

РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2021.4.18

ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ПОРОД IV КАЛИЙНОГО ГОРИЗОНТА И ПОРОД КАЛИЙНОГО ГОРИЗОНТА IV-П НА ШАХТНОМ ПОЛЕ ПЕТРИКОВСКОГО ГОКА

С.С. Андрейко

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Выполнен анализ геологического строения IV и IV-п калийных горизонтов. На основании проведенного анализа строения IV, IV-п калийных горизонтов и вмещающих пород выполнена оценка потенциальной газодинамической опасности соляных пород калийных горизонтов. Приведены результаты исследований газоносности и газодинамических характеристик пород IV и IV-п калийных горизонтов, на основании которых дана количественная оценка газового фактора опасности развития газодинамических явлений в соляных породах при ведении горных работ. Для горнотехнических условий проведения горных выработок в породах IV и IV-п калийных горизонтов выполнены расчеты возможного разрушения пород кровли и почвы горных выработок при участии газового фактора. На основании результатов выполненных расчетов установлено, что разрушения приконтурной части массива соляных пород при участии газового фактора в виде обрушений пород кровли (разрушений пород почвы), сопровождающихся газовыделением, возможны при проходке подготовительных выработок в породах IV и IV-п калийных горизонтов. Для безопасной проходки подготовительных выработок (разведочных, капитальных и подготовительных выемочных столбов лав) в условиях газодинамической опасности по породам IV и IV-п калийных горизонтов разработан и внедрен комплекс мероприятий, позволяющий обеспечить безопасность ведения горных работ.

Ключевые слова: месторождения калийных солей, калийные горизонты, геологические условия, газоносность, газодинамические характеристики, газодинамическая опасность, газодинамические явления, подготовительные выработки, геологические и горнотехнические условия, комплекс мероприятий.

При проходке подготовительных выработок и ведении очистных горных работ в условиях Старобинского месторождения калийных солей опасными по газодинамическим явлениям (ГДЯ) являются: породы 12 глинисто-карбонатной пачки (12 ГКП); слой каменной соли, подстилающий Третий калийный пласт (СПКС); III калийный горизонт, включающий нижний промышленный сильвинитовый пласт (Третий калийный пласт), средний глинисто-карналлитовый пласт (ГКП) и верхний забалансовый сильвинитовый пласт; I калийный горизонт.

Газоносность и газодинамические характеристики I, II и III калийных горизонтов и разрабатываемых калийных пластов, в отличие от вмещающих их глинисто-карбонатных и соляных пачек, изучены достаточно хорошо [1-12]. Соляные породы и глинисто-карбонатные породы Старобинского месторождения калийных солей содержат природные газы, которые могут находиться в свободном и связанном (микровключенном и сорбированном) виде. Компонентный состав природных газов, как правило, следующий: азот (N_2), метан (CH_4), водород (H_2), тяжелые углеводороды (этан – C_2H_6 , пропан – C_3H_8 , бутан – C_4H_{10} , пентан – C_5H_{12}), диоксид углерода (CO_2) и др. Свободные газы в соляных и глинисто-карбонатных породах находятся в виде очаговых и приконтактных скоплений, а также в микровключенном (связанном) виде. Газоносность и газодинамические характеристики пород IV калийного горизонта начали изучаться в 2018 году при вскрытии горизонта уклонами на шахтном поле рудника 2 РУ. Дальнейшие исследования проводились по мере развития подготовительных горных работ.

В условиях Старобинского месторождения IV калийный горизонт представлен чередованием слоев сильвинита, галита и галопелитовых прослоев различной мощности (рисунок 1).

