

ОЦЕНКА ЛОКАЛИЗАЦИИ СКОПЛЕНИЙ СВОБОДНОГО ГАЗА В КРАЕВЫХ ЧАСТЯХ МУЛЬДЫ СДВИЖЕНИЯ

Барях А.А., Горный институт УрО РАН, Пермь
Андрейко С.С., Горный институт УрО РАН, Пермь
Федосеев А.К., Горный институт УрО РАН, Пермь
Литвиновская Н.А., Горный институт УрО РАН, Пермь
Нестеров Е.А., Горный институт УрО РАН, Пермь

Разработка Старобинского месторождения калийных солей связана с опасностью газодинамических явлений в виде внезапных и инициированных выбросов соли и газа, обрушений пород кровли и разрушений пород почвы. В рамках данной работы методами математического моделирования выполнена оценка изменения напряженно-деформированного состояния в процессе проходки подготовительной выработки по нижнему сильвинитовому пласту I калийного горизонта в условиях его подработки и наработки. Проведены шахтные исследования распределения газоносности и газодинамических характеристик пород почвы нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта. По результатам моделирования установлены возможные области локализации зон трещиноватости, расслоения и скоплений свободного газа, приуроченные к краевой части мульды сдвига. В пределах этих зон шахтными исследованиями отмечены аномально высокие значения газодинамических характеристик почвы нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта. Сложившаяся горнотехническая ситуация в определенных условиях предопределяет потенциальную опасность газодинамических явлений, связанных с разрушением пород почвы горных выработок и сопровождающихся интенсивным газовыделением.

***Ключевые слова:** калийные пласты, подработка, наработка, шахтные исследования, свободные газы, газоносность, газодинамические характеристики, геомеханическое моделирование, горное давление, краевая часть мульды сдвига*

Введение

При подземной разработке калийных пластов в условиях Старобинского месторождения происходят газодинамические явления различного вида, которые угрожают жизни шахтеров и нарушают технологию ведения горных работ в калийных рудниках [1-3]. За более чем 80-ти летний период эксплуатации Старобинского месторождения при отработке калийных пластов произошло более 300 газодинамических явлений в виде внезапных и инициированных выбросов соли и газа, обрушений пород кровли, разрушений пород почвы. Все это сопровождалось газовыделением, отжимами призабойной части пород, повреждениями горного оборудования, тяжелыми травмами горнорабочих, а в отдельных случаях летальными исходами [4-6]. За время отработки калийных пластов в условиях Старобинского месторождения выполнен большой объем научно-исследовательских работ и получены значимые результаты в познании природы, механизмов протекания, прогнозирования и предотвращения газодинамических явлений в рудниках [7-9].

Вовлечение в отработку верхнего сильвинитового пласта I калийного горизонта в начале 2000-х годов показало, что соляные породы этого горизонта являются газоносными и опасными по газодинамическим явлениям в виде достаточно мощных внезапных разрушений пород почвы горных выработок, сопровождающихся газовыделением [10-12]. Пример внезапного разрушения пород почвы горной выработки, сопровождающегося газовыделением, при проходке подготовительной выработки приведен на рисунке 1.

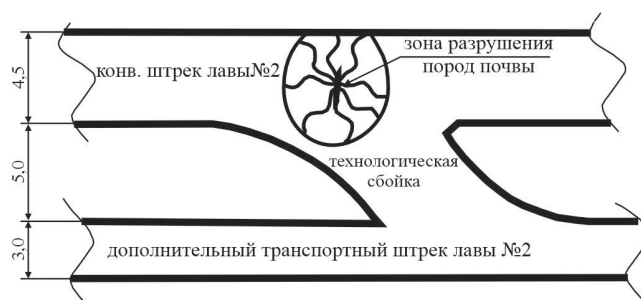


Рис. 1. Внезапное разрушение пород почвы выработки, сопровождающееся газовыделением (13.04.2005 г., рудник I РУ, верхний сильвинитовый пласт I калийного горизонта, сопряжение конвейерного штрека лавы с технологической сбойкой)

Практика ведения подготовительных горных работ при подготовке к отработке верхнего сильвинитового пласта I калийного горизонта и результаты исследований газоносности по свободным газам и газодинамическим характеристикам соляных пород I калийного горизонта показали, что в зонах разгрузки, приуроченных к краевым частям мульд сдвижения, создаются благоприятные условия для фильтрации в такие зоны свободных газов и формирования локальных квазиизолированных газонаполненных областей, представляющих собой потенциальные очаги газодинамических явлений из почвы подготовительных горных выработок [13].

