

Научная статья
УДК 622.831.322

А.К. Дудин, О.В. Иванов

A.K. Dudin, O.V. Ivanov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**ОЦЕНКА ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ
ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ В ПРЕДЕЛАХ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ШАХТНОГО ПОЛЯ
РУДНИКА БКПРУ-2**

**ASSESSMENT OF THE GAS DYNAMIC HAZARD
OF PRODUCTIVE FORMATIONS WITHIN THE NORTH-WESTERN
PART OF THE MINE FIELD OF THE BKPRU-2 MINE**

На основе новых геологических данных построены уточненные карты зон, опасных по газодинамическим явлениям, для пластов КрII и АБ, дана оценка газодинамической опасности в пределах северо-западной части шахтного поля рудника БКПРУ-2.

Ключевые слова: газодинамические явления, прогнозная карта зон, карта зон, геологоразведочные работы, силвинитовый пласт, карналлитовый пласт, каменная соль.

In the work, on the basis of new geological data, updated maps of hazardous zones for the gas dynamic phenomena, for the KrII and AB layers, were constructed, and an assessment of the gas dynamic hazard was also given, within the northwestern part of the mine field of the BKPRU-2 mine.

Keywords: gas dynamic phenomena, forecast map, zone map, geological exploration, silvinit bank, carnallite bank, rock salt.

Данная проблема в настоящий момент актуальна и требует уточнений в связи с получением новых результатов геологоразведочных работ. Исследование предполагает прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений (ГДЯ) из забоя горных выработок в виде внезапных выбросов соли и газа, которые представляют опасность и серьезную угрозу жизни работников шахты. Такие явления сопровождаются разрушением приконтурной части массива с большой скоростью (до 30 м/с), выбросом разрушенной горной породы в выработку, интенсивным газовыделением и ударной воздушной волной.

В связи с этим мы дадим общую оценку данного явления. Цель работы: на основе теоретических и эмпирических данных дать оценку

газодинамической опасности продуктивных пластов в пределах северо-западной части шахтного поля рудника БКПРУ-2 [1].

Процедура прогноза зон, опасных по ГДЯ, заключается в подстановке значений геологических показателей в конкретной точке наблюдения в решающие правила и определении значения дискриминантной функции. На основании рассчитанных значений дискриминантной функции производится отнесение точки наблюдения к зоне, опасной или неопасной по ГДЯ. В случае если подстановочное значение дискриминантной функции является положительным, то точка наблюдения относится к зоне, опасной по ГДЯ, а при отрицательном значении – к зоне, неопасной по ГДЯ. Точками наблюдения могут служить поверхностные скважины детальной разведки, подземного разведочного бурения и бороздовые пробы.

В «Руководстве по прогнозированию ...» применяются унифицированные решающие правила, которые позволяют проводить региональный и локальный прогноз. Региональный прогноз осуществляется по данным, полученным при бурении геологоразведочных скважин с поверхности, а локальный – по данным эксплуатационной разведки и результатам бороздового опробования калийных пластов непосредственно в горных выработках.

В каждой точке опробования определяется численное значение решающего правила F_p , которое заносится на карту с заданными координатами. Путем интерполяции между точками с полученными значениями решающего правила находится его нулевое значение, являющееся границей зон с положительным значением – опасной по ГДЯ, с отрицательным – неопасной.

Прогноз зон, опасных по ГДЯ, и построение прогнозных карт осуществляется отдельно для сильвинитового пласта КрII, пласта АБ сильвинитового или смешанного состава геологической службой рудника. Карты зон, опасных по ГДЯ, ежегодно дополняются при составлении планов горных работ по каждой из планируемых к отработке и подготовке панелей или блоков и передаются на горные участки [2].