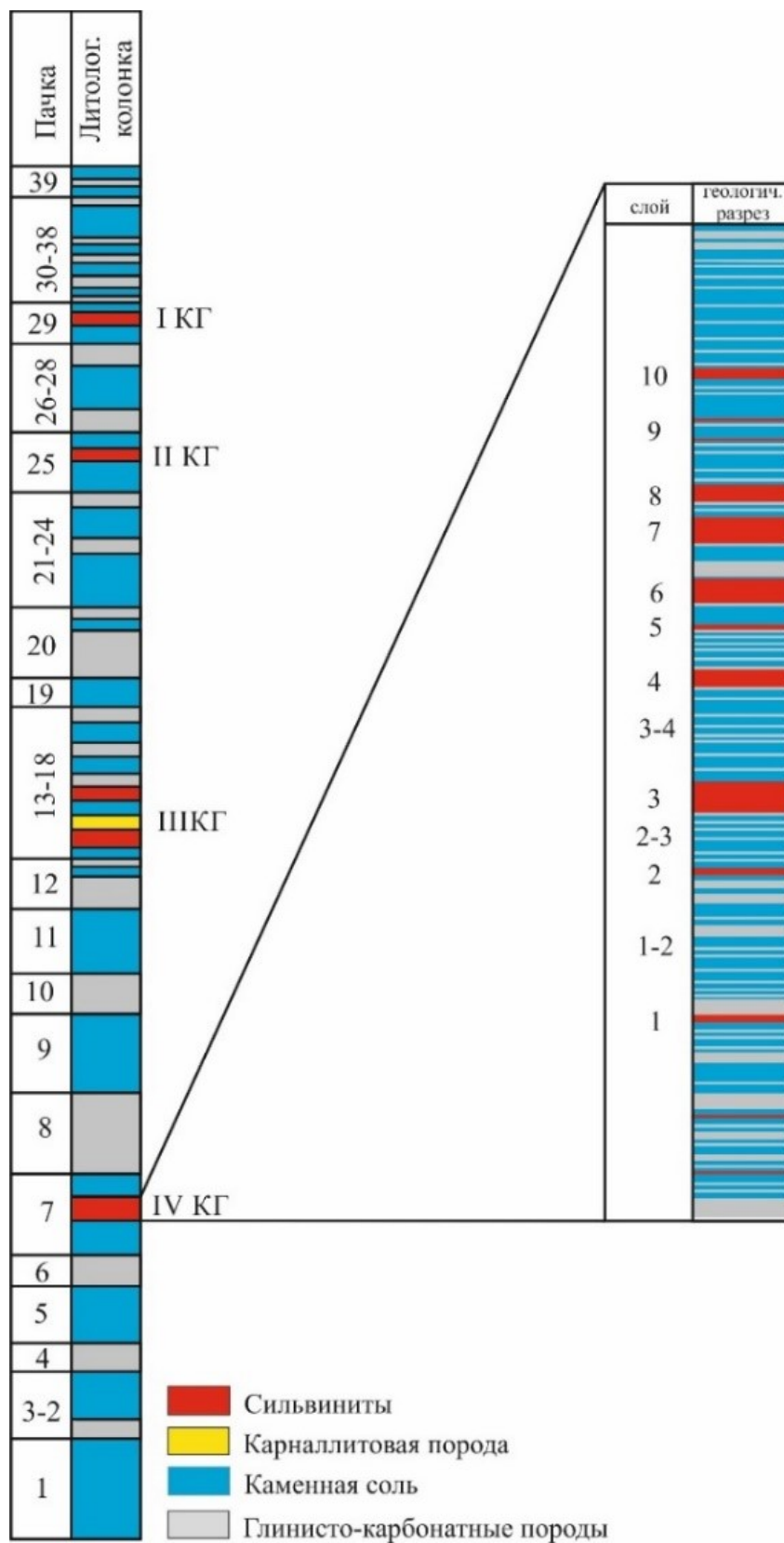


Рис. 1. Геологическое строение соленосной толщи Старобинского месторождения калийных солей

Всего в геологическом разрезе IV калийного горизонта выделено 22 сильвинитовых слоя [13-17]. При этом не все 22 сильвинитовых слоя из-за незначительной мощности и низкого содержания полезного компонента – хлористого калия – имеют промышленное значение. Для промышленной добычи перспективными являются только четыре слоя в нижней части геологического разреза IV калийного горизонта: 6, 7, 8 и 10 сильвинитовые слои. При этом следует отметить, что вовлечение в отработку 10 сильвинитового слоя в составе промышленного пласта перспективно только в северной части Старобинского месторождения в пределах шахтных полей рудников 2 РУ и ЗРУ, где вскрытие и отработка промышленного пласта IV калийного горизонта в ближайшее время не планируется.

