



ISSN 2712-8008
Том / Volume 20 №3 2020
Домашняя страница журнала: <http://vestnik.pstu.ru/geo/>

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 622.831.332

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2020



Оценка газоносности и газодинамических характеристик пород соляных и глинисто-карбонатных пачек на шахтном поле рудника Второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий»

С.С. Андрейко¹, Д.А. Бобров², Е.А. Нестеров², Е.В. Лукьянец¹

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29)

²Торный институт Уральского отделения Российской академии наук (Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а)

Estimation of Gas Content and Gas Dynamic Characteristics of Salt and Clay-Carbonate Pills Rocks in the Mining Field of the Second Ore Management JSC "Belaruskali"

Sergey S. Andreyko¹, Dmitry A. Bobrov², Egor A. Nesterov², Elena V. Lukyanets¹

¹Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation)

²Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (78a Sibirskaya st., Building A, Perm, 614007, Russian Federation)

Получена / Received: 03.02.2020. Принята / Accepted: 15.06.2020. Опубликовано / Published: 17.08.2020

Ключевые слова:

калийный рудник, газодинамические явления, глинисто-карбонатные пачки, соляные пачки, калийные горизонты, вскрывающие уклоны, газоносность по свободным газам, начальная скорость газовой выделению, давление свободных газов, герметизатор, скопления газов.

Keywords:

potash mine, gas-dynamic phenomena, clay-carbonate packs, salt packs, potash horizons, revealing slopes, free gas content, initial gas release rate, free gas pressure, seal, gas accumulations.

Приведены результаты исследований количественной оценки показателей газоносности и газодинамических характеристик пород глинисто-карбонатных и соляных пачек, расположенных по геологическому разрезу Старобинского месторождения калийных солей между III и IV калийными горизонтами. Шахтные экспериментальные исследования газоносности и газодинамических характеристик пород глинисто-карбонатных и соляных пачек проводились во вскрывающих IV калийный горизонт уклонах на шахтном поле рудника Второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий». Методикой шахтных экспериментальных исследований предусматривалась количественная оценка следующих показателей: газоносности по свободным газам, начальной скорости газовой выделению и давления свободных газов в породах 12, 10, 8-й глинисто-карбонатных пачек, а также 11-й и 9-й соляных пачек.

На основании результатов шахтных экспериментальных исследований дана количественная оценка показателей газоносности и газодинамических характеристик пород 12, 10, 8-й глинисто-карбонатных и 11, 9-й соляных пачек.

Установлены наиболее газоносные слои пород глинисто-карбонатных и соляных пачек, а также закономерности изменения газоносности и газодинамических характеристик пород по геологическому разрезу между III и IV калийными горизонтами.

The studies results of a quantitative assessment of gas content and gas-dynamic characteristics of clay-carbonate and salt packs located along the geological section of the Starobinskoye potassium salt deposit between III and IV potassium horizons are presented. Mine experimental studies of gas content and gas-dynamic characteristics of clay-carbonate and salt packs were carried out in slopes opening up the IV potash horizon in the field mine of the 2nd mining department of JSC "Belaruskali". The methodology of mine experimental studies provided for a quantitative assessment of the following indicators: gas content for free gases, initial gas release rate and pressure of free gases in rocks of the 12th, 10th, 8th clay-carbonate packs, as well as the 11th and 9th salt packs.

Based on the results of mine experimental studies, a quantitative assessment of the gas content and gas-dynamic characteristics of rocks of the 12th, 10th, 8th clay-carbonate and 11, 9th salt packs was given.

The most gas-bearing layers of clay-carbonate and salt units, as well as the changes regularities in gas content and rock gas-dynamic characteristics along the geological section between III and IV potash horizons were established.

Андрейко Сергей Семенович – заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых, доктор технических наук, профессор (тел.: +007 342 219 84 38, e-mail: rmpri@pstu.ru). Контактное лицо для переписки.

Бобров Дмитрий Александрович – младший научный сотрудник (тел.: +007 342 216 58 42, e-mail: miner@mi-perm.ru).

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

Лукьянец Елена Владимировна – старший преподаватель кафедры разработки месторождений полезных ископаемых (тел.: +007 342 219 84 38, e-mail: LukyanecEV@yandex.ru).

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

Dmitry A. Bobrov – Junior Researcher (tel.: +007 342 216 58 42, e-mail: miner@mi-perm.ru).

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

Elena V. Lukyanets – Senior Lecturer at the Department of Development of Mineral Resources Fields (tel.: +007 342 219 84 38, e-mail: LukyanecEV@yandex.ru).

Введение

В настоящее время опасными по газодинамическим явлениям (ГДЯ) в условиях калийных рудников ОАО «Беларуськалий», помимо пород I и III калийных горизонтов, считаются и породы 12-й глинисто-карбонатной пачки [1–15]. В процессе проведения уклонов, вскрывающих IV калийный горизонт, будут пересекаться, помимо 12-й глинисто-карбонатной пачки, также 10-я и 8-я, которые по своему геологическому строению во многом схожи с геологическим строением 12-й глинисто-карбонатной пачки. Геологическое строение глинисто-карбонатных пачек в условиях Старобинского месторождения калийных солей характеризуется: частым чередованием прослоев глин с доломито-известковыми глинистыми породами, неслоистых и слабо слоистых пород; наличием слоев песчаников и алевролитов; наличием в верхней части пачек слоев каменной соли, играющих своего рода роль «газонепроницаемых экранов»; наличием в породах пачек органического вещества (до 1 %). Все эти особенности геологического строения глинисто-карбонатных пачек позволяют предполагать протекание в толще пород процессов образования свободных газов и, соответственно, формирование приконтактных и очаговых скоплений свободных газов, которые при ведении горных работ – проходке вскрывающих уклонов, могут быть очагами газодинамических явлений. Породы 11, 9-й и 7-й 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. Многолетняя практика ведения горных работ на пластах, опасных по газодинамическим явлениям, показывает, что только глубокое изучение газоносности и газодинамических характеристик глинисто-карбонатных и соляных пород позволит обосновать безопасные способы проходки горных выработок по газоносным горным породам [16–47].

Для обеспечения безопасности ведения горных работ были разработаны временные рекомендации по безопасному ведению горных

работ при проходке вскрывающих уклонов по 12, 10-й и 8-й глинисто-карбонатным пачкам (ГКП) и 11, 9-й и 7-й соляным пачкам (СП) при вскрытии IV калийного горизонта на шахтном поле рудника Второго рудоуправления (2 РУ) ОАО «Беларуськалий», которые включают параметры профилактического дегазационного бурения, параметры буровзрывных работ для торпедирования и дегазации приконтурной части уклонов при появлении предвестников газодинамических явлений, а также рекомендации по контролю предупредительных признаков и предвестников газодинамических явлений. Кроме этого в процессе проходки вскрывающих уклонов предусмотрено научное сопровождение, заключающееся в проведении научно-исследовательских работ по изучению газоносности и газодинамических характеристик пород 12, 10-го и 8-го глинисто-мергелистых и 11, 9-го и 7-го соляных горизонтов для своевременной корректировки и уточнения мероприятий по обеспечению безопасной проходки уклонов, вскрывающих IV калийный горизонт на шахтном поле рудника 2 РУ.

