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 5. – С. 22–28.
14. Исследование механизма формирования опасных по газодинамическим явлениям зон в породах калийного горизонта / С.П. Береснев, В.В. Сенюк, В.И. Гончар, С.С. Андрейко, Н.А. Литвиновская // Горный журнал. – 2010. – № 8. – С. 31–33.
15. 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. – Т. 3, № 4. – С. 34–37.
16. Андрейко С.С., Петровский Б.И., Андрейко Л.В. Методы прогноза и способы предотвращения газодинамических явлений из почвы горных выработок в рудниках ПО «Беларуськалий» // Горная механика. – 1998. – № 1. – С. 29–35.

17. Щерба В.Я., Тухто А.А., Андрейко С.С. Региональные способы управления выбросоопасностью в зонах расположения мульд и комбинированных геологических нарушений // Горная механика. – 2002. – № 1. – С. 89–94.
18. Предотвращение газодинамических явлений в почве выработанного пространства лав / В.Я. Щерба, С.С. Андрейко, С.В. Некрасов, В.Я. Прушак, В.С. Зубович // Горный журнал. – 2004. – № 2. – С. 45–48.
19. Щерба В.Я., Тухто А.А., Андрейко С.С. Региональные способы управления выбросоопасностью в зонах расположения мульд и комбинированных геологических нарушений // Горная механика. – 2002. – № 1. – С. 89–94.
20. Мальцев В.М., Андрейко С.С., Береснев С.П. Расчет параметров цилиндрического вруба для инициирования выброса соли и газа с учетом величины коэффициента разрыхления взрываеваемой породы // Горная механика. – 2006. – № 3. – С. 56–59.
21. Параметры буровзрывного инициирования выбросов соли и газа при пересечении выбросоопасных геологических нарушений / О.И. Марков, С.П. Береснев, Ю.Б. Петровский, В.М. Мальцев // Горный журнал. – 2010. – № 8. – С. 75–77.
22. Трубецкой К.Н., Иофис М.А., Есина Е.Н. Особенности геомеханического обеспечения освоения месторождений, склонных к газодинамическим явлениям // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 3. – С. 64–71.
23. Obert L. In situ determination of stress in rock // Mining Engineer. – 1964. – № 3 (August). – P. 51–58.
24. Eckart D. Beitrag zur bekämpfung plotzlicher AUSBRUCHE von salz und gas // Bergakademie. – 1965. – № 17. – S. 759–760.
25. Dreyer W. Planung und inbetriebnahme der nordamerikanischen kaligrube cane greek der texas gulf sulphur im staate Utah // Bergbauwiss. – 1969. – Vol. 16, № 12. – S. 441–446.
26. Meriaux M., Gannat E. Connaissances actuelles sur la potasse en France // An. Mines. – 1980. – № 7–8. – P. 167–176.
27. Anon K. Potash mining in the Werra District // Phos. & Potas. – 1973. – № 64 (Mar./Apr.). – P. 37–40.
28. Duchrow G. The production of potash in East Germany // Glueckauf. – 1990. – Vol. 126, № 21/22. – P. 1016–1033.
29. Duchrow G. Der 100-jährige “Rhönmarsch” in die Kohlensäurefelder des Südthüringischen Kalibergbaus // Zeitschrift für Kunst und Kultur im Bergbau. – 1997. – № 49(4). – S. 123–147.
30. Cruickshank N.M., Mahtab M.A., Wane M.T. Methods for predicting gas outburst in salt and coal mines // Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. – 1986. – Vol. 280, iss. part A. – P. 2079–2084.
31. Kupfer D.H. Shear zones inside gulf coast salt stocks help to delineate spines of movement // AAPG Bulletin (American Association of Petroleum Geologists). – 1976. – Bull. 60. – P. 1434–1447.
32. Kupfer D.H. Anomalous features in five island salt stocks, Louisiana // Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions. – 1990. – Vol. 40. – P. 425–437.
33. Kokorsch R. Die technische Entwicklung in den Bergwerksbetrieben der Kali und Salz AG // Kali und Steinsalz. – 1991. – Band 10, Heft 11. – S. 352–358.
34. Siemann M.G., Ellendorff B. The composition of gases in fluid inclusions of late Permian (Zechstein) marine evaporites in Northern Germany // Chemical Geology. – 2001. – Vol. 173. – P. 31–44. DOI: 10.1016/S0009-2541(00)00266-7
35. Potter, J., Siemann M.G., Tsypukov M. Large-scale carbon isotope fractionation in evaporites and the generation of extremely ¹³C-enriched methane // Geology. – 2004. – Vol. 32. – P. 533–536. DOI: 10.1130/G20323.1
36. Hedlund F.H. The extreme carbon dioxide outburst at the Menzengraben potash mine, 7 July 1953 // Safety Science. – 2012. – Vol. 50. – P. 537–553. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.10.004
37. Zapp J., Lindloff U. Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit des Werkes Werra: Projekt zur Gewinnung und Verarbeitung von Sylvinit // Kali und Steinsalz. – 2003. – Heft 1. – S. 34–41.
38. Siemann M.G. Herkunft und Migration mineralgebundener Gase der Zechstein 2 Schichten in Zielits // Kali und Steinsalz. – 2007. – Heft 3. – S. 26–41.
39. Литвиновская Н.А. Газоносность и газодинамические характеристики пород почвы при слоевой выемке Третьего калийного пласта в условиях рудников ОАО «Беларуськалий» // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. / Горн. ин-т УрО РАН. – Пермь, 2016. – Вып. 14. – С. 255–258.