Газоносность пород калийного горизонта IV-п по свободным газам на шахтном поле рудника Петриковского ГОКа до настоящего времени изучалась только на стадии ведения геологоразведочных работ с поверхности методом газового каротажа. В этой связи данные носят предварительный характер, сведения о количественных показателях газоносности и компонентном составе свободных газов пород калийного горизонта IV-п отсутствуют. Газодинамические характеристики пород калийного горизонта IV-п, такие как давление свободных газов и начальная скорость газовыделения из породного массива, на основании которых можно оценивать газодинамическую опасность соляных пород, вообще не изучались.

Калийный горизонт IV-п является основным промышленным горизонтом Петриковского месторождения [18-20]. Он имеет наибольшую площадь развития в пределах изученной части как Северного участка (240 км²), так и Южного (около 186 км²) [1-6]. По данным геологоразведочных работ, проведенных в 1979-80 годах на прилегающем с севера к Петриковскому месторождению Копаткевичском участке, калийный горизонт отмечен севернее Южно-Копаткевичского вала в центральной и северной части этого участка за исключением сводов Копаткевичского, Зареченского и Западно-Гороховского поднятий. Глубина залегания калийного горизонта IV-п на площади Северного участка Петриковского месторождения изменяется в пределах от 516 до 1386 м. Горизонт залегает на относительно небольшой глубине в западной части Северного участка, все глубже погружаясь в восточном направлении. Максимальная глубина залегания кровли горизонта IV-п составляет 1300 м и отмечена в восточной части Северо-Шестовичской синклиналиной зоны. Калийный горизонт IV-п представлен чередованием калийных слоев и слоев каменной соли. Верхняя часть горизонта сложена каменной солью с редкими слоями карналлит-сильвиновой породы и сильвинита мощностью до 30 см. Средняя часть горизонта IV-п представлена каменной солью и слоями галопелитов мощностью до 0,40 м. В нижней части горизонта наблюдается чередование слоев сильвинита и каменной соли (рисунок 2). Таким трехчленным строением горизонт IV-П напоминает III калийный горизонт на Старобинском месторождении.

Промышленное значение имеет нижняя часть горизонта – нижний сильвинитовый пласт, состоящий из четырех калийных слоев, пронумерованы (снизу вверх) от 1 до 4. Слои каменной соли, разделяющие их, имеют номера: 1-2, 2-3 и 3-4. В каменной соли, разделяющей калийные соли, имеется вкрапленность сильвина и карналлита.

На большей части Северного и Южного участков Петриковского месторождения основные калийные слои с 1 по 4 и разделяющие их слои каменной соли выдержаны и хорошо коррелируются между собой. Преобладающая мощность слоев составляет: слой 1 – от 0,90 м до 1,60 м; слой 2 – от 0,29 м до 0,50 м; слой 3 – от 0,75 м до 1,28 м; слой 4 – от 0,17 м до 1,38 м. Мощность прослоев каменной соли равны: (1-2) – от 0,99 до 1,50 м; (2-3) – от 0,56 до 0,90 м; (3-4) – от 1,01 м до 1,86 м.