Геологическое строение 12, 10, 8-й глинисто-карбонатных и 11, 9, 7-й соляных пачек

Геологическое строение толщи пород, разделяющей III и IV калийные горизонты, на участке проходки вскрывающих уклонов представлено на рисунке (а) [48–50]. Как видно из данных рисунка, мощности глинисто-карбонатных пачек – 12, 10-й и 8-й – составляют 22,7; 19,4; 32,1 м соответственно, а мощности соляных пачек – 11, 9-й и 7-й – 28,2; 44,6 и 28,5 м соответственно. В пределах Старобинского месторождения калийных солей 12-я ГКП вскрыта скважинами, расположенными в основном в западной части месторождения и в краевых околоконтурных его частях.

Отличительной особенностью пачки является ее значительная мощность и закономерное постепенное изменение. Максимальные значения мощности пачки (45,73–46,02 м) наблюдаются в северной и северо-восточной частях Старобинского месторождения. В южном и юго-западном направлении происходит постепенное понижение мощности: сначала до 35,60–38,90 м, затем до 28,0–33,41 м и, наконец, в западной периферийной части месторождения и в южной половине центральной площади месторождения мощность пачки снижается до 23,95–25,0 м. Минимальную мощность (20,95 м) пачка имеет в южной части западной периферийной области и в южной части основной площади. Таким

образом, с северо-востока на юго-запад мощность пачки сокращается более чем в два раза: с 45,78–46,02 до 20,95 м.

В геологическом разрезе 12-й глинисто-карбонатной пачки выделяются, как правило, четыре слоя. Отличительной особенностью этой пачки является наличие мощных прослоев песчаника в основании некоторых слоев, а также общее увеличение песчаных и алевритистых фракций в составе терригенных пород. Первый (нижний) слой имеет среднюю мощность 4,0–5,0 м. Несколько увеличенная его мощность (7,5–6,0 м) наблюдается в северной и северо-восточной части месторождения. В южной и юго-восточной части месторождения определяется уменьшенная мощность первого слоя (2,0–3,5 м). Нижняя часть первого слоя сложена чередованием тонких слоев (от нескольких мм до 2–3 см) доломитового мергеля и глины различной степени карбонатной. Имеются миллиметровые прослои желтовато-серого алевролита и карбонатно-ангидритовой и пелито-ангидритовой породы. Верхняя часть первого слоя сложена темно-серым мергелем, плотным, неясно слоистым с прослоями песчаника.

Второй слой отличается от первого наличием в нижней своей части слоя песчаника, имеющего мощность от 1,5 до 6,0 м. Мощность слоя песчаника, так же, как и общая мощность слоя, увеличивается с юга на север. Песчаник имеет желтоватый или коричневатый-серый цвет тонко- и мелкозернистый, с включениями крупных зерен кварц-полевошпатового состава. Текстура песчаника слоистая. Цементом является галит. В верхней половине слоя определяется большое количество гнезд ангидрита. Выше слоя песчаника залегает пестроцветная глина, прослоями переходящая в доломитовый мергель. Редко встречаются прослои ангидрита мощностью до нескольких сантиметров. Заканчивается пачка глинисто-мергелистыми породами с прослоями каменной соли и редкими прослоями ангидрита. Мощность второго слоя изменяется от 5,6–7,0 м в юго-восточной и западной части месторождения до 11,0–15,2 м в северной части площади месторождения.

Третий слой в основании имеет также слой песчаника, который в западной периферийной и северной части месторождения переходит в алевролит. Мощность слоя составляет 0,4 м в западной части месторождения, 1,7–2,2 м в южной и юго-восточной части и 6,2 м в северной части месторождения. Песчаник имеет розовато-серый и серый цвет, цемент галитовый. Выше песчаника залегает зона переслаивания глины с доломитовым мергелем. Мощность слоев глин от 1 мм до 10 см, мергеля – от 1 мм до 20 см. В некоторых случаях

глина песчаная. В верхней части слоя глина переходит в глинисто-мергелистую породу, неяснослоистую, иногда алевритовую. Встречаются единичные прослои алевролита (мощностью до 2 см) реже прослои ангидрита (мощностью до 0,5 см). Третий слой завершается слоем каменной соли, имеющим мощность 2,0–3,6 м. В западной периферической части площади месторождения слой каменной соли отсутствует. Мощность третьего слоя также резко изменяется: в южной и западной периферической части месторождения мощность составляет 7,2–9,6 м; в северной и северо-восточной частях – 14,6–17,0 м. В третьем слое происходит сокращение мощности в основном за счет несоляной ее части и лишь в западной периферической части месторождения – частично за счет отсутствия слоя каменной соли в кровле слоя.

В четвертом (верхнем) слое пачки лишь в северной и западной периферической части месторождения удается выделить верхнюю и нижнюю части, сложенные различными типами пород. В южной части месторождения этого сделать не удастся. Поэтому в описании последних фигурирует только глина алевритистая с прослоями каменной соли. В северной и западной периферических частях месторождения такими глинами сложена верхняя часть четвертого слоя, а в нижней части встречаются прослои доломитово-ангидритовой породы и прослои песчаника. Мощность верхнего слоя пачки изменяется от 2,7–3,0 м в юго-восточной части месторождения до 3,2–7,6 м в южной и западной частях. В северной и северо-восточной частях мощность четвертого слоя пачки увеличивается до 7,9–12,0 м.

В целом изменение мощности каждого слоя пачки в отдельности подчиняется общей закономерности – увеличению мощности с юго-запада на северо-восток. Изменение мощности 12-й глинисто-карбонатной пачки происходит из-за изменения мощности каждого слоя, а количество слоев в пачке при этом остается одинаковым на всей площади ее распространения.

Расположенные ниже по геологическому разрезу 10-я и 8-я глинисто-карбонатные пачки вскрыты ограниченным числом скважин, расположенных в западной половине месторождения и в околоконтурных северной и южной его частях. На всей этой площади (за исключением юго-восточной части) мощность 10-й глинисто-карбонатной пачки остается более или менее постоянной и составляет 19,4–23,7 м, и лишь в юго-восточной части увеличивается до 27,5–30,3 м, а в юго-западной части площади (скв. № 142) – уменьшается до 17,0 м. В строении 10-й и 8-й глинисто-карбонатных пачек принимают

участие три слоя, поэтому эти пачки, как и 12-я, относятся к «сложным» по геологическому строению. Как правило, нижняя часть первого слоя этих пачек сложена чередованием глин с доломито-известково-глинистыми породами и слагает примерно 40–50 % общей мощности слоя. Выше следуют глинисто-мергелистые неслоистые и слабослоистые породы. Мощность их составляет 30–40 % от общей мощности слоя. Нередко к верхней части этих пород присоединяются слои песчаников и алевролитов. Самая верхняя часть слоя (10–15 % от общей мощности) слагается породами с повышенным содержанием сульфата кальция, доломита и кальцита. В целом порода нижней части имеет слоистую структуру. Верхние части слоев сложены глинисто-мергелистыми породами, почти неслоистыми или слабослоистыми, в которых встречаются лишь единичные прослои глинисто-известковистых доломитов, доломито-

известковистых мергелей и глин. Верхние части глинисто-карбонатных пачек имеют более однородный состав.

Первый (нижний) слой пачки в западной периферической части характеризуется мощностью 8,7–10,0 м. В северной, северо-восточной и центральной частях месторождения мощность первого слоя составляет 6,7–8,4 м, а в восточной – уменьшается до 3,2 м. Нижняя часть первого слоя мощностью 3–5 м сложена темно-серыми с зеленоватым оттенком глинами, прослоями карбонатно-ангидритовых пород.