References

1. Zhuravkov M.A., Nevel'son I.S., Andreiko S.S. Aktual'nye nauchnye i inzhenerno-tekhnicheskie zadachi geomekhaniki blochno-sloistyx massivov mestorozhdenii solianyykh porod Belarusi [Current scientific and engineering problems of geomechanics of block-layered massifs of salt deposits of Belarus]. *Marksheiderskii vestnik*, 1996, no.3, pp.17-25.
2. Zhuravkov M.A. Dinamicheskie sryvy po strukturnym narusheniim v usloviakh blochno-sloistogo massiva gornyykh porod. Problemy, gipotezy, modeli [Dynamic disruptions in structural disturbances in conditions of a block-layered rock massif. Problems, hypotheses, models] *Materialy, tekhnologii, instrument*, 1997, no.2, pp.76-87.
3. Zhuravkov M.A., Andreiko S.S. Osnovnye kontseptsii sistemy regional'nogo monitoringa dlia raionov vedeniia krupnomasshtabnykh gornyykh rabot [Basic concepts of the regional monitoring system for large-scale mining areas]. *Izvestiia vuzov. Gornyy zhurnal*, 1997, no.9-10, pp.24-31.
4. Andreiko S.S., Blium M.F., Zemskov A.N. Problemy bezopasnosti gornyykh rabot na rudnikakh PO “Belarus'kali” v usloviakh gazovydelenii i gazodinamicheskikh iavlenii [Problems of safety of mining operations at the mines of PA “Belaruskali” in conditions of gas evolution and gas dynamic phenomena]. *Gornyy zhurnal*, 1998, no.11-12, pp.88-92.