В этой связи обоснование безопасных условий проходки подготовительных выработок по нижнему сильвинитовому пласту I калийного горизонта в условиях

подработки пластом каменной соли, вторым калийным пластом и наработки верхним сильвинитовым пластом I калийного горизонта актуальной является задача оценки опасности локализации скоплений свободного газа в краевых частях мульды сдвижения.

Горнотехнические условия разработки I калийного горизонта

В настоящее время в условиях шахтного поля рудника 1 РУ ОАО «Беларуськалий» планируется вовлечение в отработку нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта. По геологическому строению I калийный горизонт относится к соленосной свите верхнего девона [14-16]. Геологическое строение I калийного горизонта и подстилающих его соляных пород на Старобинском месторождении калийных солей представлены на рисунке 2.

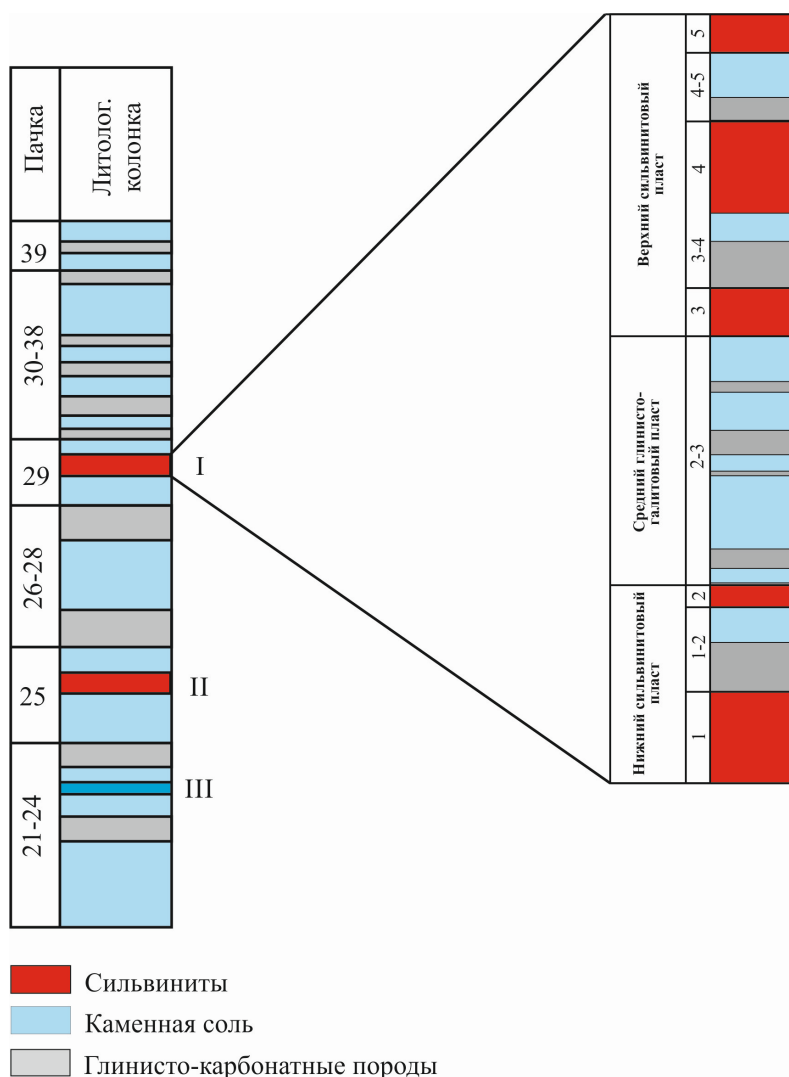


Рис. 2. Геологическое строение I калийного горизонта и подстилающих соляных пород:
I – I калийный горизонт; II – Второй калийный пласт; III – пласт каменной соли

В пределах Старобинского месторождения кровля горизонта залегает на глубине от 355,0 м до 617,0 м. Мощность I калийного горизонта изменяется в пределах от 2,11 м до 7,30 м. Кровлей горизонта служит каменная соль, тонко чередующаяся с прослойками

глин и мергелей, а почвой – каменная соль с тонкими прослойками глины, встречающимися в основном через 0,05 м – 0,15 м. В составе I калийного горизонта отчетливо выделяются три пласта. В верхней и нижней его частях – сильвинитовые пласты, сложенные ритмично чередующимися слоями сильвинита, каменной соли и галопелитов, мощностью 1,7-2,4 м и 1,3-1,5 м соответственно. В средней части горизонта находится глинисто-галитовый пласт, мощность от 1,46 м до 2,65 м.