По данным скв. № 396 мощность 10-й глинисто-карбонатной пачки составляет 19,4 м. Пачка представлена чередованием массивной глины темно-серого, зеленовато-серого и буровато-коричневого цвета. В интервалах 60,6–60,8 и 66,9–67,2 м отмечены прослои мелкозернистых песчаников. Мощность 8-й глинисто-карбонатной пачки – 32,10 м; пачка

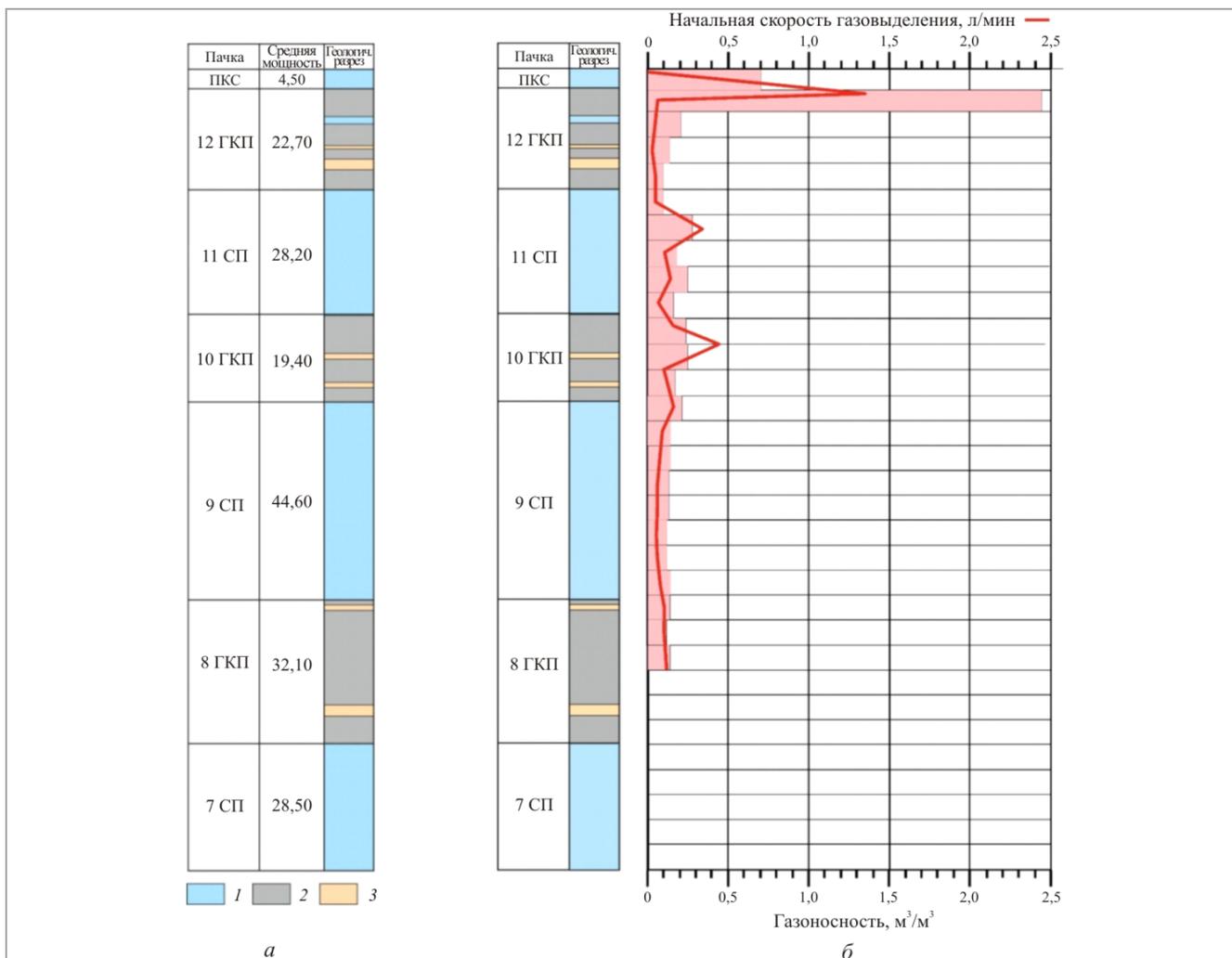


Рис. III и IV калийные горизонты: а – геологический разрез толщи пород, разделяющей III и IV калийные горизонты, на участке проходки вскрывающих уклонов на шахтном поле рудника 2 РУ: 1 – каменная соль; 2 – переслаивание глин и мергелей; 3 – песчаники; б – газоносность пород и начальная скорость газовой выделению в скважинах по разрезу толщи пород между III и IV калийными горизонтами

сложена чередующимися прослоями массивной глины темно-серого и буровато-коричневого цвета с прослоями мергеля зеленовато-серого цвета. В интервалах 120,55–120,59; 143,20–143,40 и 144,55–144,90 м отмечены прослой тонкозернистых песчаников.

Соляные пачки 11, 9-я и 7-я представлены, главным образом, каменной солью, содержащей слои и прослой несоляных пород – галопелитов, мощность которых колеблется от долей миллиметров до 0,15 м. Так, 11-я соляная пачка мощностью 28,20 м представлена каменной солью от светло-серого до темно-серого цветов. Темно-серый цвет каменной соли обусловлен примесью глинистого материала. Каменная соль средне- и крупнокристаллическая. По всей мощности пачки встречаются прослой глины темно-серого цвета мощностью от нескольких миллиметров до 0,10 м. Нижележащая 9-я соляная пачка мощностью 44,60 м представлена чередованием прослоев каменной соли серого и темно-серого цвета, средне- и крупнокристаллической. Во второй половине интервала мощности появляются прослой каменной соли желтовато-сероватого цвета, мелкокристаллической. По всей мощности 9-й пачки встречаются прослойки глины темно-серого цвета мощностью от нескольких миллиметров до 0,15 м. Верхняя часть 7-й соляной пачки мощностью 5,83 м представлена каменной солью серого цвета с прослойками глины темно-серого цвета. Наличие в породах соляных пачек глинистых слоев и прослоев мощностью до 0,15 м свидетельствует о возможных приконтактных скоплениях свободных газов.

Методика исследования газоносности и газодинамических характеристик пород 12, 10, 8-й глинисто-карбонатных и 11, 9, 7-й соляных пачек

Газоносность пород слоя подстилающей каменной соли (СПКС), 12, 10, 8-й глинисто-карбонатных (ГКП) и 11, 9, 7-й соляных пачек (СП) изучалась путем отбора проб и замеров характеристик, выделяющихся из исследовательских скважин газов [51, 52]. По мере проходки уклонов, вскрывающих IV калийный горизонт, скважины бурились поинтервально в почву выработки, нормально к напластованию пород. Интервал бурения составлял 1,0 м. Затем буровой став извлекался, и скважина герметизировалась на глубине 0,5 м от ее забоя. Газ, выделяющийся из стенок и забоя загерметизированной части шпура (скважины), поступает в газоотводящий штуцер, к которому

подключается прецизионный портативный цифровой манометр DPI-740, предназначенный для работы в лабораторных и «полевых» условиях. Высокая точность и временная стабильность прибора позволяют при необходимости использовать его в качестве образцового барометра или индикатора абсолютного давления.

С помощью DPI-740 определяется начальная скорость газовой выделенности в скважине по давлению, создаваемому газом, проходящим через откалиброванное отверстие капилляра, а также приращение давления газов в скважине в течение 30 с после ее герметизации, то есть начальное газовое давление. По этой величине с помощью заранее построенных графиков зависимости $X = f(P_r)$, где X – газоносность пород, м³/м³; P_r – величина начального газового давления, определяются показатели газоносности [21].

