

УДК 622.363.2

**С.С. Андрейко, Н.А. Литвиновская**

**ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ЗОН, ОПАСНЫХ  
ПО ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ ИЗ ПОЧВЫ  
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПЛАСТА АБ НА ЮЖНОЙ ЧАСТИ  
ШАХТНОГО ПОЛЯ БКПРУ-4 ВЕРХНЕКАМСКОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ**

Исследована проблема газодинамических явлений из почвы горных выработок пласта АБ и сделан локальный прогноз зон, опасных по данному виду газодинамических явлений. Это повысит безопасность работ на калийных рудниках и снизит затраты на профилактическое бурение дегазационных шпуров при проходке горных выработок.

**Ключевые слова:** газодинамические явления, внезапные разрушения пород почвы, сопровождающиеся газовыделением, локальный прогноз, складки 3-го порядка, замковая часть складок, Верхнекамское месторождение калийных солей, БКПРУ-4, пласт АБ, пласт КрI, очаги ГДЯ, свободный газ, расслоения, согласные трещины, секущие трещины, газоносность, начальная скорость газовыделения, механизм образования очагов ГДЯ.

---

**В** соответствии с задачами, которые решают в процессе разведки, строительстве и эксплуатации рудников, методы прогноза газодинамических явлений делятся на три вида: региональный, локальный и текущий. Региональный прогноз является долговременным, и под ним подразумевается предвидение реакции калийных пластов и вмещающих пород на проведение горной выработки. При этом прогнозе на всех стадиях разведки, доразведки и эксплуатации месторождений и шахтных полей решается задача оценки вероятности развития газодинамических явлений, а также выделения по площади и в разрезе границ опасных зон. Региональный прогноз, базируясь на данных геологоразведочных работ и опыте эксплуатации шахтных полей, наряду с другими сведениями с учетом использования различных способов предотвращения ГДЯ.

Локальный прогноз предусматривает оценку вероятности развития ГДЯ на пластах отдельных участков шахтных полей калийных рудников. Его задача заключается в объективном разграничении пластов, опасных по газодинамическим явлениям на опасные и неопасные зоны на основе комплексного изучения свойств, геологических условий разработки и установленных закономерностей. Это наиболее трудоемкий и вместе с тем, наиболее важный вид прогноза. При локальном прогнозе учитываются и уточняются данные регионального прогноза.

Текущий прогноз газодинамических явлений основан на непрерывном наблюдении и анализе состояния призабойной части пласта. Этот метод прогноза необходим для оперативного контроля степени опасности развития ГДЯ и решает задачу заблаговременного предупреждения шахтеров

о входе забоя выработки в опасную зону и выходе из нее.

За все время отработки южной части Верхнекамского месторождения калийных солей было зафиксировано 287 газодинамических явлений (ГДЯ), из них 20 случаев – это внезапные разрушения пород почвы, сопровождающиеся газовыделением, произошли при отработке сильвинитового пласта АБ. Так на шахтных полях рудников БКПРУ-2, БКПРУ-3 и БКПРУ-4 было зафиксировано соответственно 1, 17 и 2 ГДЯ из почвы (рис. 1).

Более 40 % случаев ГДЯ из почвы произошло практически непосредственно под проходческо-добычным комбайном (8 случаев). Три ГДЯ из почвы произошли место между комбайном и бункером-перегружателем и один случай произошел сразу за бункером перегружателем. Более 40 % случаев внезапных разрушений пород почвы имеют запоздалый характер, т.е. они произошли на расстоянии более 20 м от забоя выработки. При внезапном разрушении пород почвы под комбайном он подбрасывается вверх, а разрушенные породы не выбрасываются полностью в выработку и остаются в полости разрушения. Полость разрушения пород почвы имеет кратерообразный вид, глубина ее достигает 3 м, а размеры верхнего основания полости при проходке выработки комбайном ПК-8 имели размеры 3x5 м. Порода, разрушенная при ГДЯ, представлена кусками и плитками с размерами от 0,05-0,1 м до 0,5-0,7 м. Иногда разрушенная порода представлена отдельными плитами или глыбами размерами до 3,0 м. Внезапные разрушения пород почвы горных выработок, проходимых по пласту АБ, сопровождаются ударной воздушной волной и выделением газа.