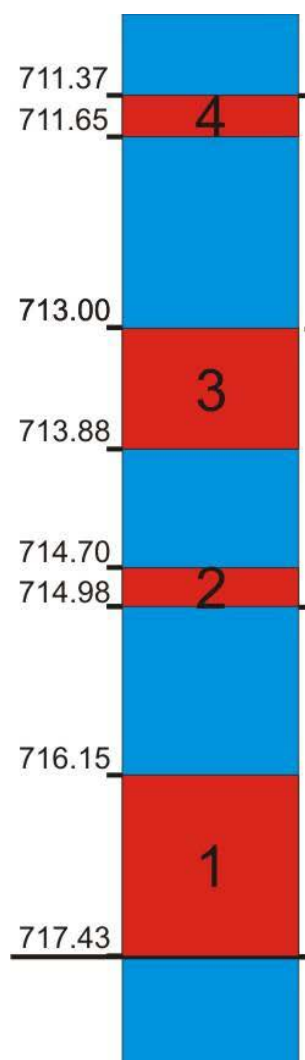


Рис. 2. Геологический разрез нижнего сильвинитового пласта калийного горизонта IV-п на шахтном поле рудника Петриковского ГОКа [7]

Исследования газоносности по свободным газам показали, что газоносность пород нижнего сильвинитового пласта горизонта IV-п по свободным газам изменяется в диапазоне значений от $0,02 \text{ м}^3/\text{м}^3$ до $0,35 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при среднем значении $0,15 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Газоносность изученной части среднего галитового пласта горизонта IV-п по свободным газам варьирует в более широком диапазоне значений – от $0,02 \text{ м}^3/\text{м}^3$ до $1,61 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при среднем значении $0,35 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Газоносность по свободным газам соляных пород, вмещающих калийный горизонт IV-п, изменяется незначительно – от $0,1 \text{ м}^3/\text{м}^3$ до $0,17 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при среднем значении $0,12 \text{ м}^3/\text{м}^3$. В процессе проведения исследований повышенные газовыделения установлены в нижней части слоя каменной соли 1-2, приуроченные к галопелитовым прослойкам, а также в средней части галитового пласта, содержащей слой карналлита, мощностью 0,2 м.

Экспериментальные исследования газодинамических характеристик массива соляных пород горизонта IV-п показали, что начальная скорость газовыделения из массива изменяется от 0,01 л/мин до 4,74 л/мин, а давление свободных газов изменяется в незначительном диапазоне значений – от 0,19 МПа до 0,22 МПа. Максимальные значения газодинамических характеристик пород – давления свободных газов, равного 0,22 МПа, и начальной скорости газовыделения, равной 4,74 л/мин, приурочены к интерва-

лу среднего галитового пласта, содержащего слой карналлита, мощностью 0,2 м. В сильвинитовых и галитовых слоях нижнего пласта калийного горизонта IV-п значения начальной скорости газовыделения изменяются в довольно широком диапазоне – от 0,01 л/мин до 2,35 л/мин, однако при этом давление свободных газов не превышает величины 0,19 МПа.

Породы калийного горизонта IV-п принимаются потенциально опасными по газодинамическим явлениям на основании следующих признаков [5, 7]: величине геостатической составляющей горного давления, как одного из факторов газодинамической опасности пород, изменяющейся в пределах от 10,8 МПа до 27,3 МПа и сопоставимой с величиной на III калийном горизонте, опасном по ГДЯ в условиях Старобинского месторождения; наличию в породах горизонта IV-п относительно мощных галопелитовых прослоев, отличающихся высокой пористостью и газопроницаемостью, которые могут содержать скопления свободных газов, преимущественно приконтактные и межслоевые; свидетельства миграции водных растворов, возможно газонасыщенных, в породах калийного горизонта IV-п в виде зон эпигенетических преобразований соляных пород (зоны замещения сильвинитовых слоев каменной солью различного размера); наличию в породах, подстилающих калийный горизонт IV-п, глинисто-карбонатных пачек (галитовая подтолща верхней соленосной толщи, межсолевая толща, нижняя соленосная толща, подсолевая терригенная толща), которые могли служить источниками газонасыщенных водных растворов; выполнение условия «экранированности» горизонта IV-п расположенными в кровле газонепроницаемыми пластами каменной соли. Такие геологические условия строения калийного горизонта IV-п и вмещающих его пород вполне могли способствовать образованию свободных газов в соляном породном массиве, их субвертикальной и латеральной миграции, а также концентрации в виде приконтактных очаговых скоплений свободных газов. Концентрированные скопления свободных газов, приуроченные к контактам литологических разностей пород, глинистым прослойкам и слоям, зонам трещиноватости и расслоениям различной генетической природы, при проходке подготовительных выработок и ведении очистных горных работ по породам калийного горизонта IV-п, могут быть потенциальными (природными) очагами газодинамических явлений. При проходке горных выработок по породам калийного горизонта IV-п скопления свободных газов могут подрабатываться или надрабатываться и, как следствие, возможны динамические разрушения приконтурной части выработок в виде обрушений пород кровли (разрушений пород почвы), сопровождающихся газовыделением.