При ведении подготовительных и очистных горных работ на шахтных полях рудников ПАО «Уралкалий» в пределах зон влияния дизъюнктивных геологических нарушений (Зырянского сдвига, Троицкого надвига, Соликамского надвига и других дизъюнктивных нарушений) возможны интенсивные газовыделения и газодинамические явления из кровли и забоя горных выработок [3]. Для уточнения границ зон влияния дизъюнктивных геологических нарушений должны проводиться исследования газоносности и структурно-геологических особенностей пластов на участке шахтного поля, в пределах которого прогнозируется или выявлено нарушение. Мероприятия по безопасному ведению горных работ в зоне влияния дизъюнктивного геологического нарушения (режим полуавтоматического (дистанционного) управления комбайном, изменение

параметров системы разработки, изменение формы сечения и ширины выработки, изменение параметров дегазационного бурения, уменьшение скорости проходки выработки комбайном с одновременным применением контроля предупредительных признаков и предвестников ГДЯ, использование методов физико-механического воздействия на горные породы в зонах, опасных по ГДЯ – торпедирование, камуфлетное взрывание, сотрясательное взрывание и т.п., принимаются после установления границ зоны влияния дизъюнктивного нарушения по ГДЯ на основании результатов изучения структурно-тектонических особенностей строения и газоносности в пределах данного участка шахтного поля рудника ПАО «Уралкалий» [4].

Решающее правило для отнесения точки наблюдения к зоне, опасной по ГДЯ из кровли пласта КрII, имеет вид [5]

$$F_p = 14,11 \times X_1 - 21,75 \times X_2 - 23,44 \times X_3 - 21,73 \times X_4 + 289,2 \times X_5 - 4,31 \times X_6 - 17,73 \times X_7 + 2034,33 \geq 0,$$

где X_1 – мощность пласта КрII, м; X_2 – содержание KCl в породах пласта КрII, %; X_3 – содержание MgCl₂ в пласте КрII, %; X_4 – содержание NaCl в пласте КрII, %; X_5 – содержание Br в пласте КрII, %; X_6 – содержание CaSO₄ в пласте КрII, %; X_7 – содержание нерастворимого остатка в пласте КрII, %.

Процедура прогноза заключается в подстановке численных значений показателей $X_1 \dots X_7$ в выражение и получении рассчитанного значения F_p . В том случае, если рассчитанное значение $F_p \geq 0$, точка наблюдения относится к зоне, опасной по ГДЯ, в противном случае, если $F_p < 0$, точка наблюдения относится к зоне, неопасной по ГДЯ

На основе новых данных геологоразведочных работ в северо-западной части шахтного поля рудника БКПРУ-2 построены карты прогноза, представленные на рис. 1 и 2.

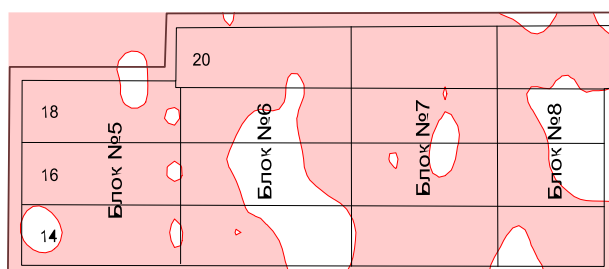


Рис. 1. Прогнозная карта зон, опасных по ГДЯ из кровли пласта КрII, на шахтном поле рудника БКПРУ-2 по новым данным

Как видно из рис. 1, пласт КрII практически на всей северо-западной части шахтного поля рудника БКПРУ-2 относится к зонам, опасным по ГДЯ. Отмечаются лишь небольшие локализованные участки в центрах 6, 7 и 8-го блоков.

Состав пород пласта Б по площади Верхнекамского месторождения калийных солей весьма изменчив – от каменной соли до карналлита. Статистический анализ геологических условий возникновения ГДЯ показал, что наибольшее количество ГДЯ зафиксировано при сильвинитовом составе пород пласта АБ и на площадях, где пласт Б представлен смешанными солями (сильвинит + карналлит). Причем максимальным различием состава пород обладает пласт Б. Поэтому для разделения исходных данных по составу пород и для получения решающих правил прогнозирования зон, опасных по ГДЯ, для различных составов пород использовались геологические данные по пласту Б.

