

УДК 622.831.332

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ИЗ ПОЧВЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА РУДНИКАХ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»



С. С. АНДРЕЙКО,
зав. лабораторией,
проф.,
д-р техн. наук,
ssa@mi-perm.ru



Н. А. ЛИТВИНОВСКАЯ,
научный сотрудник,
канд. техн. наук

Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия



Ю. Г. СИРЕНКО,
зам. проректора
по образовательной
деятельности
и воспитательной
работе,
канд. техн. наук



А. Б. ЧЯНОВ,
директор
Первого РУ

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

ОАО «Беларуськалий», Солигорск, Беларусь

Приведены результаты исследований возникновения газодинамических явлений из почвы горных выработок при слоевой отработке Третьего калийного пласта на рудниках ОАО «Беларуськалий». С учетом установленных закономерностей формирования очагов газодинамических явлений в породах почвы горных выработок разработаны способы и параметры профилактического дегазационного бурения скважин в почву подготовительных выработок.

Ключевые слова: калийный рудник, газодинамические явления, способы предотвращения, горная выработка, почва, Третий калийный пласт, слоевая отработка, газоносность, давление газа, профилактическая дегазация.

DOI: 10.17580/gzh.2018.08.02

Введение

В настоящее время на рудниках ОАО «Беларуськалий» в основном решены вопросы, связанные 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 [1–4]. Созданы эффективные методы прогнозирования и способы предотвращения известных видов газодинамических явлений. Однако практика ведения горных работ на Третьем калийном пласте в условиях рудников ОАО «Беларуськалий» 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 в выемочном столбе лавы № 41-низ на сопряжении буровой полосы с выработанным пространством.

В связи с фактами ГДЯ из почвы появилась настоятельная необходимость исследования механизма возникновения газоди-

намических явлений из почвы горных выработок и разработок 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 способы борьбы с ними [5–12].

Методика проведения шахтных экспериментальных исследований

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 – по 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 проводили в подготовительных выработках лав, как правило, в конвейерных, транспортных, вентиляционных и закладочных штреках. Скважины бурили поинтервалы и сразу герметизировали на расстоянии

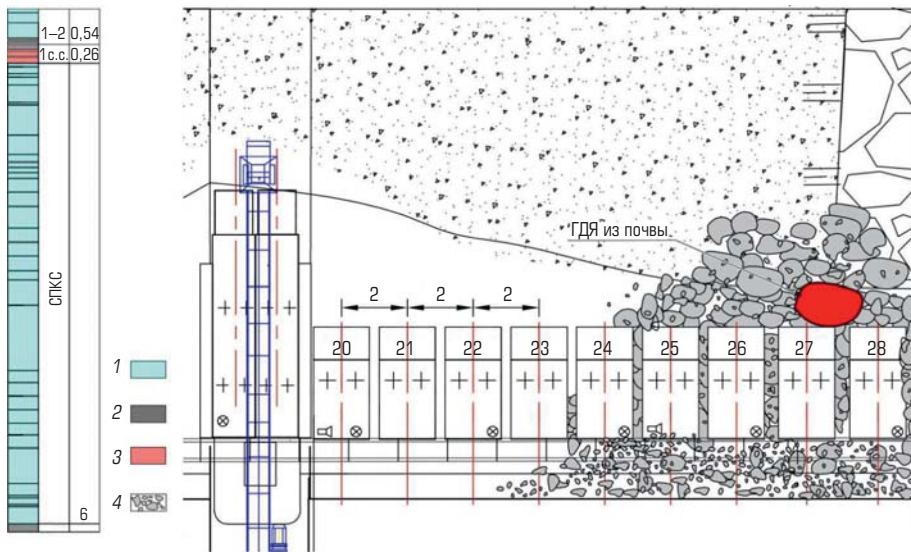


Рис. 1. Внезапный выброс соли и газа в выемочном столбе лавы № 41-низ на сопряжении бутовой полосы с выработанным пространством (28-я западная панель, рудник Второго РУ):
 1 – каменная соль; 2 – глина;
 3 – сильвинит; 4 – выброшенная порода

0,5 м от забоя скважины с помощью герметизатора. Газ, выделяющийся из стенок и забоя загерметизированной части скважины, поступал в газоотводящий штуцер, к которому подключали прецизионный портативный цифровой манометр DPI-740. Диапазоны измерений манометра DPI-740 следующие: атмосферного давления – от 75 до 115 кПа; абсолютного давления – от 3,5 до 130, 260, 350 кПа; предельно допустимое давление – 400 кПа. С помощью манометра DPI-740 определяли начальную скорость газовыделения в скважине по давлению, создаваемому газом, проходящим через откалиброванное отверстие капилляра, а также рассчитывали 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, m^3/m^3 ; P_r – величина начального газового давления, определяют показатели газоносности [13].