Породы IV калийного горизонта на шахтном поле рудника 2 РУ принимаются потенциально опасными по газодинамическим явлениям по следующим признакам: увеличению геостатической составляющей горного давления как одного из факторов газодинамической опасности пород примерно на 3,74 МПа (увеличение глубины залегания IV калийного горизонта примерно на 170 м по сравнению с III калийным горизонтом); наличию в породах горизонта слоев и прослоев галопелитов различной мощности, отличающихся повышенной пористостью и газопроницаемостью, в которых могут находиться или формироваться скопления свободных газов (приконтактные или межслоевые); наличию зон эпигенетических (вторичных) преобразований соляных пород, свидетельствующих о миграции водных растворов, возможно газонасыщенных; наличие в породах, подстилающих IV калийный горизонт, глинисто-карбонатных пачек (2-й, 4-й и 6-й, рисунок 1), которые могли служить источниками газонасыщенных водных растворов; выполнение условия «экранированности» горизонта за счет расположения в кровле горизонта

газонепроницаемых слоев и пластов каменной соли. В целом анализ геологического строения IV калийного горизонта и вмещающих его пород позволяет предполагать с большой долей вероятности протекание в толще пород процессов миграции водных газонасыщенных растворов. В зависимости от направленности флюидопроводников, миграция может происходить вертикально, в подстилающей толще и между пластами пород или горизонтально, по одному или нескольким слоям или пластам. В процессе перемещения газонасыщенного водного раствора происходит вторичное преобразование горной породы (перекристаллизация) с одновременным выделением газов из растворов в свободную фазу. Таким образом, в соляных породах формируются скопления свободного газа как на контакте отдельных слоев (приконтактные скопления), так и между различными слоями и пластами породы (межслоевые скопления). Такие приконтактные и межслоевые скопления свободных газов при техногенном воздействии при проходке горных выработок по породам IV калийного горизонта могут приводить, как показывает практика ведения горных работ на III калийном горизонте, к динамическим разрушениям приконтурной части массива горных пород в виде газодинамических явлений [7, 21].

Данные экспериментальных исследований газоносности по свободным газам и газодинамических характеристик пород IV калийного горизонта в условиях рудника 2 РУ показали, что породы горизонта газоносны, начальная скорость газовыделения может достигать величины 6,42 л/мин, а давление свободных газов в породах 0,25 МПа. Наличие в породах горизонта большого числа галопелитовых слоев и прослоек, отличающихся высокой пористостью и газопроницаемостью и являющихся наиболее слабыми несущими элементами кровли и почвы выработок, позволяет обосновано предполагать формирование в приконтурном массиве расслоений с различной величиной раскрытия. Таким образом, пустоты, образовавшиеся в значительном количестве в соляном породном массиве, аккумулируют в себе свободный газ и впоследствии, при ведении горных работ, становятся потенциальными очагами газодинамических явлений. В определенных горнотехнических и геологических условиях ведения горных работ в породах IV калийного горизонта при отсутствии профилактической дегазации пород кровли (почвы) горных выработок могут происходить динамические разрушения приконтурной части массива в виде газодинамических явлений – внезапных обрушений пород кровли (разрушений пород почвы), сопровождающихся газовыделением.