Результаты экспериментальных исследований газоносности и газодинамических характеристик пород при поинтервальной проходке вскрывающих уклонов на шахтном поле рудника 2 РУ

При проходке транспортного, конвейерного и вентиляционного уклонов, вскрывающих IV калийный горизонт на шахтном поле рудника 2РУ, пробурено 14 скважин с целью определения газоносности и газодинамических характеристик пород слоя подстилающей каменной соли и 12-й глинисто-карбонатной пачки, а также пять комплектов по три скважины в каждом для исследования газоносности пород 10, 8-й глинисто-карбонатных и 11, 9-й соляных пачек. Всего в процессе научного сопровождения проходки вскрывающих уклонов было пробурено 29 исследовательских скважин. Распределение показателей газоносности пород по свободным газам и начальной скорости газовой выделенности в исследовательских скважинах по геологическому разрезу толщи пород между III и IV калийными горизонтами на шахтном поле рудника 2 РУ представлено на рисунке, б. Как видно из данных рисунка, в интервале глубин 0,5–1,0 м газоносность составила 0,54 м³/м³. На этой глубине бурения находится контакт слоя подстилающей каменной соли и 12-й глинисто-карбонатной пачки. Начальная скорость газовой выделенности свободных газов в этом интервале глубин составила 0,62 л/мин, а давление свободного газа на этой глубине – 0,196 МПа.

На глубине 1,5 м, что соответствует глубине герметизации 1,0–1,5 м, газоносность пород почвы

составила $2,44 \text{ м}^3/\text{м}^3$, начальная скорость газовой выделения – $1,33 \text{ л/мин}$, а давление свободного газа в массиве пород почвы – $0,23 \text{ МПа}$. На данной глубине бурения располагается четвертый (верхний) слой 12-й глинисто-карбонатной пачки мощностью $6,1 \text{ м}$, который представлен переслаиванием темно-серого мергеля и глины темно-серой, плотной, неяснослоистой. Открытая пористость пород этого слоя 12-й ГКП изменяется от $5,6$ до $11,0 \%$ при среднем значении 8% . В этом слое пород экспериментальные работы в исследовательских скважинах подтвердили высокую вероятность нахождения скоплений свободных газов. Дальнейшее бурение и исследование газонаосности и газодинамических характеристик пород показало, что ниже по геологическому разрезу в породах 12-й глинисто-карбонатной пачки (ГКП) газонаосность не превышает $0,21 \text{ м}^3/\text{м}^3$, начальная скорость газовой выделения не более $0,16 \text{ л/мин}$, а давление свободного газа не более $0,19 \text{ МПа}$.

В породах 11-й соляной пачки газонаосность по свободным газам изменялась от $0,1$ до $0,29 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а начальная скорость газовой выделения – от $0,05$ до $0,33 \text{ л/мин}$. При этом максимальное значение газонаосности ($0,29 \text{ м}^3/\text{м}^3$) и начальной скорости газовой выделения ($0,33 \text{ л/мин}$) зафиксировано в средних слоях 11-й соляной пачки и относится к галопелитовым прослойкам. Давление свободных газов в массиве пород 11-й соляной пачки не превышает $0,192 \text{ МПа}$.

По геологическому разрезу 10-й ГКП газонаосность и газодинамические характеристики пород изменяются неравномерно: газонаосность по свободным газам изменяется от $0,10$ до $0,25 \text{ м}^3/\text{м}^3$; начальная скорость газовой выделения свободных газов – в пределах от $0,03$ до $0,41 \text{ л/мин}$; давление свободных газов в массиве не превышает $0,192 \text{ МПа}$. Наиболее газонаосными являются породы, залегающие в интервале $4,0$ – $5,0 \text{ м}$ от кровли 10-й ГКП. В пределах этого интервала геологического разреза пачки газонаосность пород по свободным газам изменяется от $0,21$ до $0,25 \text{ м}^3/\text{м}^3$. К этому же интервалу приурочены максимумы начальной скорости газовой выделения и давления свободных газов в массиве пород 10-й ГКП.

Экспериментальные исследования газонаосности и газодинамических характеристик пород 9-й соляной пачки показали, что породы – малогазонаосны, газонаосность по свободным газам изменяется от $0,1$ до $0,18 \text{ м}^3/\text{м}^3$, начальная скорость газовой выделения свободных газов – от $0,03$ до $0,15 \text{ л/мин}$. Давление свободных газов в массиве пород 9-й соляной пачки не превышает $0,19 \text{ МПа}$.

Газонаосность по свободным газам пород 8-й глинисто-карбонатной пачки изменяется от $0,10$ до $0,14 \text{ м}^3/\text{м}^3$. При этом начальная скорость газовой выделения свободных газов – в пределах от $0,03$ до $0,13 \text{ л/мин}$. Давление свободных газов в массиве пород не превышает $0,19 \text{ МПа}$. На контакте 9-й соляной и 8-й ГКП не выявлено приконтактных скоплений свободных газов. Газонаосность пород 8-й ГКП на контакте с 9-й соляной пачкой значительно меньше таковой по свободным газам пород 12-й ГКП, опасной по газодинамическим явлениям на шахтном поле рудника 2 РУ более чем в 10 раз.

Результаты исследований газонаосности и газодинамических характеристик пород при проходке уклонов, вскрывающих IV калийный горизонт на шахтном поле рудника 2 РУ, показали, что наиболее газонаосными являются породы четвертого (верхнего) слоя мощностью $6,1 \text{ м}$ 12-й ГКП, отнесенной к опасным по газодинамическим явлениям. В этом слое пород 12-й ГКП высока вероятность нахождения скоплений свободных газов, которые в соответствующих горнотехнических условиях могут представлять собой очаги газодинамических явлений.

На основании результатов исследований газонаосности и газодинамических характеристик пород соляных и глинисто-карбонатных пачек для обеспечения безопасности ведения горных работ разработана технология проходки вскрывающих уклонов по 12, 10-й и 8-й ГКП и 11, 9-й и 7-й соляным пачкам (СП) при вскрытии IV калийного горизонта на шахтном поле рудника 2 РУ ОАО «Беларуськалий», которая включает применение специальных режимов проходки уклонов с выполнением способов предотвращения газодинамических явлений в зависимости от геологических условий проходки: обычный режим проходки по слою подстилающей каменной соли; режим вскрытия забоем уклона 12, 10-го и 8-го глинисто-мергелистых горизонтов; режим пересечения уклоном 12, 10-го и 8-го глинисто-мергелистых горизонтов; режим проходки по 11, 9-му и 7-му соляным горизонтам; режим пересечения зон, опасных по газодинамическим явлениям, при появлении их предвестников [53, 54]. Специальные режимы проходки уклонов в зависимости от геологических условий предусматривают бурение разведочно-дегазационных скважин в забой уклонов, применение профилактического дегазационного бурения, буровзрывных работ для торпедирования и дегазации приконтурной части уклонов при появлении предвестников газодинамических явлений, а также рекомендации по контролю

предупредительных признаков и предвестников газодинамических явлений.

Заключение

На основании результатов экспериментальных исследований газоносности по свободным газам и газодинамических характеристик глинисто-карбонатных и соляных пород толщи, разделяющей III и IV калийные горизонты, в уклонах, вскрывающих IV калийный горизонт на шахтном поле рудника 2 РУ, можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее газоносными являются породы четвертого (верхнего) слоя 12-й глинисто-карбонатной пачки. В пределах этого слоя глинисто-карбонатных пород газоносность по свободным газам изменяется от 1,33 до 2,44 м³/м³, что в 12–20 раз превышает таковую в других слоях 12-й глинисто-карбонатной пачки, расположенных ниже по геологическому разрезу. К этому же слою приурочены максимумы начальной скорости газовыделения, которые превышают начальную скорость газовыделения других пород 12-й глинисто-карбонатной пачки, расположенных ниже по геологическому разрезу, в 5–8 раз.