5. Kalugin P.A., Andreiko S.S. Issledovanie mekhanizma obrazovaniia istochnikov svobodnogo gaza ochagov gazodinamicheskikh iavlenii v kaliinykh rudnikakh Starobinskogo mestorozhdeniia [Investigation of the mechanism of formation of free gas sources of the foci of gas dynamic phenomena in the potash mines of the Starobinsky deposit]. *Gornaia mekhanika*, 2000, no.1-2, pp. 21-29.
6. Chuzhov V.N., Andreiko S.S. Gazodinamicheskie iavleniia iz pochvy gornykh vyrabotok v kaliinykh rudnikakh [Gas-dynamic phenomena from the soil of mine workings in potash mines]. *Gornaia mekhanika*, 2001, no.1-2, pp.26-30.
7. Prushak V.Ia., Shcherba V.Ia., Andreiko S.S. Analiz geologicheskikh uslovii vozniknoveniia gazodinamicheskikh iavlenii na Starobinskom mestorozhdenii kaliinykh solei [Analysis of the geological conditions of occurrence of gas-dynamic phenomena at the Starobinsky deposit of potassium salts]. *Gornaia mekhanika i mashinostroyeniye*, 2002, no.1, pp.89-94.
8. Shcherba V.Ia., Tukhto A.A., Andreiko S.S., Zubovich V.S. Mekhanizm obrazovaniia svobodnogo gaza v ochagakh gazodinamicheskikh iavlenii kaliinykh rudnikov [Mechanism of formation of free gas in the foci of gas-dynamic phenomena of potash mines]. *Gornyi zhurnal*, 2004, no.3, pp.64-67.
9. Andreiko S.S. Statisticheskie kriterii i rezul'taty otsenki zakonornosti raspredeleniia gazodinamicheskikh iavlenii na kaliinykh mestorozhdeniakh [Statistical criteria and results of estimating the regularities of distribution of gas-dynamic phenomena in potash deposits]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2003, no.4, pp.45-56.
10. Andreiko S.S., Chistiakov A.N., Beresnev S.P. Sostoianie i perspektivy resheniia problemy gazodinamicheskikh iavlenii v kaliinykh rudnikakh na Verkhnekamskom i Starobinskom mestorozhdeniakh kaliinykh solei [State and prospects for the solution of the problem of gas dynamic phenomena in potash mines at the Verkhnekamsk and Starobinsky deposits of potash salts]. *Gornaia mekhanika*, 2006, no.2, pp.66-72.
11. Podlesnyi I.A., Beresnev S.P., Andreiko S.S., Nekrasov S.V., Litvinovskaia N.A. Geomekhanicheskoe modelirovaniye vnezapnykh razrushenii porod pochvy gornykh vyrabotok [Geomechanical modeling of sudden destruction of soil rocks of mine workings]. *Gornyi zhurnal*, 2010, no.8, pp.28-30.
12. Tarakanov V.A., Golovaty I.I., Beresnev S.P., Andreiko S.S., Ivanov O.V. Issledovaniia gazonosnosti porod plasta Tret'ego kaliinogo gorizonta Starobinskogo mestorozhdeniia [Studies of the gas content of the rocks of the third potash horizon of the Starobinsky deposit]. *Gornyi zhurnal*, 2010, no.8, pp.25-27.
13. Andreiko S.S., Lialina T.A., Ivanov O.V., Nesterov E.A. Opredeleniye kriticheskoi velichiny gazovogo davleniia, sposobnogo vyzvat' gazodinamicheskie iavleniia pri razrabotke sil'vinitovogo plasta [Determination of the critical value of the gas pressure, which can cause gas dynamic phenomena in the development of the sylvinite layer]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, 2013, no.5, pp.22-28.
14. Beresnev S.P., Seniuk V.V., Gonchar V.I., Andreiko S.S., Litvinovskaia N.A. Issledovanie mekhanizma formirovaniia opasnykh po gazodinamicheskim iavleniim zon v porodakh kaliinogo gorizonta [Investigation of the mechanism of formation of zones dangerous in gas-dynamic phenomena in rocks of the potassium horizon]. *Gornyi zhurnal*, 2010, no.8, pp.31-33.
15. Andreiko S.S., Ivanov O.V., Nesterov E.A. Bor'ba s gazodinamicheskimi iavleniiami pri razrabotke Verkhnekamskogo i Starobinskogo mestorozhdenii kaliinykh solei [Combating gas-dynamic phenomena in the development of the Verkhnekamsk and Starobinsky deposits of potash salts]. *Nauchnye issledovaniia i innovatsii*, 2009, vol.3, no.4, pp.34-37.
16. Andreiko S.S., Petrovskii B.I., Andreiko L.V. Metody prognoza i sposoby predotvrashcheniia gazodinamicheskikh iavlenii iz pochvy gornykh vyrabotok v rudnikakh PO "Belarus'kali" [Methods of forecasting and ways to prevent gas-dynamic phenomena from the soil of mine workings in the mines of PO "Belarus'kali"]. *Gornaia mekhanika*, 1998, no.1, pp.29-35.
17. Shcherba V.Ia., Tukhto A.A., Andreiko S.S. Regional'nye sposoby upravleniia vybrosoopasnost'iu v zonakh raspolozheniia mul'd i kombinirovannykh geologicheskikh narushenii [Regional methods of managing the emissions in the tundra zones and combined geological disturbances]. *Gornaia mekhanika*, 2002, no.1, pp.89-94.
18. Shcherba V.Ia., Andreiko S.S., Nekrasov S.V., Prushak V.Ia., Zubovich V.S. Predotvrashcheniye gazodinamicheskikh iavlenii v pochve vyrabotannogo prostranstva lav [Prevention of gas-dynamic phenomena in the soil of the developed space of lavas]. *Gornyi zhurnal*, 2004, no.2, pp.45-48.
19. Shcherba V.Ia., Tukhto A.A., Andreiko S.S. Regional'nye sposoby upravleniia vybrosoopasnost'iu v zonakh raspolozheniia mul'd i kombinirovannykh geologicheskikh narushenii [Regional methods of managing the emissions in the tundra zones and combined geological disturbances]. *Gornaia mekhanika*, 2002, no.1, pp.89-94.
20. Mal'tsev V.M., Andreiko S.S., Beresnev S.P. Raschet parametrov tsilindricheskogo vruba dlia initsirovaniia vybrosov soli i gaza s uchetom velichiny koeffitsienta razrykhleniia vzryvaemoi porody [Calculation of the parameters of the cylindrical cut for initiating the release of salt and gas, taking into account the value of the coefficient of loosening of the explosive rock]. *Gornaia mekhanika*, 2006, no.3, pp.56-59.
21. Markov O.I., Beresnev S.P., Petrovskii Iu.B., Mal'tsev V.M. Parametry burovzryvnogo initsirovaniia vybrosov soli i gaza pri peresechenii vybrosoopasnykh geologicheskikh narushenii [Parameters of drilling and explosive initiation of salt and gas emissions at the intersection of outburst-dangerous geological disturbances]. *Gornyi zhurnal*, 2010, no.8, pp.75-77.
22. Trubetskoi K.N., Iofis M.A., Esina E.N. Osobennosti geomekhanicheskogo obespecheniia

osvoeniia mestorozhdenii, sklonnykh k gazodinamicheskim iavleniiam [Features of geomechanical support for the development of deposits prone to gas dynamic phenomena]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2015, no.3, pp.64-71.