Давление газа в породах почвы горных выработок рассчитывали по известной формуле Л. С. Лейбензона. Давление свободного газа в породах почвы вычисляли для каждого интервала по длине скважины. Прибором DPI-740 измеряли скорость истечения газов из исследовательских скважин, секундомером фиксировали время изменения скорости. Полученный объем выделившегося из скважин газов соотносится с объемом зоны дренирования вокруг скважины. Для определения компонентного состава выделяющегося газа параллельно выполняли отбор проб свободного газа. Исследования динамики изменения во времени давления свободных газов в породах почвы подготовительных выработок проводили в выемочных столбах лав, отрабатывающих I, II-III, III слои Третьего калийного пласта на рудниках Второго, Третьего и Четвертого рудоуправлений ОАО «Беларуськалий». Методика шахтных экспериментальных исследований предусматривала бурение специальных исследовательских скважин в породы почвы подготовительных выработок лавы с последующим оборудованием замерных станций (пакеров). Кроме собственно бурения вертикальных скважин в почву горных выработок, в процессе бурения устанавливали точное местоположение контакта «слой под-

стилающей каменной соли (СПКС)– 12-я глинисто-карбонатная пачка (12-я 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 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 мес. Для замера давления свободных газов в измерительных камерах станций применяли цифровой манометр Crystal XP2i, который предназначен для измерения абсолютного, отрицательного и положительного избыточного давления.

Результаты шахтных экспериментальных исследований

В результате экспериментальных исследований в условиях рудников Второго, Третьего и Четвертого рудоуправлений было установлено, что по геологическому разрезу слоя пород подстилающей каменной соли, 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-я ГКП) мощностью примерно 0,4–0,5 м; пачка (пакет) глинисто-соляных прослоек, залегающая в центральной части СПКС на расстоянии примерно 4 м от почвы I сильвинитового слоя Третьего калийного пласта общей мощностью примерно 0,4 м; контакт СПКС с 12-й ГКП. Свободные газы в СПКС представлены приконтактными скоплениями, которые формируются в подавляющем большинстве в процессе надработки I, II-III, III слоев Третьего калийного пласта лавами при отработке IV 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 образуются в породах СПКС на сопряжениях бортовых штреков лав, обрабатывающих I, II-III, III слои Третьего калийного 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, обрабатывающей I, II-III, III слои Третьего калийного 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 [14]. Значительное увеличение газоносности, давления свободных газов и начальной скорости газовой выделенности (вплоть до суффлярного 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 с подготовительными выработками различного назначения [15, 16].

В процессе экспериментальных исследований динамики изменения во времени давления свободных газов в породах почвы подготовительных выработок при отработке I, II-III, III слоев Третьего калийного пласта установлено, что динамика изменения во времени давления свободных газов в измерительных камерах замерных станций вне зоны передового опорного 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 IV силъвинитовому слою. В зоне передового опорного давления от лавы при отработке I, II-III, III слоев 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.

Способы 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 I, II-III, III слоев Третьего калийного пласта показали, что в породах почвы протекают активные стадии процессов сдвигения, 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

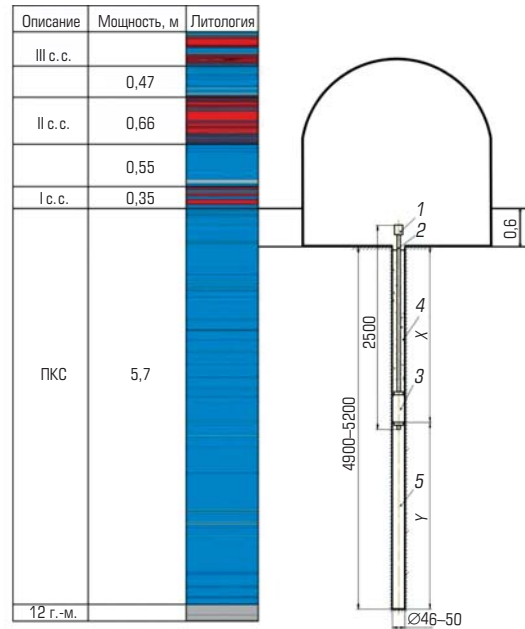


Рис. 2. Геологическое строение пород почвы горных выработок и конструкция измерительных станций:

- 1 – штек (обратный клапан); 2 – труба; 3 – герметизатор;
- 4 – цементный стакан; 5 – измерительная камера

от целиков между выработками. В данных горнотехнических условиях и при таком давлении свободных газов в породах почвы весьма вероятно динамическая форма разрушения в виде внезапных выбросов соли и газа или внезапных разрушений пород почвы, сопровождающихся газовой выделенностью.

Для предотвращения газодинамических явлений из почвы при отработке I, II-III, III слоев Третьего калийного 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 I, II-III, III слоев Третьего калийного пласта (с отработкой или без отработки IV силъвинитового слоя); профилактического бурения дегазационных скважин в почву конвейерного, вентиляционного и закладочного штреков и сопряжений при селективной выемке I, II-III, III слоев Третьего калийного пласта (без отработки IV силъвинитового слоя) с размещением разрушенной породы в выработанном пространстве лав; профилактического бурения дегазационных скважин в почву конвейерного, вентиляционного и закладочного штреков и сопряжений при слоевой выемке Третьего пласта с селективной отработкой I, II-III, III слоев нижней лавы и размещением разрушенной породы в

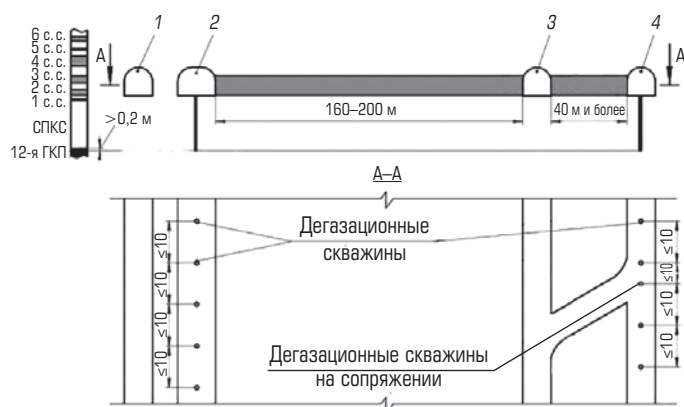


Рис. 3. Схема профилактического бурения дегазационных скважин в почву конвейерного, вентиляционного и закладочного штреков и сопряжений при селективной выемке II, II-III, III слоев Третьего калийного пласта (без отработки IV сильвинитового слоя) с размещением разрушенной породы в выработанном пространстве лав:

1, 2 – транспортный и конвейерный штреки;
3, 4 – закладочный и вентиляционный штреки

выработанном пространстве при раздельной подготовке слоевых лав; профилактического бурения дегазационных скважин в почву конвейерного и вентиляционного штреков и сопряжений при слоевой выемке Третьего калийного пласта лавами переменной вынимаемой мощности с полным обрушением кровли (выемка II, II-III, III слоев под надрabоткой, участок подъема лавы по почве с I, II-III, III слоев на IV сильвинитовый слой и выемка IV сильвинитового слоя). Так, на **рис. 3** представлена технологическая схема реализации способа предотвращения газодинамических явлений из почвы при селективной выемке I, II-III, III слоев Третьего пласта (без отработки IV сильвинитового слоя) с размещением разрушенной породы в выработанном пространстве лав. Как следует из рис. 3, для предотвращения газодинамических явлений из почвы следует выполнять профилактическое бурение дегазационных скважин в почву конвейерного и вентиляционного штреков лавы по длине выемочного столба, а также сопряжений конвейерного и вентиляционного штреков лавы с технологическими выработками, нишами и др. Дегазация пород почвы вышеуказанных выработок осуществляется профилактическим бурением вертикальных дегазационных скважин в почву конвейерного, вентиля-

ционного штреков и их сопряжений со следующими параметрами: диаметр дегазационных скважин – не менее 40 мм; расстояние между дегазационными скважинами – не более 10 м; глубина скважин должна обеспечивать перебуривание контакта «СПКС–12-я ГКП» не менее чем на 0,2 м.