Последние случаи внезапных разрушений пород почвы, сопровождающиеся газовыделением, произошли соответственно 31 октября 2009 г. (камера №27) и 8 ноября 2009 г. (камера №29) на 3 западном блоке, а также 12 августа 2010 г. (камера №12) на 1-2 западном блоке 1 юго-западной панели шахтного поля рудника БКПРУ-4. Анализ геологических условий проявления ГДЯ из почвы показал, что пространственно внезапные разрушения пород почвы при отработке пласта АБ расположены вдоль линии северо-западного простирания, которая совпадет с осью антиклинальной складки 3-го порядка. Исследование места внезапного разрушения пород почвы в камере № 27 на 3 западном блоке рудника БКПРУ-4 показало, что в кровле пласта КрI, вскрытого в результате подрубки почвы камеры комбайном, в зоне разрушения наблюдается хорошо выраженное расслоение глинистых прослоев, в котором, возможно, и располагалось скопление свободных газов.

Для изучения механизма образования очагов внезапных разрушений пород почвы в соляном породном массиве проводились исследования газоносности пород почвы пласта АБ – пласта каменной соли А-КрI и сильвинитового пласта КрI.

Методика проведения экспериментальных исследований газоносности и газодинамических характеристик пород почвы пласта АБ на рудниках ОАО «Уралкалий» включает: определение газоносности пород по свободным газам, их компонентного состава. Методика исследований реализовывалась путем шахтных инструментальных наблюдений за газовыделениями из шпурков диаметром 42 мм, пробуренных

в почву горных выработок с одновременным отбором проб свободного газа [1].

Исследовательские шпуры бурятся в почву горной выработки поинтэрвально и герметизируются на расстоянии 0,5 м от забоя скважины с помощью герметизатора. Газ, выделяющийся со стенок и забоя загерметизированной части шпера поступает в газоотводящий штуцер, к которому подключен расходомер ПГ-2МА. Данный прибор предназначен для измерения начальной скорости газовыделения из шпиров. Он представляет собой дроссельный расходомер и действует по принципу реометра. Технические характеристики прибора ПГ-2МА соответствуют следующим номинальным данным: диапазон измерений начальной скорости газовыделения - от 0,5 до 25 л/мин; диапазон давлений измеряемого газа - от 0,02 до 0,15 МПа; основная погрешность прибора составляет 10%.

В течение 30 с после герметизации шпера прибором ПГ-2МА замеряется превышение давления газов в шпуре над атмосферным, т.е. начальное газовое давление. По этой величине с помощью заранее построенных графиков зависимости  $X = f(P_r)$ , где  $X$  – газонасность пород, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $P_r$  – величина начального газового давления, определяются показатели газонасности [2].

Функция зависимости газонасности пород по свободным газам от величины начального газового давления имеет следующий вид:

$$X = (4,4 + 12,9 \times P_r) / 71,94 \times P_r 0,16. \quad (1)$$

При изучении механизма образования очагов внезапных разрушений пород почвы в соляном породном массиве была выдвинута гипотеза о том, что очаги внезапных разрушений пород почвы горных выработок на

шахтном поле рудника БКПРУ-4 приурочены к замковым частям складок 3-го порядка. В соответствие с существующей классификацией к 3-ему порядку относятся складки, охватывающие пласты внутри соляной толщи от пласта КрIII до пласта В. При этом размеры складок составляют: высота от 3 м до 12 м, ширина от 20 м до 100 м, длина – до 370 м [3]. В пределах антиклинальных складок 3-го порядка могут образовываться в процессе складкообразования открытые трещины, которые по отношению к слоистости пород и генезису могут быть разделены на согласные и секущие [3, 4]. Согласные трещины, к которым относятся трещины отслоений и сублатеральные трещины, наиболее часто встречаются именно в замковых частях и куполах. В генетическом отношении трещины этой группы представляют собой отслоения или срывы, сопровождающие формированию складок продольного сжатия.

Трещины отслоений в пределах шахтных полей калийных рудников часто встречаются на участках интенсивной складчатости. Эти трещины длиной несколько метров и раскрытием от первых сантиметров до 0,2 м приурочены к глинисто-ангидритовым прослойкам. Внутрь массива они прослеживаются на 1-2 м. Часто трещины отслоений заполнены свободным газом, выделение которого при вскрытии иногда продолжалось в течение нескольких суток [5].