Для условий ведения горных работ в породах IV калийного горизонта в условиях рудника 2 РУ и в породах калийного горизонта IV-п в условиях рудника Петриковского ГОКа выполнены расчеты, позволяющие оценить возможность динамического разрушения приконтурной части массива в кровле и почве горных выработок. При этом рассматривалась возможность обрушения кровли (разрушения почвы) выработки вследствие раскрытия одного глинистого контакта и нарастания в нем давления газа до величины, установленной шахтными экспериментальными исследованиями. Оценка возможности реализации ГДЯ в кровле (почве) выработки основывалась на известных результатах моделирования изменения ее напряженно-деформированного состояния и критериальной оценке разрушения пород при отработке газонасыщенного неоднородного слоистого породного массива – зависимостям (1)-(4) [5, 6]. При этом для газодинамических явлений из пород кровли оценка возможности развития оценивается в зависимости от места нахождения скопления газа – в призабойной (1) и вне призабойной (2) зонах [2-4]:

$$P_z > (0,7925 \cdot \sigma_p \cdot h_z^2 \cdot a^{-2} - \gamma h_z) + \Delta_{z.n.} \quad (1)$$

$$P_z > (0,5 \cdot \sigma_p \cdot h_z^2 \cdot a^{-2} - \gamma h_z) + \Delta_{z.n.} \quad (2)$$

где P_z – давление свободного газа в приконтактном или межслоевом скоплении; σ_p – предел прочности пород при растяжении; h_z – расстояние от кровли выработки до приконтактного или межслоевого скопления газа; $2a$ – ширина выработки; γ – плотность пород кровли; $\Delta_{z.n.}$ – сцепление по слою или прослойку галопелитов.

Такое же деление условий протекания газодинамических явлений существует и для газовых скоплений в почве горных выработок. Формула (3) используется для оценки возможности протекания ГДЯ в призабойной зоне, а формула (4) – вне призабойной зоне [2-4]:

$$P_z > (0,7925 \cdot \sigma_p \cdot h_z^2 \cdot a^{-2} + \gamma h_z) + \Delta_{z.n.} \quad (3)$$

$$P_z > (0,5 \cdot \sigma_p \cdot h_z^2 \cdot a^{-2} + \gamma h_z) + \Delta_{z.n.} \quad (4)$$

В соответствии с расположением проходческо-очистного оборудования в проходимой горной выработке и нахождением персонала к призабойной зоне относилась та часть горной выработки, которая расположена на расстоянии от забоя не более 20 м, а при расстоянии более 20 м – вне призабойная часть выработки.

Результаты выполненных расчетов для конкретных горнотехнических условий проходки горных выработок выемочных столбов лав в породах IV калийного горизонта в условиях рудника 2 РУ показали, что газодинамические явления возможны из кровли и почвы горных выработок как в призабойной зоне, так и вне призабойных зон. Пример расчетов представлен в таблице 1.

Аналогичные расчеты для конкретных горнотехнических условий проходки горных выработок выемочных столбов лав в породах горизонта IV-п была выполнены для условий рудника Петриковского ГОКа. Результаты расчетов развития ГДЯ в панельных линейных горных выработках при расположении кровли в сильвинитовом слое 3 нижнего промышленного пласта калийного горизонта IV-п показали, что газодинамические явления в виде обрушений пород кровли, сопровождающихся газовыделением, не прогнозируются в призабойной и вне призабойной зон.

Результаты расчетов развития ГДЯ на сопряжениях подготовительных горных выработок выемочных столбов лав и в камерах разворота транспорта при расположении кровли в слое каменной соли 3-4 и сильвинитовом слое 3 нижнего промышленного пласта калийного горизонта IV-п показали, что газодинамические явления в виде обрушений пород кровли, сопровождающихся газовыделением, прогнозируются на сопряжениях и в камерах разворота транспорта в конвейерном и транспортном штреках лавы (таблица 2).