23. Obert L. In situ determination of stress in rock. *Mining Engineer*, 1964, no.3, pp.51-58.

24. Eckart D. Beitrag zur bekämpfung plotzlicher AUSBRUCHE von salz und gas. *Bergakademie*, 1965, no.17, pp.759-760.

25. Dreyer W. Planung und inbetriebnahme der nordamerikanischen kaligrube cane greek der texas gulf sulphur im staate Utah. *Bergbauwiss*, 1969, vol.16, no.12, pp.441-446.

26. Meriaux M., Gannat E. Connaissances actuelles sur la potasse en France. *An. Mines*, 1980, no.7-8, pp.167-176.

27. Anon K. Potash mining in the Werra District. *Phos. & Potas*, 1973, no.64 (Mar./Apr.), pp.37-40.

28. Duchrow G. The production of potash in East Germany. *Glueckauf*, 1990, vol.126, no.21/22, pp.1016-1033.

29. Duchrow G. Der 100-jährige «Rhönmarsch» in die kohlsäurefelder des südthüringischen kalibergbaus. *Zeitschrift für Kunst und Kultur im Bergbau*, 1997, no.49(4), pp.123-147.

30. Cruickshank N.M., Mahtab M.A., Wane M.T. Methods for predicting gas outburst in salt and coal mines. *Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers*, 1986, vol.280, iss. pt A, pp.2079-2084.

31. Kupfer D.H. Shear zones inside gulf coast salt stocks help to delineate spines of movement. *AAPG Bulletin (American Association of Petroleum Geologists)*, 1976, bull.60, pp.1434-1447.

32. Kupfer D.H. Anomalous features in five island salt stocks, Louisiana. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, 1990, vol. 40, pp.425-437.

33. Kokorsch R. Die technische entwicklung in den bergwerksbetrieben der kali und salz AG. *Kali und Steinsalz*, 1991, band 10, heft 11, pp.352-358.

34. Siemann M.G., Ellendorff B. The composition of gases in fluid inclusions of late Permian (Zechstein) marine evaporites in Northern Germany. *Chemical Geology*, 2001, vol.173, pp.31-44. DOI: 10.1016/S0009-2541(00)00266-7

35. Potter, J., Siemann M.G., Tsypukov M. Large-scale carbon isotope fractionation in evaporites and the generation of extremely ¹³C-enriched methane. *Geology*, 2004, vol.32, pp.533-536. DOI: 10.1130/G20323.1

36. Hedlund F.H. The extreme carbon dioxide outburst at the Menzengraben potash mine, 7 July 1953. *Safety Science*, 2012, vol.50, pp.537-553. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.10.004

37. Zapp J., Lindloff U. Verbesserung der konkurrenzfähigkeit des werkes werra: projekt zur gewinnung und verarbeitung von sylvinit. *Kali und Steinsalz*, 2003, heft 1, pp.34-41.

38. Siemann M.G. Herkunft und Migration mineralgebundener gase der zechstein 2 schichten in zielits. *Kali und Steinsalz*, 2007, heft 3, pp.26-41.

39. Litvinovskaia N.A. Gazonosnost' i gazodinamicheskie kharakteristiki porod pochvy pri sloevoi vyemke Tret'ego kaliinogo plasta v usloviakh rudnikov OAO «Belarus'kali» [Gas-bearing and gas-dynamic characteristics of the soil rocks with the layered excavation of the Third potash stratum in the conditions of the "Belaruskali" mines]. *Strategiia i protsessy osvoeniia georesursov: sbornik nauchnykh trudov. Perm' Gornyi institut Ural'skogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk*, 2016, iss.14, pp.255-258.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Параметры профилактической дегазации пород почвы горных выработок при слоевой отработке Третьего калийного пласта в рудниках ОАО «Беларуськалий» / С.С. Андрейко, Е.В. Лукьянец, Н.А. Литвиновская, Е.А. Нестеров, Д.А. Бобров, А.Л. Поляков, Е.А. Лутович // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т.16, №3. – С.280–290. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.3.9

Please cite this article in English as:

Andreyko S.S., Lukyanets E.V., Litvinovskaya N.A., Nesterov E.A., Bobrov D.A., Polyakov A.L., Lutovich E.A. Parameters of preventive gas removal from mine bedrocks during the layer mining of the Third potash formation at mines of Belaruskali JSC. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2017, vol.16, no.3, pp. 280-290. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.3.9