Сублатеральные трещины встречаются реже, чем трещины отслоений. Они располагаются, как правило, внутри продуктивных пластов, сложенных породами с массивной текстурой [5]. В слоистых породах трещины этого типа часто расположены между прослойками соленосных

глин. Длина трещин обычно составляет первые метры, но иногда достигает 11-13 м, они обычно сомкнуты, с трудом прослеживаются и лишь на отдельных участках имеют раскрытие несколько сантиметров. При вскрытии сублатеральных трещин горными выработками также часто выделяется свободный газ.

В соответствие с выдвинутой гипотезой согласные и сублатеральные трещины, образующиеся в замковых частях антиклинальных складок и заполненные свободным газом, являются очагами внезапных разрушений пород почвы горных выработок при отработке пласта АБ. Для проверки выдвинутой гипотезы проводились исследования газоносности пород почвы пласта АБ в различных геологических условиях. При этом, условно, участки шахтных полей, в пределах которых проводились исследования газоносности, были дифференцированы на две области: область I – антиклинальные складки 3-го порядка; область II – синклинальные складки, складки 1-го и 2-го порядка, участки спокойного залегания пласта АБ.

Исследования газоносности пород почвы пласта АБ проводилось на отрабатываемых участках шахтного поля рудника БКПРУ-4. Так на шахтном поле рудника БКПРУ-4 к области I были отнесены камеры №№27, 29 и 31 в пределах 3-го западного блока 1-й юго-западной панели и камера № 6 на 7-м западном блоке 2-й юго-восточной панели шахтного поля БКПРУ-4. Область II включала места проведения исследований газоносности пород почвы пласта АБ на 1-й северо-восточной панели, 5-6-й юго-западной панели, 2-й северо-восточной панели, камера №17 на 7-м за-

падном блоке 2-й юго-восточной панели, камеры №№33, 37 на 3-м восточном блоке 1-й юго-западной панели шахтного поля рудника БКПРУ-4.

Результаты выполненных исследований газоносности пород почвы пласта АБ показали, что повышенные и аномальные значения газоносности фиксировались в области I, тогда как в области II значения газоносности и начальной скорости газовыделения не превышали средние значения, а порой не превышали и предела чувствительности приборов.

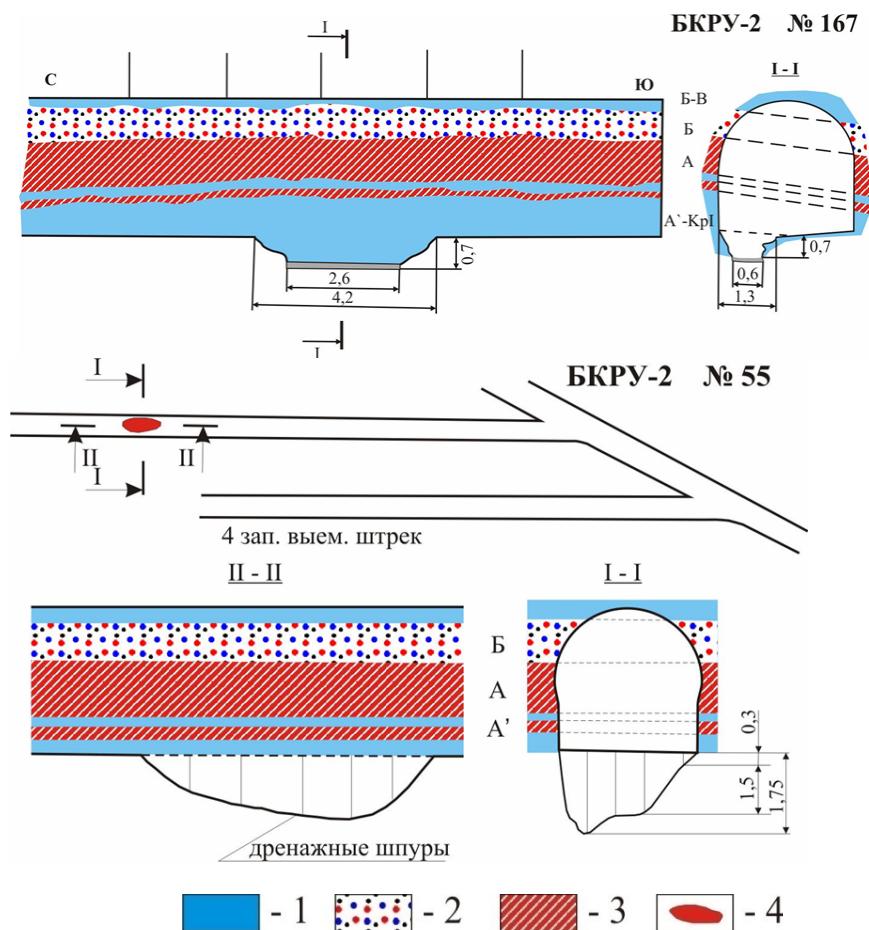
На рис. 2 представлена гипсометрия пласта АБ на 1-й юго-западной панели рудника БКПРУ-4, где хорошо прослеживаются складки 3-го порядка, так же, отмечены газодинамические явления из пород почвы пласта АБ.