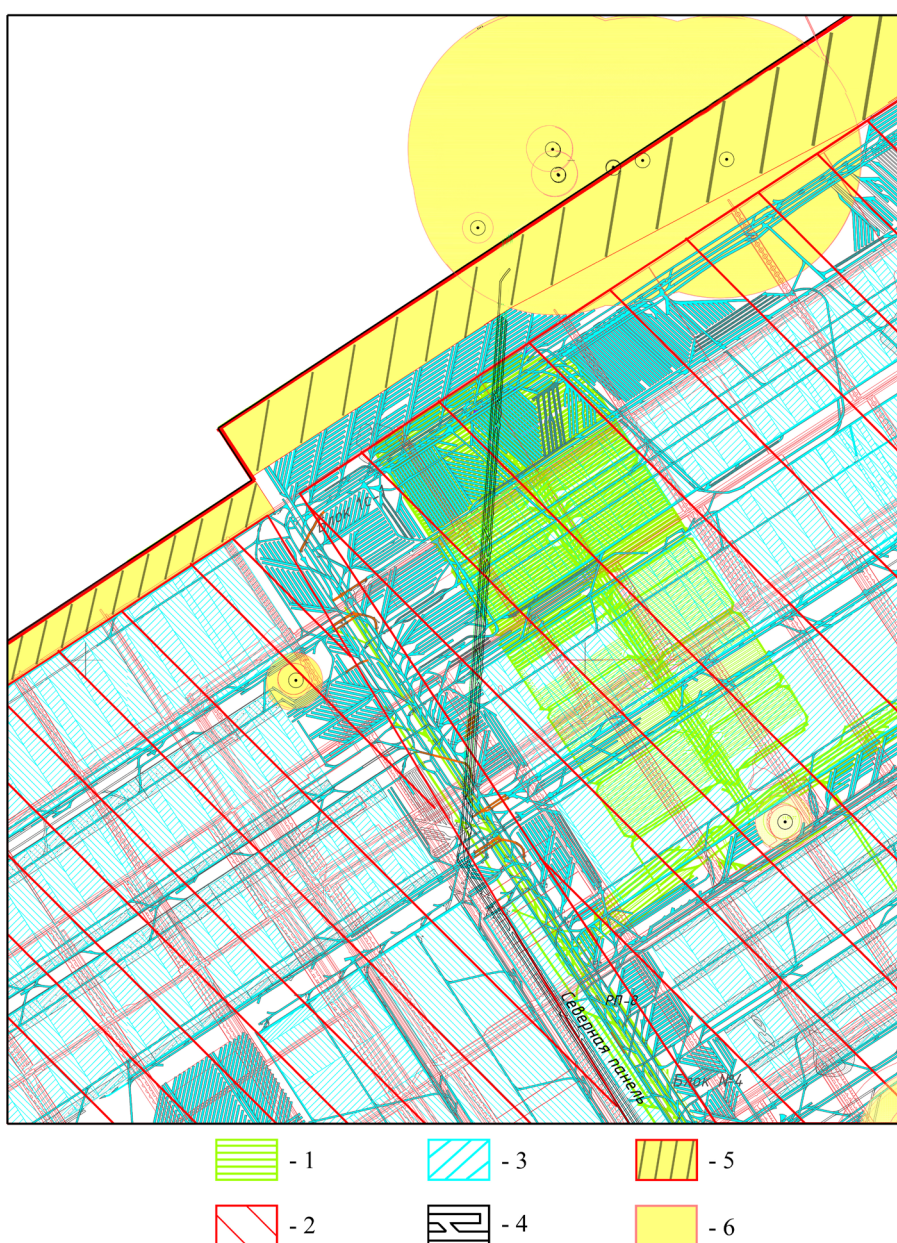


Рис. 3. Схема подработки и надработки подготовительных выработок на нижнем сильвинитовом пласте I калийного горизонта: 1 – выработанное пространство на пласте каменной соли; 2 – выработанное пространство на Втором калийном пласте; 3 – выработанное пространство на верхнем сильвинитовом пласте I калийного горизонта; 4 – подготовительные выработки на нижнем сильвинитовом пласте I калийного горизонта; 5 – предохранительный барьерный целик между шахтными полями рудников 1 РУ и 2 РУ; 6 – предохранительные околоскважинные целики