На основании прогнозирования газодинамической опасности пород IV калийного горизонта на шахтном поле рудника 2 РУ и пород калийного горизонта IV-п на шахтном поле Петриковского ГОКа можно сделать следующие выводы.

Для безопасной проходки подготовительных (разведочных, капитальных и подготовительных выемочных столбов лав) выработок рекомендуется предусматривать следующие меры, обеспечивающие безопасность ведения горных работ:

– постоянный непрерывный мониторинг газовой обстановки в подготовительных и разведочных выработках по содержанию горючих газов;

- контроль предупредительных признаков и предвестников ГДЯ в забоях горных выработок рабочими – непрерывно в процессе проходки, лицами горного надзора – при каждом посещении горной выработки;
- установление порядка действий рабочих и лиц горного надзора при появлении в забое выработки предупредительных признаков и предвестников ГДЯ;
- дифференцированное (избирательное) применение мелкошпурового и глубокого профилактического дегазационного бурения в кровлю и почву выработок для предотвращения газодинамических явлений в виде внезапных обрушений (разрушений) пород кровли (почвы), сопровождающихся газовыделением.

Таблица 1

Результаты расчетов прогнозирования ГДЯ из кровли на сопряжениях в горных выработках выемочного столба лавы в условиях IV калийного горизонта

| № п/п | Название выработки | Расстояние от кровли выработки до очага ГДЯ, h_z , м | Безопасное давление газа P_0^* , МПа | Давление газа в очаге P_z , МПа | ГДЯ в момент разделки сопряжения, ($t = 0$) | ГДЯ после оформления сопряжения |
|-------|----------------------|--|--|-----------------------------------|---|---------------------------------|
| 1. | Вентиляционный штрек | 0,62 | 0,10/0,06 | 0,19 | $P_0 < P_z$, прогнозируются | $P_0 < P_z$, прогнозируются |
| 2. | Конвейерный штрек | 0,62 | 0,08/0,07 | 0,19 | $P_0 < P_z$, прогнозируются | $P_0 < P_z$, прогнозируются |
| 3. | Закладочный штрек | 1,16 | 0,11/0,09 | 0,19 | $P_0 < P_z$, прогнозируются | $P_0 < P_z$, прогнозируются |

* – числитель – в момент разделки сопряжения, знаменатель – после оформления сопряжения.

Таблица 2

Результаты расчетов прогнозирования ГДЯ на сопряжениях подготовительных горных выработок выемочного столба лавы при расположении кровли в слое каменной соли 3–4 и сильвинитовом слое 3 нижнего промышленного пласта калийного горизонта IV-п\

| № п/п | Название выработки | Расстояние от кровли выработки до очага ГДЯ, h_z , м | Безопасное давление газа P_0^* , МПа | Давление газа в очаге P_z , МПа | ГДЯ в призабойной зоне, ($t = 0$) | ГДЯ вне призабойной зоны |
|-------|---|--|--|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1. | Сопряжения на конвейерном и транспортном штреках лавы | 2,13 | 0,25/0,16 | 0,19 | $P_0 \approx P_z$, прогнозируются | $P_0 < P_z$, прогнозируются |
| 2. | Сопряжения на вентиляционном штреке лавы | 3,44 | 0,62/0,39 | 0,19 | $P_0 > P_z$, не прогнозируются | $P_0 > P_z$, не прогнозируются |