2. Газоносность по свободным газам и газодинамические характеристики пород 10-й и 8-й глинисто-мергелистых пачек существенно ниже показателей 12-й глинисто-карбонатной пачки. Газоносность пород по свободным газам 10-й и 8-й глинисто-карбонатной пачки изменяется от 0,10 до 0,25 м³/м³. Начальная скорость газовыделения свободных газов варьируется в пределах от 0,03 до 0,41 л/мин. Давление свободных газов в массиве не превышает 0,192 МПа.

3. В породах 11-й и 9-й соляных пачек газоносность по свободным газам изменяется от 0,1 до 0,29 м³/м³, а начальная скорость газовыделения – от 0,03 до 0,33 л/мин. При этом максимальные значения газоносности (0,29 м³/м³) и начальной скорости газовыделения (0,33 л/мин) приурочены к галопелитовым прослойкам. Давление свободных газов в породах 11-й и 9-й соляных пачек не превышает 0,192 МПа.

4. На основании результатов исследований газоносности и газодинамических характеристик пород соляных и глинисто-карбонатных пачек для обеспечения безопасности ведения горных работ разработана технология проходки вскрывающих уклонов по 12, 10-й и 8-й глинисто-карбонатным пачкам и 11, 9-й и 7-й соляным пачкам при вскрытии IV калийного горизонта на шахтном поле рудника 2 РУ ОАО «Беларуськалий».

Библиографический список

1. Проскуряков Н.М. Управление состоянием массива горных пород. – М.: Недра, 1991. – 368 с.
2. Андрейко С.С., Калугин П.А., Щерба В.Я. Газодинамические явления в калийных рудниках: генезис, прогноз и управление. – Минск: Высшая школа, 2000. – 335 с.
3. 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 Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 159 с.
4. Исследования газоносности пород пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения / В.А. Тараканов [и др.] // Горный журнал. – 2010. – № 8. – С. 25–27.
5. Исследование механизма формирования опасных по газодинамическим явлениям зон в породах калийного горизонта / С.П. Береснев [и др.] // Горный журнал. – 2010. – № 8. – С. 31–33.
6. 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.
7. 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: научн.-техн. журн. – 2012. – №1. – С.5–15.
8. Андрейко С.С., Литвиновская Н.А. Modeling sudden failure of floor of underground excavations in undermined salt rock mass // Eurasian Mining. Tiso Print. – 2015. – № 2 (24). – P. 15–17. DOI: 10.17580/em.2015.02.04
9. Лялина Т.А. Исследование закономерностей локализации газовыделений из геологоразведочных скважин вблизи зон замещения калийных пластов // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во ГИ УрО РАН, 2017. – Вып. 15. – С. 362–365.
10. Andreyko S.S., Lyalina T.A. Rockburst From Floors / Soils and Rocks // Sao Paulo. – 2019. – № 42 (1). – P. 77–82. DOI: 10.28927/SR.421077
11. Оценка газодинамических характеристик горных пород Краснослободского разлома / Д.В. Барбиков, С.С. Андрейко, О.В. Иванов, Д.А. Бобров // Горный журнал. – 2018. – № 8. – С. 38–42. DOI: 10.17580/gzh.2018.08.04
12. Fedoseev A., Andreiko S. Geo mechanical Estimation of Danger of Gas-Dynamic Failure During Potash Deposits Mining // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 191. – P. 954–961. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.266
13. Барях А.А., Андрейко С.С., Федосеев А.К. О механизме локализации очагов газодинамических явлений в почве сильвинитовых пластов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 3. – С. 247–254. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.3.5
14. Research of salt rocks gas content of III potash layer in the Krasnoslobodsky mine field / S.S.Andreyko, O.V. Ivanov, E.A. Nesterov, I.I. Golovaty, S.P. Beresnev // Gornyi Zhurnal. – Moscow: Izdatel'stvo Ruda i Metall, 2013. – № 2. – P. 38–41.
15. Нестеров Е.А. Совершенствование технологии дегазационных работ при отработке сильвинитовых пластов в условиях шахтных полей рудников ОАО «Сильвинит» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – № 6. – С. 120–127. DOI: 10.15593/2224-9923/2013.6.13
16. Газоносность соляных пород калийных месторождений Жиланское и Сатимола (Казахстан) / А.Н. Земсков, О.В. Иванов, Н.Ф. Красюк, Г.А. Фортунатов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – № 11. – С. 88–98. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.11.9
17. Лялина Т.А., Андрейко С.С. Оценка возможности развития газодинамических явлений в виде внезапных разрушений пород почвы горных выработок, сопровождающихся газовыделением, в условиях южной части Верхнекамского