Нижний сильвинитовый пласт I калийного горизонта в пределах шахтного поля рудника 1 РУ подработан пластом каменной соли и Вторым калийным пластом, а также надработан по всей площади верхним сильвинитовым пластом I калийного горизонта (Рис. 3). Отработка пласта каменной соли осуществлялась камерной системой разработки с коэффициентом извлечения полезного ископаемого не более 0,6. Горные работы на Втором калийном пласте велись камерной и столбовой системами разработки с различными параметрами. Таким образом, при подготовке к отработке нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта подготовительные выработки будут проводиться в соляном породном массиве, подработанном пластом каменной соли Вторым калийным пластом и надработанным верхним сильвинитовым пластом I калийного горизонта.

Геомеханический прогноз формирования зон газовых скоплений

Для учета влияния подработки и надработки нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта на формирование возможных газовых скоплений в породах почвы, при проходке по нему подготовительных горных выработок, выполнена оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) подработанного массива пород почвы нижнего сильвинитового пласта.

Расчеты методом математического моделирования производились по профилю, совпадающему в плане с положением подготовительных выработок северного направления. Геологический разрез принимался по данным бурения ближайшей геологоразведочной скважины и отражал основные особенности строения соляной толщи на данном участке шахтного поля. Кроме соляных и глинисто-карбонатных пачек, в расчетную схему были включены два глинистых слоя в почве нижнего сильвинитового пласта, обладающих мощностью примерно 0,20 м. Более тонкие глинистые прослои моделировались в виде контактов [17-19]. При математическом моделировании для исследуемого участка проходки подготовительных выработок, помимо основных особенностей строения подработанного массива, учитывались и реализованные условия отработки: камерная система по Второму калийному пласту и пласту каменной соли; камерная и столбовая системы – при надработке верхним сильвинитовым пластом I калийного горизонта. Общая расчетная схема задачи геомеханического моделирования представлена на рисунке 4.

Граничные условия формулировались из соображений, что верхняя граница (дневная поверхность) является свободной, на нижней – вертикальные, а на боковых – горизонтальные перемещения равняются нулю. Расчетная область находилась в условиях действия массовых сил интенсивностью γ_i , где γ_i – удельный вес пород i -го элемента геологического разреза. Для определения напряженно-деформированного состояния породного массива применялась модель идеальной упруго-пластичной среды с внутренним трением [20-21]. В качестве условия пластичности в области сжатия использовалась параболическая огибающая кругов Мора [22].

Результаты моделирования показали, что после подработки нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта Вторым сильвинитовым пластом и пластом каменной соли формируется мульда оседаний земной поверхности с ярко выраженным перегибом на границе предохранительного целика между шахтными полями рудников 1 РУ и 2 РУ (Рис. 5).