Следует отметить, что в области I в отдельных случаях из-за интенсивного газовыделения из исследовательских шпуроров не удавалось установить герметизатор и произвести измерения начальной скорости газовыделения – газ под давлением с шумом и пылеобразованием вырывался из пробуренных в почву выработок исследовательских шпуроров.

В таблице приведены статистические характеристики вариационных рядов значений газоносности пород почвы пласта АБ в зависимости от области проведения исследований.

Здесь следует так же помнить, что измерить газоносность в части исследовательских шпуроров в I зоне не представлялось возможным, так как из них происходили интенсивные газовыделения, при этом невозможно было установить герметизатор в шпур.

Анализ статистических характеристик вариационных рядов значений газоносности пород почвы пласта АБ



**Рис. 1. Характерные примеры внезапных разрушений пород почвы, сопровождающихся газовыделениями, при отработке пласта АБ в условиях рудника БКРУ-2:** 1 – каменная соль; 2 – сильвинит пестрый; 3 – сильвинит полосчатый; 4 – газодинамическое явление в виде разрушения пород почвы выработки сопровождающееся газовыделением

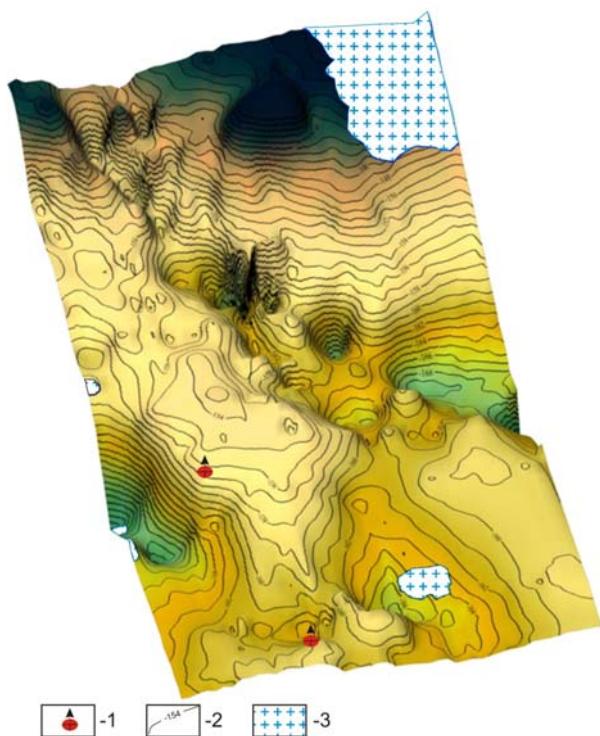
в этих зонах показывает, что размах значений в зоне I более чем в 11 раз превышает размах значений вне складок третьего порядка. Среднее значение газоносности пород почвы пласта АБ в складках третьего порядка в 4,8 раза, а дисперсия в 112,8 раз больше, чем на участках вне складок третьего порядка.

При такой разнице в статистических характеристиках вариационных рядов целесообразно проверить ну-

левую гипотезу, которая в данном случае может быть представлена следующим образом: различаются ли выборки значений газоносности пород почвы пласта АБ в этих зонах в силу случайных колебаний, либо они взяты из двух генеральных совокупностей с различными законами распределения и, следовательно, характеризуют зоны пород почвы пласта АБ с существенно различной газоносностью пород.