Разведочный анализ исходных данных по пласту Б показал, что границей разделения состава пород пласта Б на сильвинитовый и смешанные соли является содержание в породах пласта KCl и $MgCl_2$, которые имеют следующие значения:

– для сильвинитового состава пласта Б содержание KCl не менее 22 %, содержание $MgCl_2$ не более 1 %;

– для смешанных солей – содержание KCl не менее 22 %, содержание $MgCl_2$ свыше 1 %.

Аналогичные содержания этих компонентов приняты по блоку в условиях для подсчета запасов на Верхнекамском месторождении.

Прогнозирование зон, опасных по ГДЯ, для условий отработки пласта АБ может производиться в зависимости от числа используемых показателей с помощью четырех решающих правил для сильвинитового состава пород пласта Б и одного решающего правила для смешанных солей пласта Б.

В том случае, если пласт Б представлен карналлитовой породой, точка наблюдения относится к зоне, опасной по ГДЯ [6].

В зависимости от наличия в точке наблюдения данных о газоносности пород пласта АБ и пределе прочности на сжатие пород пласта каменной соли Б-В решающее правило прогноза зон, опасных по ГДЯ, для сильвинитового состава пород пласта Б имеет следующий вид:

– при отсутствии данных по газоносности и по пределу прочности на сжатие пород пласта каменной соли Б-В [5]

$$F_p = -19,98 \times X_1 - 1,16 \times X_2 + 31,18 \times X_3 - 3,64 \times X_4 - 747,02 \times X_5 + 6,87 \times X_6 - 4,57 \times X_7 + 310,72 \geq 0;$$

– при наличии данных по газоносности и по пределу прочности на сжатие пород пласта каменной соли Б-В

$$F_p = -0,36 \times X_1 - 1,21 \times X_2 - 4,19 \times X_3 - 1,14 \times X_4 + 37,55 \times X_5 - 0,26 \times X_6 - 1,02 \times X_7 + 0,017 \times X_8 + 1,83 \times X_9 + 107,69 \geq 0;$$

– при наличии данных по пределу прочности на сжатие пород пласта каменной соли Б-В

$$F_p = 0,03 \times X_1 - 1,25 \times X_2 - 4,05 \times X_3 - 1,14 \times X_4 + 58,64 \times X_5 - 0,29 \times X_6 - 1,11 \times X_7 + 0,007 \times X_8 + 111,6 \geq 0;$$

– при наличии данных по газоносности пород пласта АБ

$$F_p = -0,17 \times X_1 - 1,19 \times X_2 - 3,94 \times X_3 - 1,11 \times X_4 + 40,15 \times X_5 - 0,32 \times X_6 - 1,04 \times X_7 + 1,77 \times X_9 + 107,69 \geq 0,$$

где X_1 – мощность пласта Б, м; X_2 – содержание КСl в породах пласта Б, %; X_3 – содержание MgCl₂ в пласте Б, %; X_4 – содержание NaCl в пласте Б, %; X_5 – содержание Вг в пласте Б, %; X_6 – содержание CaSO₄ в пласте Б, %; X_7 – содержание нерастворимого остатка в пласте Б, %; X_8 – предел прочности пород пласта каменной соли Б-В на сжатие, кгс/см²; X_9 – ранг газоносности пласта Б, принимается равным 1, если установленная замерами средняя газоносность пласта АБ превышает 0,4 м³/м³, в обратном случае ранг газоносности равен 0.

В случае когда отсутствуют данные о пределе прочности на сжатие пород пласта каменной соли Б-В, но имеются сведения о содержании нерастворимого остатка в породах пласта каменной соли Б-В, для определения предела прочности используется следующая зависимость:

$$\sigma_{сж} = 275,71 - 10,98 \cdot \text{Н.О.},$$

где Н.О. – содержание нерастворимого остатка в породах пласта каменной соли Б-В, %.