- месторождения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – № 7. – С. 107–116. DOI: 10.15593/2224-9923/2013.7.11
18. Литвиновская Н.А. Газоносность продуктивных пластов и вмещающих пород шахтных полей ОАО «Уралкалий» // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во ГИ УрО РАН, 2014. – Вып. 12. – С. 236–237.
19. Литвиновская Н.А. Газоносность продуктивных пластов и вмещающих пород центральной части ВКМКС // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во ГИ УрО РАН, 2015. – Вып. 13. – С. 241–243.
20. Нестеров Е.А. Механизм образования внезапных отжимов призабойной части пород в соляном породном массиве // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во ГИ УрО РАН, 2015. – Вып. 13. – С. 244–246.
21. Иванов О.В. Построение прогнозных карт зон, опасным по газодинамическим явлениям, на вводимых в эксплуатацию участках ВКМКС // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во ГИ УрО РАН, 2015. – Вып. 13. – С. 235–237.
22. Нестерова С.Ю., Андрейко С.С. Технология дегазации выбросоопасного массива при механизированной добыче карналлита // Естественные и технические науки. – 2017. – № 2. – С. 63–67.
23. Андрейко С.С., Литвиновская Н.А., Лялина Т.А. Control of gas-dynamic processes in floor rock mass in sylvinitic bed AB of the Upper Kama Potassium Salt Deposit // Gornyi Zhurnal. – Moscow: Izdatel'stvo Ruda i Metalliy, 2015. – № 4. – P. 89–92. DOI: 10.17580/gzh.2015.04.16
24. 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.
25. Андрейко С.С., Lyalina T.A. Strength-Gas relationship of sylvinitic seams on verkhnekamskoye deposit // Asian Academic Research Journal of Multidisciplinary. – 2016. – Vol. 3, iss. 4. – P. 219–226.
26. Исследование газоносности соляных пород Третьего калийного пласта на шахтном поле Краснослободского рудника / О.В. Иванов [и др.] // Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 69–73.
27. Siemann M.G. Herkunft und Migration mineralgebundener Gase der Zechstein 2 Schichten in Zielits // Kali und Steinsalz. – 2007. – Heft 3. – S. 26–41.
28. 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
29. Case Histories of Four Extremely Intense Rockbursts in Deep Tunnels / Ch. Zhang, F. Xia-Ting, Zh. Hui, Sh. Qiu, W. Wu // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2012. – Vol. 45 (3). – P. 275–288. DOI: 10.1007/s00603-011-0218-6
30. Prusek, S., Masny, W. Analysis of damage to underground workings and their supports caused by dynamic phenomena // Journal of Mining Science. – 2015. – Vol. 51 (1). – P. 63–72. DOI: 10.1134/S1062739115010093
31. 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.
32. Wojtecki Ł., Konicek P. Estimation of active rockburst prevention effectiveness during longwall mining under disadvantageous geological and mining conditions // Journal of Sustainable Mining. – 2016. – Vol. 15, iss. 1. – P. 1–7. DOI: 10.1016/j.jsm.2016.04.003
33. Nierobisz A. Identification of load to dog heading support during a rockburst // Journal of Mining Science. – 2016. – Vol. 52 (6). – P. 1129–1142. DOI: 10.1134/S1062739116061662
34. Discontinuum Modelling Approach for Stress Analysis at a Seismic Source: Case Study / A. Sainoki, Mitri, S. Hani, M. Yao, D. Chinnasane // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2016. – Vol. 49 (12). – P. 4749–4765. DOI: 10.1007/s00603-016-1089-7
35. Vennes I., Mitri H. Geomechanical effects of stress shadow created by large-scale distress blasting // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2017. – Vol. 9, iss. 6. – P. 1085–1093. DOI: 10.1016/j.jrmge.2017.09.004
36. Manouchehrian A., Cai M. Analysis of rockburst in tunnels subjected to static and dynamic loads // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2017. – Vol. 9, iss. 6. – P. 1031–1040. DOI: 10.1016/j.jrmge.2017.07.001
37. Warren J.K. Evaporites: A compendium. – Berlin: Springer, 2016. – 1854 p.
38. Perera M., Ranjith P.G., Choi S.K. Coal cleat permeability for gas movement under triaxial, non-zero lateral strain condition: atheoretical and experimental study // Fuel. – 2013. – Vol. 109. – P. 389–399. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.02.066
39. Wang S., Elsworth D., Liu J. Rapid decompression and desorption induced energetic failure in coal // J. Rock. Mech. Geotech. Eng. – 2015. – Vol. 7 (3). – P. 345–350. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.01.004
40. Hazard evaluation of coal and gas outbursts in a coal-mine roadway based on logistic regression model / Z. Li, E. Wang, J. Ou, Z. Liu // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2015. – Vol. 80. – P. 185–195. DOI: 10.1016/j.ijrmm.2015.07.006
41. Xiaogang F., Chaohui J. The cause analysis and countermeasures of coal burst at 5868 return air way heading face in Wulan coal mine // Colliery Saf. – 2013. – Vol. 44 (10). – P. 196–198.
42. Quanlong L., Xinchun, L. Effective stability control research of evolutionary game in China's coal mine safety supervision // J. Beijing Inst. Technol. – 2015. – Vol. 17(4). – P. 49–56.
43. Long-Term Czech Experiences with Rockbursts with Applicability to Today's Underground Coal Mines / P. Konicek, J. Ptacek, P. Waclawik, V. Kajzar // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2020. – Vol. 52 (5). – P. 1447–1458. DOI: 10.1007/s00603-018-1489-y
44. An in situ monitoring campaign of a hard rock pillar at great depth within a Canadian mine / B. Forbes, N. Vlachopoulos, M.S. Diederichs, A.J. Hyett, A. Punkkinen // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2020. – Vol. 12, iss. 3. – P. 427–448. DOI: 10.1016/j.jrmge.2019.07.018
45. Małkowski P., Niedbalski Z. A comprehensive geomechanical method for the assessment of rockburst hazards in underground mining // International Journal of Mining Science and Technology. – 2020. – Vol. 30, iss. 3. – P. 345–355. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.04.009
46. Chun'an Microseismic Monitoring and Experimental Study on Mechanism of Delayed Rockburst in Deep-Buried Tunnels / Zhang, Shichao, Ma, Tianhui, Tang // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2020. – Vol. 53 (6). – P. 2771–2788. DOI: 10.1007/s00603-020-02069-4
47. Высоцкий Э.А., Кислик В.З., Петрова Н.С. О влиянии палеотектоники на характер изменения состава калийных горизонтов // Докл. АН БССР. – 1980. – Т. 24, № 8. – С. 736–739.
48. Калийные соли Припятского прогиба / Р.Г. Гарецкий [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1984. – 182 с.
49. Калиеносные бассейны мира / В.А. Высоцкий [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1988. – 387 с.
50. Иванов О.В., Нестеров Е.А., Литвиновская Н.А. Исследование газоносности продуктивных калийных пластов на новых участках шахтных полей калийных рудников ОАО «Уралкалий» и ОАО «Сильвинит» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 4. – С. 186–190.
51. Земсков А.Н., Кондрашов П.И., Травникова Л.Г. Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними. – Пермь, 2008. – 414 с.
52. Андрейко С.С. Предотвращение газодинамических явлений при проведении уклонов, вскрывающих IV калийный горизонт, в условиях Старобинского месторождения калийных солей // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во ГИ УрО РАН, 2014. – Вып. 12. – С. 227–229.
53. Андрейко С.С. Технология проведения уклонов, вскрывающих IV калийный горизонт, по выбросоопасным породам проходческими комбайнами избирательного действия в условиях рудника 2 РУ ОАО «Беларуськалий» // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-

шахтного и нефтепромыслового оборудования: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. «Горная и нефтяная электромеханика – 2015». – Пермь, 2015. – С. 125–131.

References

1. Proskuriakov N.M. Upravlenie sostoianiem massiva gornykh porod [Controlling the state of the rock mass]. Moscow: Nedra, 1991, 368 p.
2. Andreiko S.S., Kalugin P.A., Shcherba V.Ia. Gazodinamicheskie iavleniia v kaliinykh rudnikakh: genesis, prognoz i upravlenie [Gas-dynamic phenomena in potash mines: genesis, forecast and management]. Minsk: Vysheishaia shkola, 2000, 335 p.
3. Andreiko S.S., Ivanov O.V., Litvinovskaia N.A. Prognozirovaniie i predotvrashcheniie gazodinamicheskikh iavlenii iz pochvy pri prokhodke podgotovitel'nykh vyrabotok v podrabotannom massive solianykh porod [Prediction and prevention of gas-dynamic phenomena from the soil when driving development workings in an underworked salt massif]. Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2015, 159 p.
4. Tarakanov V.A. et al. Issledovaniia gazonosnosti porod plasta Tret'ego kaliinogo gorizonta Starobinskogo mestorozhdeniia [The rock gas-bearing capacity researches of the Starobin deposit third potash level seam]. *Gornyi zhurnal*, 2010, no. 8, pp. 25-27.
5. Beresnev S.P. et al. Issledovanie mekhanizma formirovaniia opasnykh po gazodinamicheskim iavleniiam zon v porodakh kaliinogo gorizonta [Research of the mechanism forming the zones that are dangerous on gas and dynamic phenomena in the first potash level rocks]. *Gornyi zhurnal*, 2010, no. 8, pp. 31-33.
6. Podlesnyi I.A., Beresnev S.P., Andreiko S.S., Nekrasov S.V., Litvinovskaia N.A. Geomekhanicheskoe modelirovaniie vnezapnykh razrushenii porod pochvy gornykh vyrabotok [Geomechanical modeling of the sudden collapse of roadways floor rocks]. *Gornyi zhurnal*, 2010, no. 8, pp. 28-30.
7. Lialina T.A., Nesterov E.A., Elovikova A.S. Otsenka vozmozhnosti razvitiia gazodinamicheskikh iavlenii pri vedenii gornykh работ na III kaliinom gorizonte Krasnoslobodskogo rudnika 2 RU [Estimation of gas and dynamic effects development's possibility while mining at the third potash level of Krasnoslobodsky mine of the 2 PU]. *Gornaia mekhanika i mashinostroenie: nauchno-tekhnicheskii zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 5-15.
8. Andreiko S.S., Litvinovskaia N.A. Modeling sudden failure of floor of underground excavations in undermined salt rock mass. *Eurasian Mining. Tiso Print*, 2015, no. 2 (24), pp. 15-17. DOI: 10.17580/em.2015.02.04
9. Lialina T.A. Issledovanie zakonomernostei lokalizatsii gazovydeniia iz geologorazvedochnykh skvazhin vblizi zon zameshcheniia kaliinykh plastov [Investigation of the regularities of the localization of gas emissions from exploration wells near the zones of replacement of potash strata]. *Strategiia i protsessy osvoeniia georesurov. Sbornik nauchnykh trudov*. Perm': Gornyi institut Ural'skogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 2017, iss. 15, pp. 362-365.
10. Andreyko S.S., Lyalina T.A. Rocburst From Floors. *Soils and Rocks*. Sao Paulo, 2019, no. 42 (1), pp. 77-82. DOI: 10.28927/SR.421077
11. Barbikov D.V., Andreiko S.S., Ivanov O.V., Bobrov D.A. Otsenka gazodinamicheskikh kharakteristik gornykh porod Krasnoslobodskogo razloma [Gas dynamics of rock mass at the Krasnoslobodsk fault]. *Gornyi zhurnal*, 2018, no. 8, pp. 38-42. DOI: 10.17580/gzh.2018.08.04
12. Fedoseev A., Andreiko S. Geo mechanical Estimation of Danger of Gas-Dynamic Failure During Potash Deposits Mining. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 191, pp. 954-961. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.266
13. Bariakh A.A., Andreiko S.S., Fedoseev A.K. O mekhanizme lokalizatsii ochagov gazodinamicheskikh iavlenii v pochve sil'vinitovykh plastov [About the mechanism of localization of gas dynamic phenomena focuses in the bedrock of sylvinite formations]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2017, vol. 16, no. 3, pp. 247-254. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.3.5
14. Andreyko S.S., Ivanov O.V., Nesterov E.A., Golovaty I.I., Beresnev S.P. Research of salt rocks gas content of III potash layer in the