**Статистические характеристики вариационных рядов значений газоносности пород почвы пласта АБ**

Область проведения исследований	Минимальное значение, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Максимальное значение, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Размах значений, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Среднее значение, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Стандартное отклонение	Дисперсия
I	0,02	7,1	7,08	1,11	1,87	3,497
II	0,02	0,65	0,63	0,23	0,176	0,031



**Рис. 2. Рельеф почвы пласта АБ в пределах 1 юго-западной панели рудника БКПРУ-4:** 1 – внезапное разрушение пород почвы, сопровождающееся газовыделением; 2 – абсолютные отметки почвы пласта АБ; 3 - зоны замещения пласта АБ каменной солью

Для проверки нулевой гипотезы использовался F-критерием Фишера [6], который рассчитывается по формуле

$$F = \sigma_1^2 / \sigma_2^2, \quad (2)$$

где  $\sigma_1^2$  и  $\sigma_2^2$  — соответственно большая и меньшая дисперсии выборок.

После подстановки численных значений в формулу (2) получим  $F = 12725,3$ . Условием отказа от нулевой гипотезы является выполнение соотношения  $F \geq F_{\text{кр}}$ , где  $F_{\text{кр}}$  — критическое значение. При уровне значимости 5%,  $n_1=16$  и  $n_2=13$  из таблицы значений F-критерия Фишера находим критическое значение, которое равно 2,42 ( $F_{\text{кр}}=2,42$ ). Отсюда  $F \geq F_{\text{кр}}$  и с вероятностью 0,95 можно отвергать нулевую гипотезу. Следовательно, экспериментальные значения газоносности пород характеризуют зоны почвы пласта АБ с существенно различной газоносностью и этот факт не связан со случайным колебанием значений газоносности в выборках.

Установленные зависимости газоносности и газодинамических характеристик пород почвы пласта АБ позволяют сформулировать подход к прогнозированию в пределах шахтных полей калийных рудников зон, опасных по газодинамическим явлениям из почвы:

1. На шахтном поле рудника БКПРУ-4 очаги газодинамических явлений из почвы приурочены к замковым частям складок 3-го порядка, охватывающим пласти внутри соляной толщи от пласта КрIII до пласта В. При этом размеры складок составляют: высота от 3 м до 12 м, ширина от 20 м до 100 м, длина – до 370 м.

2. Прогнозирование зон, опасных по газодинамическим явлениям

из почвы подготовительных и очистных горных выработок при отработке пласта АБ, на шахтном поле рудника БКПРУ-4 целесообразно проводить на стадии ведения подготовительных горных работ по пласту АБ путем выделения складок 3-го порядка. Замковые части складок 3-го порядка следует относить к зонам, опасных по внезапным разрушениям пород почвы горных выработок, сопровождающихся газовыделением.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов О.В. Методика, оборудование и результаты исследований по изучению газоносности продуктивных пластов на вновь вводимых в эксплуатацию участках шахтных полей калийных рудников / О.В. Иванов // Материалы научной сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2000 году 9-13 апреля 2001 г. – Пермь: 2001, с.88-91.
2. Полянина Г.Д., Земсков А.Н., Падерин Ю.Н. Технология и безопасность разработки Верхнекамского калийного месторождения. – Пермь: Кн. изд-во, 1990. –262 с.
3. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. – 429 с.
4. Разрывная тектоника Верхнекамского месторождения солей/Кудряшов А.И., Васюков В.Е., Фон-дер-Флаас Г.С. и др.; Под научн. ред. Кудряшова А.И. — Пермь: Горный институт УрО РАН, 2004. — 194 с.
5. Голубев Б.М. О пустотах в породах калийной зоны Верхнекамского месторождения, вскрытых горными выработками Березниковского калийного комбината // Тр. ВНИИГ. – Л.: Вып. 51. — 1969. — С. 140—153.
6. Тёрнер Д. Вероятность, статистика и исследование операций. Под ред. А.А. Рыбкина. — М.: «Статистика», 1976. — 431 с. **ГИАБ**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Андрейко Сергей Семенович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ssa@mi-perm.ru,  
Литвиновская Наталья Александровна — кандидат технических наук, доцент, nlitvinovskaya@mail.ru,  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