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

Заключение

На основании результатов экспериментальных исследований газоносности, газодинамических характеристик и динамики изменения давления свободных газов в породах почвы горных выработок при отработке I, II-III, III слоев Третьего пласта установлены закономерности перераспределения давления свободных газов. При ведении горных работ в породах почвы выработок создаются условия для увеличения локальной трещиноватости и образования расслоений надрabотанных пород почвы в результате сдвига и растяжения по глинистым прослойкам. При этом в породах почвы сохраняется запас энергии сжатого свободного 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 газовойделениями. Для предотвращения динамических форм разрушения пород почвы горных выработок в виде внезапных выбросов соли и газа или внезапных разрушений пород почвы, сопровождающихся газовойделениями, при отработке вышеупомянутых слоев 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 м; глубина скважин должна обеспечивать перебуривание контакта «СПКС–12-я ГКП» не менее чем на 0,2 м.

Библиографический список

1. Проскураков Н. М. Внезапные выбросы породы и газа в калийных рудниках. – М.: Недра, 1980. – 264 с.
2. Проскураков Н. М., Ковалев О. В., Мещеряков В. В. Управление газодинамическими процессами в пластах калийных руд. – М.: Недра, 1988. – 239 с.
3. Ковалев О. В., Ливенский В. С., Былинно Л. В. Особенности безопасной разработки калийных месторождений. – Минск: Польша, 1982. – 96 с.
4. Лаптев Б. В. Предотвращение газодинамических явлений в калийных рудниках. – М.: Недра, 1994. – 138 с.

5. Андрейко С. С., Иванов О. В., Литвиновская Н. А. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений из почвы при проходке подготовительных выработок в подработанном массиве соляных пород. – Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2015. – 159 с.
6. Подлесный И. А., Берснев С. П., Андрейко С. С., Некрасов С. В., Литвиновская Н. А. Геомеханическое моделирование внезапных разрушений пород почвы горных выработок // Горный журнал. 2010. № 8. С. 28–30.
7. 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.
8. Li Z., Wang E., Ou J., Liu Z. Hazard evaluation of coal and gas outbursts in a coal-mine roadway based on logistic regression model // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2015. Vol. 80. P. 185–195.
9. Keshavarz A., Sakurovs R., Grigore M., Sayyafzadeh M. Effect of maceral composition and coal rank on gas diffusion in Australian coals // International Journal of Coal Geology. 2017. Vol. 173. P. 65–75.
10. Zheng C., Chen Z., Kizil M., Aminossadati S., Zou Q., Gao P. Characterisation of mechanics and flow fields around in-seam methane gas drainage borehole for preventing ventilation air leakage: A case study // International Journal of Coal Geology. 2016. Vol. 162. P. 123–138.
11. Quanlong L., Xinchun L. Effective stability control research of evolutionary game in China's coal mine safety supervision // Journal of Beijing University of Technology. 2015. Vol. 17(4). P. 49–56.
12. Hedlund F. H. The extreme carbon dioxide outburst at the Menzengraben potash mine 7 July 1953 // Safety Science. 2012. Vol. 50. Iss. 3. P. 537–553.
13. Земсков А. Н., Кондрашев П. И., Травникова Л. Г. Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними. – Пермь, 2008. – 414 с.
14. 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. – Пермь : Изд-во Ги УрО РАН, 2016. Вып. 14. С. 315–317.
15. Алтуков В. Н. Деформационный критерий разрушения образцов соляных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 3. С. 39–45.
16. Нестерова С. Ю. Об опыте применения метода щелевой разгрузки для профилактики газодинамических явлений при механизированной добыче карналлита // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 2. С. 86–94. 

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 8, pp. 29–33
DOI: 10.17580/gzh.2018.08.02

Prevention of gas-dynamic phenomena in floor rock mass in different variants of longwall mining at Belaruskali

Information about authors

S. S. Andreiko¹, Head of Laboratory, Professor, Doctor of Engineering Sciences, ssa@mi-perm.ru

N. A. Litvinovskaya¹, Researcher, Candidate of Engineering Sciences

Yu. G. Sirenko², Deputy Pro-Rector of Education and Training, Candidate of Engineering Sciences

A. B. Chayanov³, Director of Mine Management 1

¹ Mining Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

² Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

³ Belaruskali, Soligorsk, Belarus

Abstract

The article presents findings of the research aimed to develop preventive measures for gas-dynamic phenomena caused in the floor of potash seam III by longwall mining at Belaruskali. The gas content and gas-dynamic characteristics of the potash seam floor rock mass were studied in conveyor, haulage, ventilation and backfill drifts. Boreholes were drilled at intervals and immediately sealed at a distance of 0.5 m from the mouth.