- Krasnoslobodsky mine field. *Gornyi Zhurnal*. Moscow: Ruda i Metally, 2013, no. 2, pp. 38-41.
15. Nesterov E.A. Sovershenstvovanie tekhnologii degazatsionnykh работ pri otrabotke sil'vinitovykh plastov v usloviakh shakhtnykh polei rudnikov OAO "Sil'vinit" [Improvement of decontamination works technology during sylvinite layers mining in the mine fields of "Silvinit"]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2013, no. 6, pp. 120-127. DOI: 10.15593/2224-9923/2013.6.13
16. Fortunatov G.A., Kراسiuk N.F., Zemskov A.N., Ivanov O.V. Gazonosnost' solianykh porod kaliinykh mestorozhdenii Zhilianskoe i Satimola (Kazakhstan) [Gas content of saliferous rocks of potassium deposits Zhilianskoe and Satimola (Kazakhstan)]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2014, no. 11, pp. 88-98. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.11.9
17. Lialina T.A., Andreiko S.S. Otsenka vozmozhnosti razvitiia gazodinamicheskikh iavlenii v vide vnezapnykh razrushenii porod pochvy gornykh vyrabotok, soprovozhdaiushchikhsia gazovydeniie, v usloviakh iuzhnoi chasti Verkhnekamskogo mestorozhdeniia [Capability assessment of gasdynamic effects development as sudden destruction of mine workings rocks of soil, accompanied by gas evolution, in conditions of the southern part of Verkhnekamskoye field]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2013, no. 7, pp. 107-116. DOI: 10.15593/2224-9923/2013.7.11
18. Litvinovskaia N.A. Gazonosnost' produktivnykh plastov i vmeshchaiushchikh porod shakhtnykh polei OAO "Uralkali" [Gas content of productive strata and enclosing rocks of mine fields of JSC Uralkali]. *Strategiia i protsessy osvoeniia georesurov. Sbornik nauchnykh trudov*. Perm': Gornyi institut Ural'skogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 2014, iss. 12, pp. 236-237.
19. Litvinovskaia N.A. Gazonosnost' produktivnykh plastov i vmeshchaiushchikh porod tsentral'noi chasti VKMKs [Gas content of productive strata and enclosing rocks of the central part of Upper Kama Potassium Salt Deposit]. *Strategiia i protsessy osvoeniia georesurov. Sbornik nauchnykh trudov*. Perm': Gornyi institut Ural'skogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 2015, iss. 13, pp. 241-243.
20. Nesterov E.A. Mekhanizm obrazovaniia vnezapnykh otzhimov prizaboinoi chasti porod v solianom porodnom massive [The mechanism of formation of sudden squeezing of the bottom-hole part of the rocks in the salt rock mass]. *Strategiia i protsessy osvoeniia georesurov. Sbornik nauchnykh trudov*. Perm': Gornyi institut Ural'skogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 2015, iss. 13, pp. 244-246.
21. Ivanov O.V. Postroenie prognoznykh kart zon, opasnykh po gazodinamicheskim iavleniiam, na vvodimyykh v ekspluatatsiiu uchastkakh VKMKs [Creation of forecast maps of zones with gas-dynamic phenomena hazardous at the Upper Kama Potassium Salt Deposit sections being commissioned]. *Strategiia i protsessy osvoeniia georesurov. Sbornik nauchnykh trudov*. Perm': Gornyi institut Ural'skogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 2015, iss. 13, pp. 235-237.
22. Nesterova S.Iu., Andreiko S.S. Tekhnologiia degazatsii vybrosopasnogo massiva pri mekhanizirovannoi dobyche karnallita [The technology of degassing an outburst-hazardous massif during mechanized extraction of carnallite]. *Estestvennye i tekhnicheskii nauki*, 2017, no. 2, pp. 63-67.
23. Andreiko S.S., Litvinovskaia N.A., Lialina T.A. Control of gas-dynamic processes in floor rock mass in sylvinite bed AB of the Upper Kama Potassium Salt Deposit. *Gornyi Zhurnal*. Moscow: Ruda i Metally, 2015, no. 4, pp. 89-92. DOI: 10.17580/gzh.2015.04.16
24. Litvinovskaia N.A. Gazonosnost' i gazodinamicheskie kharakteristiki porod pochvy pri sloevoi vyemke tret'ego kaliinogo plasta v usloviakh rudnikov OAO "Belaruskali" [Gas content and gas-dynamic characteristics of soil rocks during layer excavation of the third potash seam in the conditions of mines of JSC "Belaruskali"]. *Strategiia i protsessy osvoeniia georesurov. Sbornik nauchnykh trudov*. Perm': Gornyi institut Ural'skogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 2016, iss. 14, pp. 315-317.
25. Andreyko S.S., Lyalina T.A. Strength-Gas relationship of sylvinite seams on verkhnekamskoye deposit. *Asian Academic Research Journal of Multidisciplinary*, 2016, vol. 3, iss. 4, pp. 219-226.
26. Ivanov O.V. et al. Issledovanie gazonosnosti solianykh porod Tret'ego kaliinogo plasta na shakhtnom pole Krasnoslobodskogo rudnika

[Investigation of the gas content of salt rocks of the Third potash layer in the mine field of the Krasnoslobodsky mine]. *Gornyi zhurnal*, 2013, no. 6, pp. 69-73.

27. Siemann M.G. Herkunft und Migration mineralgebundener Gase der Zechstein 2 Schichten in Zielits. *Kali und Steinsalz*, 2007, Heft 3, pp. 26-41.