Решающее правило для прогноза зон, опасных по ГДЯ, для смешанных солей пласта Б представляет собой следующую дискриминантную функцию [5]:

$$F_p = -1,39 \times X_1 + 0,06 \times X_2 - 0,66 \times X_3 - 0,05 \times X_4 - 40,24 \times X_5 - 1,46 \times X_6 - 1,3 \times X_7 + 23,73 \geq 0,$$

где X_1 – мощность пласта Б, м; X_2 – содержание КСl в породах пласта Б, %; X_3 – содержание MgCl₂ в пласте Б, %; X_4 – содержание NaCl в пласте Б, %; X_5 – содержание Вг в пласте Б, %; X_6 – содержание CaSO₄ в пласте Б, %; X_7 – содержание нерастворимого остатка в пласте Б, %.

Как видно из рис. 2, пласт АБ в пределах северо-западной части шахтного поля рудника БКПРУ-2 относится к зонам, опасным по ГДЯ, на границах блоков, панелей и шахтного поля. В центре 5-го блока 16-й панели зона, опасная по ГДЯ, вероятнее всего, из-за присутствия в составе пород пласта АБ смешанных солей. Можно отметить, что зон, опасных по ГДЯ, на пласте АБ наблюдается гораздо меньше, чем на пласте КрII.

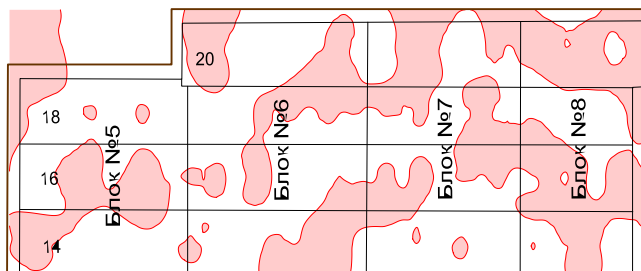


Рис. 2. Прогнозная карта зон, опасных по ГДЯ, из кровли пласта АБ, на шахтном поле рудника БКПРУ-2 по новым данным

Заключение

На основе свежих результатов геологоразведочных работ и с использованием решающих правил прогноза зон, опасных по ГДЯ, для шахтного поля рудника БКПРУ-2, построены уточненные карты зон, опасных по ГДЯ, для пластов КрII и АБ в пределах 22-й западной панели шахтного поля рудника БКПРУ-2.

Список литературы

1. Андрейко С.С., Лукьянец Ю.В. Анализ факторов газоносности и тектонического строения силвинитовых пластов в надвиговых и сдвиговых зонах шахтных полей рудников БКПРУ-2 и БКПРУ-4 ПАО «Уралкалий» // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 6. – С. 31–40.
2. Долгов П.В., Полянина Г.Д., Земсков А.Н. Методы прогноза и предотвращения газодинамических явлений в калийных рудниках // Наука Казахской ССР. – 1987.
3. Андрейко С.С. Механизм образования очагов газодинамических явлений в соляном породном массиве. – Пермь: Изд.-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 196 с
4. Проскураков Н.М., Ковалев О.В., Мещеряков В.В. Управление газодинамическими процессами в пластах калийных руд. – М.: Недра, 1988.
5. Специальные мероприятия по безопасному ведению горных работ на руднике БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий» в условиях «газового режима» / ГИ УрО-РАН. – Пермь – Соликамск, 2019. – С. 97.
6. Андрейко С.С. Газодинамические явления в калийных рудниках: методы прогнозирования и способы предотвращения: учеб. пособие. – Пермь: Изд.-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 219 с.

Сведения об авторах

Научный руководитель **Иванов Олег Васильевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подземная разработка рудных месторождений», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: miner200@mail.ru.

Дудин Александр Константинович – студент кафедры «Подземная разработка рудных месторождений», группа РМПИ-19-1с, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Получена: 24.05.2023

Одобрена: 24.06.2023

Принята к публикации: 01.09.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Дудин, А.К. Оценка газодинамической опасности продуктивных пластов в пределах северо-западной части шахтного поля рудника БКПРУ-2 / А.К. Дудин, О.В. Иванов // *Master's Journal*. – 2023. – № 1. – Art. № 02.

Please cite this article in English as: A.K. Dudin, O.V. Ivanov Assessment of the gas dynamic hazard of productive formations within the north-western part of the mine field of the BKPRU-2 mine. *Master's Journal*, 2023, no. 1, art. no. 02.