Prevention designs were developed based on the result of the mine tests of gas content, gas-dynamic characteristics and time variation of free gas pressure in floor rocks in developing entries under different geotechnical conditions of longwall mining of potash seam III. The mine testing procedure provided quantitative assessment of such gas-dynamic characteristics of floor rocks as: free gas content, initial rate of gas release and free gas pressure.

Taking into account the found mechanisms of initiation of gas-dynamic phenomena in mine floor, the methods and designs of preventive degassing drilling were worked out for developing entries in longwalls on the 1st, 2nd and 3rd layers of potash seam III under different geological and geotechnical conditions. The introduction of the preventive degassing drilling in the floor of developing entries in the listed longwalls improves operating safety in mines of Belaruskali.

Keywords: potash mine, gas-dynamic phenomena, preventive measures, underground opening, floor, potash seam III, slice mining, gas content, gas pressure, preventive degassing.

References

1. Proskuryakov N. M. Rock and Gas Outbursts in Potash Mines. Moscow : Nedra, 1980. 264 p.

2. Proskuryakov N. M. Kovalev O. V., Meshcheryakov V. V. Gas-Dynamics Control in Potash Seams. Moscow : Nedra, 1988. 239 p.

3. Kovalev O. V., Livensky V. S., Bylinno L. V. Features of Safe Potash Mining. Minsk : Polymya, 1982. 96 p.

4. Laptev B. V. Prevention of Gas-Dynamic Phenomena in Potash Mines. Moscow : Nedra, 1994. 138 p.

5. Andreiko S. S., Ivanov O. V., Litvinovskaya N. A. Prediction and Prevention of Gas-Dynamic Phenomena in Mine Floor in Development Entry Drivage in Undermined Salt Rock Mass. Perm : Izdatelstvo PNIPI, 2015. 159 p.

6. Podlesnyi I. A., Bersnev S. P., Andreiko S. S., Nekrasov S. V., Litvinovskaya N. A. Geomechanical modeling of the sudden collapse in roadways floor rocks. *Gornyi Zhurnal*. 2010. No. 8. pp. 28–30.

7. Trubetsky K. N., Iofis M. A., Esina E. N. Geomechanical service in mining under gas-and-dynamic phenomena. *Journal of Mining Science*. 2015. Vol. 51, No. 3. pp. 506–512.

8. Li Z., Wang E., Ou J., Liu Z. Hazard evaluation of coal and gas outbursts in a coal-mine roadway based on logistic regression model. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015. Vol. 80. pp. 185–195.

9. Keshavarz A., Sakurovs R., Grigore M., Sayyafzadeh M. Effect of maceral composition and coal rank on gas diffusion in Australian coals. *International Journal of Coal Geology*. 2017. Vol. 173. pp. 65–75.

10. Zheng C., Chen Z., Kizil M., Aminossadati S., Zou Q., Gao P. Characterisation of mechanics and flow fields around in-seam methane gas drainage borehole for preventing ventilation air leakage: A case study. *International Journal of Coal Geology*. 2016. Vol. 162. pp. 123–138.

11. Quanlong L., Xinchun L. Effective stability control research of evolutionary game in China's coal mine safety supervision. *Journal of Beijing University of Technology*. 2015. Vol. 17(4). pp. 49–56.

12. Hedlund F. H. The extreme carbon dioxide outburst at the Menzengraben potash mine 7 July 1953. *Safety Science*. 2012. Vol. 50, Iss. 3. pp. 537–553.

13. Zemskov A. N., Kondrashev P. I., Travnikova L. G. Natural Potash Gases and Preventions. Perm, 2008. 414 p.

14. Litvinovskaya N. A. Gas content and gas-dynamic characteristics of floor rocks under longwall mining of potash seam 3 at Belaruskali. *Strategy and Processes of Geo-Resources Management: Collection of Scientific Papers*. Perm : Izdatelstvo GI Uro RAN, 2016. Iss. 14. pp. 315–317.

15. Aptukov V. N. Deformation criterion of salt rock failure. *Journal of Mining Science*. 2016. Vol. 52, No. 3. pp. 448–453.

16. Nesterova S. Yu. Experience of destressing slotting to prevent gas-dynamic events in mechanized carnallite mining. *Journal of Mining Science*. 2017. Vol. 53, No. 3. pp. 291–298.