28. 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

29. Zhang Ch., Xia-Ting F., Hui Zh., Qiu Sh., Wu W. Case Histories of Four Extremely Intense Rockbursts in Deep Tunnels. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2012, vol. 45 (3), pp. 275-288. DOI: 10.1007/s00603-011-0218-6

30. Prusek, S., Masny, W. Analysis of damage to underground workings and their supports caused by dynamic phenomena. *Journal of Mining Science*, 2015, vol. 51(1), pp. 63-72. DOI: 10.1134/S1062739115010093

31. Trubetskoi K.N., Iofis M.A., Esina E.N. Osobennosti geomekhanicheskogo obespecheniia osvoeniia mestorozhdenii, sklonnykh k gazodinamicheskim iavleniiam [Geomechanical Service in Mining under Gas and-Dynamic Phenomena]. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2015, no. 3, pp. 64-71.

32. Wojtecki Ł., Konicek P. Estimation of active rockburst prevention effectiveness during longwall mining under disadvantageous geological and mining conditions. *Journal of Sustainable Mining*, 2016, vol. 15, iss. 1, pp. 1-7. DOI: 10.1016/j.jsm.2016.04.003

33. Nierobisz A. Identification of load to dog heading support during a rockburst. *Journal of Mining Science*, 2016, vol. 52 (6), pp. 1129-1142. DOI: 10.1134/S1062739116061662

34. Sainoki A., Mitri Hani S., Yao M., Chinnasane D. Discontinuum Modelling Approach for Stress Analysis at a Seismic Source: Case Study. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016, vol. 49 (12), pp. 4749-4765. DOI: 10.1007/s00603-016-1089-7

35. Vennes I., Mitri H. Geomechanical effects of stress shadow created by large-scale destress blasting. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2017, vol. 9, iss. 6, pp. 1085-1093. DOI: 10.1016/j.jrmge.2017.09.004

36. Manouchehrian A., Cai M. Analysis of rockburst in tunnels subjected to static and dynamic loads. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2017, vol. 9, iss. 6, pp. 1031-1040. DOI: 10.1016/j.jrmge.2017.07.001

37. Warren J.K. *Evaporites: A compendium*. Berlin: Springer, 2016, 1854 p.

38. Perera M., Ranjith P.G., Choi S.K. Coal cleat permeability for gas movement under triaxial, non-zero lateral strain condition: atheoretical and experimental study. *Fuel*, 2013, vol. 109, pp. 389-399. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.02.066

39. Wang S., Elsworth D., Liu J. Rapid decompression and desorption induced energetic failure in coal. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2015, vol. 7 (3), pp. 345-350. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.01.004

40. 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. DOI: 10.1016/j.ijrmm.2015.07.006

41. Xiaogang F., Chaohui J. The cause analysis and countermeasures of coal burst at 5868 return air way heading face in Wulan coal mine. *Colliery Saf*, 2013, vol. 44 (10), pp. 196-198.

42. Quanlong L., Xinchun, L. Effective stability control research of evolutionary game in China's coal mine safety

supervision. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 2015, vol. 17 (4), pp. 49-56.

43. Konicek P., Ptacek J., Waclawik P., Kajzar V. Long-Term Czech Experiences with Rockbursts with Applicability to Today's Underground Coal Mines. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2020, vol. 52(5), pp. 1447-1458. DOI: 10.1007/s00603-018-1489-y

44. Forbes B., Vlachopoulos N., Diederichs M.S., Hyett A.J., Punkkinen A. An in situ monitoring campaign of a hard rock pillar at great depth within a Canadian mine. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2020, vol. 12, iss. 3, pp. 427-448. DOI: 10.1016/j.jrmge.2019.07.018

45. Makowski P., Niedbalski Z. A comprehensive geomechanical method for the assessment of rockburst hazards in underground mining. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. vol. 30, iss. 3, pp. 345-355. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.04.009

46. Zhang, Shichao, Ma, Tianhui, Tang Chun'an. Microseismic Monitoring and Experimental Study on Mechanism of Delayed Rockburst in Deep-Buried Tunnels. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2020, vol. 53 (6), pp. 2771-2788. DOI: 10.1007/s00603-020-02069-4

47. Vysotskii E.A., Kislik V.Z., Petrova N.S. O vliianii paleotektoniki na kharakter izmeneniia sostava kaliinykh gorizontov [On the influence of paleotectonics on the nature of changes in the composition of potash horizons]. *Doklady AN BSSR*, 1980, vol. 24, no. 8, pp. 736-739.

48. Garetskii R.G. et al. *Kaliinye soli Pripiatskogo progiba [Potassium salts of the Pripyat trough]*. Minsk: Nauka i tekhnika, 1984, 182 p.

49. Vysotskii V.A. et al. *Kalienosnye basseiny mira [Potassium-bearing basins of the world]*. Minsk: Nauka i tekhnika, 1988, 387 p.

50. Andreyko S.S., Ivanov O.V., Nesterov E.A., Litvinovskaia N.A. Issledovanie gazonosnosti produktivnykh kaliinykh plastov na novykh uchastkakh shakhtnykh polei kaliinykh rudnikov OAO "Uralkalii" i OAO "Silvinit" [Investigation of the gas content of productive potash seams in new areas of the mine fields of the potash mines of JSC Uralkali and JSC Silvinit]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal)*, 2010, no. 4, pp. 186-190.

51. Zemskov A.N., Kondrashov P.I., Travnikova L.G. Prirodnye gazy kaliinykh mestorozhdenii i mery borby s nimi [Natural gases from potash deposits and measures to combat them]. Perm', 2008, 414 p.

52. Andreiko S.S. Predotvrashchenie gazodinamicheskikh iavlenii pri provedenii uklovov, vskryvaiushchikh IV kaliinyi gorizont, v usloviakh Starobinskogo mestorozhdeniia kaliinykh soli [Prevention of gas-dynamic phenomena when making slopes opening the IV potash horizon in the conditions of the Starobinskoye potash salt deposit]. *Strategiia i protsessy osvoeniia georesurov. Sbornik nauchnykh trudov*. Perm': Gornyi institut Ural'skogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 2014, iss. 12, pp. 227-229.

53. Andreiko S.S. Tekhnologiya provedeniia uklovov, vskryvaiushchikh IV kaliinyi gorizont, po vybrosopasnym porodam prokhodcheskimi kombainami izbiratel'nogo deistviia v usloviakh rudnika 2 RU OAO "Belarus'kalii" [The technology of making slopes, opening the IV potash horizon, on outburst-hazardous rocks by roadheaders of selective action in the conditions of mine 2 RU JSC "Belaruskalii"]. *Aktualnye problemy povysheniia effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gorno-shakhtnogo i neftepromysloвого oborudovaniia. Materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Gornaia i neftianaia elektromekhanika -2015"*, Perm', 2015, pp. 125-131.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Оценка газоносности и газодинамических характеристик пород соляных и глинисто-карбонатных пачек на шахтном поле рудника Второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий» / С.С. Андрейко, Д.А. Бобров, Е.А. Нестеров, Е.В. Лукьянец // Недропользование. – 2020. – Т.20, №3. – С.270–279. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.3.7

Please cite this article in English as:

Andreyko S.S., Bobrov D.A., Nesterov E.A., Lukyanets E.V. Estimation of Gas Content and Gas Dynamic Characteristics of Salt and Clay-Carbonate Pills Rocks in the Mining Field of the 2nd Ore Management JSC "Belaruskali". *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2020, vol.20, no.3, pp.270-279. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.3.7