* – числитель – в момент разделки сопряжения, знаменатель – после оформления сопряжения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 20-45-596017
«Геохимическая и геодинамическая эволюция газовой фазы месторождений
калийных солей как основа безопасного недропользования»*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проскуряков Н.М. Внезапные выбросы породы и газа в калийных рудниках. – М.: Недра, 1980. – 264 с.
2. Ковалев О.В., Ливенский В.С., Былино Л.В. Особенности безопасной разработки калийных месторождений. – Минск: Полымя, 1982. – 96 с.: ил.
3. Проскуряков Н.М., Ковалев О.В., Мещеряков В.В. Управление газодинамическими процессами в пластах калийных руд. – М.: Недра. –1988. – 239 с.
4. Проскуряков Н.М. Управление состоянием массива горных пород. – М.: Недра, 1991. – 368 с.
5. Андрейко С.С., Калугин П.А., Щерба В.Я. Газодинамические явления в калийных рудниках: Генезис, прогноз и управление / под ред. В.Я. Прушака. – Минск: Выш. шк., 2000. – 335 с.: ил.
6. Щерба В.Я., Башура А.Н., Андрейко С.С. Управление газодинамическими процессами на Старобинском месторождении калийных солей / под ред. В.Я. Прушака. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 194 с.: ил.
7. Андрейко С.С. Механизм образования очагов газодинамических явлений в соляном породном массиве. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. – 196 с.
8. Земсков А.Н., Кондрашев П.И., Травникова Л.Г. Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними. – Пермь: Тип. Купца Тарасова, 2008. – 412 с.: ил., табл.
9. Андрейко С.С., Иванов О.В., Нестеров Е.А. Борьба с газодинамическими явлениями при разработке Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей // Науч. исслед. и инновации. – 2009. – Т. 3, № 4. – С. 34-37.
10. Тараканов В.А., Головатый И.И., Береснев С.П., Андрейко С.С., Иванов О.В. Исследование газоносности пород пласта третьего калийного горизонта Старобинского месторождения // Горн. журн. – 2010. – № 8. – С. 25-27.
11. Нестеров Е.А. Исследование газодинамической опасности пород III калийного горизонта шахтного поля вводимого в эксплуатацию Краснослободского рудника 2РУ ОАО «Беларуськалий» // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 10 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2012. – С. 232-234.
12. 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. Вып. 14 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2016. – С. 315-317.
13. Геология и петрография калийных солей Белоруссии:[сб. ст.] / [под ред. А.С. Махнач, Ю.И. Лупиновича]. – Минск: Наука и техника, 1969. – 367 с.: ил.
14. Калийные соли Припятского прогиба / [Р.Г. Гарецкий, Э.А. Высоцкий, В.З. Кислик и др.]; ред. А.В. Кудельский. – Минск: Наука и техника, 1984. – С. 124-125.
15. Девонские соленосные формации Припятского прогиба / [Р.Г. Гарецкий, В.З. Кислик, Э.А. Высоцкий и др.]; ред. А.В. Кудельский]. – Минск: Наука и техника, 1982. – 208 с.: ил.
16. Высоцкий Э.А., Губин В.Н., Кутырло В.Э. Экономико-географические аспекты калийной промышленности мира // Вестник БГУ. Сер. 2. – 2007. – № 1. – С. 90-96.
17. Месторождения калийных солей Беларуси: геология и рациональное недропользование / Э.А. Высоцкий, В.Н. Губин, А.Д. Смычник и др. – Минск: БГУ, 2003. – 263 с.
18. Зеленцов И.И. Геологическая характеристика нового Петриковского месторождения калийных солей // Геология и петрография калийных солей Белоруссии:[сб. ст.] – Минск: Наука и техника, 1969. – С. 131-139.
19. Ерошина Д.М., Высоцкий Э.А. Особенности тектонического развития территории Петриковского месторождения калийных солей в позднем девоне // Геология нерудных полезных ископаемых БССР: сб. науч. тр. – Минск, 1978. – С. 49-66.
20. Ерошина Д.М., Зеленцов И.И. О новых калийных горизонтах западной части Шатилковской депрессии // Геология и петрография калийных солей Белоруссии:[сб. ст.] – Минск: Наука и техника, 1969. – С. 112-130.
21. Береснев С.П., Сенюк В.В., Гончар В.И., Андрейко С.С., Литвиновская Н.А. Исследование механизма формирования опасных по газодинамическим явлениям зон в породах калийного горизонта // Горн. журн. – 2010. – № 8. – С. 31-33.