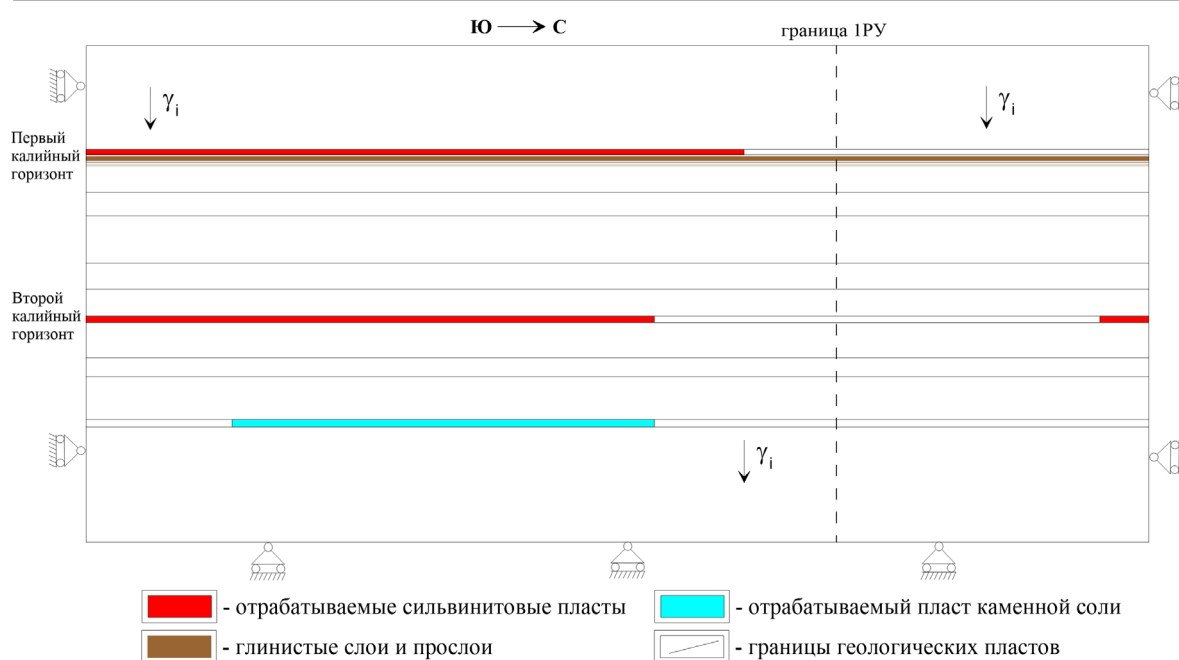


Рис. 4. Общая расчетная схема задачи геомеханического моделирования для локализации зон возможных газовых скоплений в породах почвы горных выработок

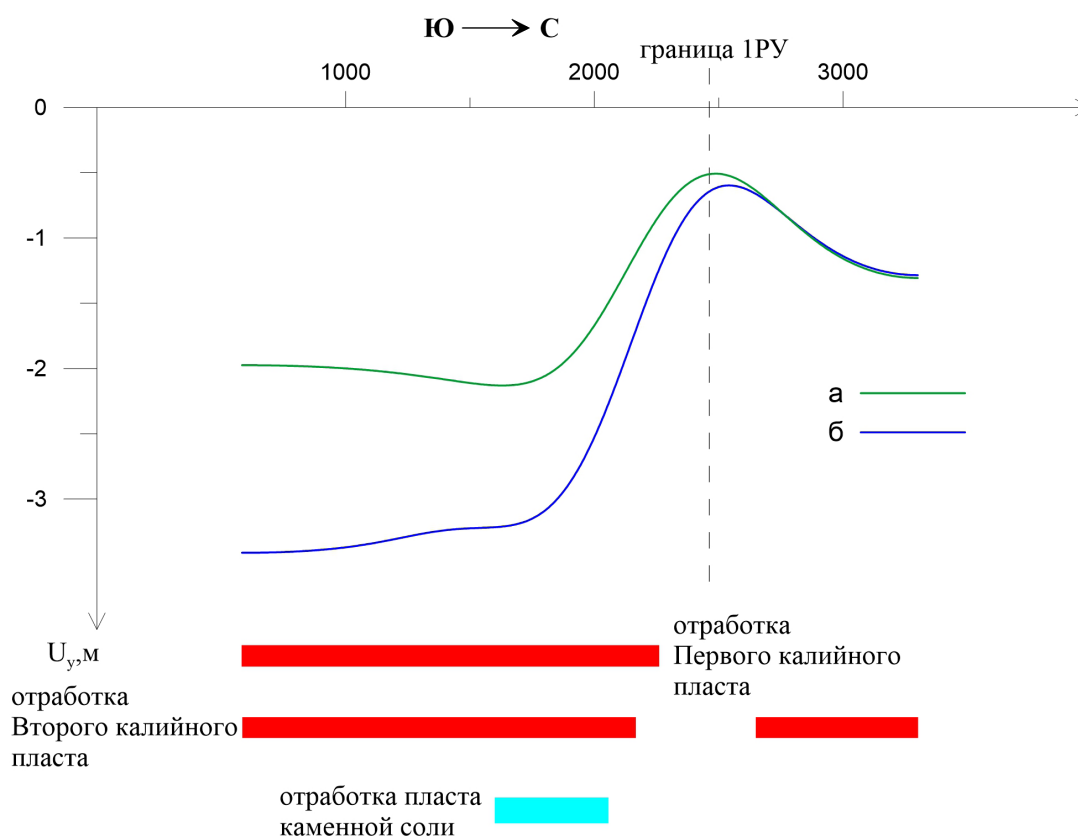


Рис. 5. Оседания земной поверхности при завершении процесса сдвижения вдоль расчетного профиля после отработки Второго калийного пласта и пласта каменной соли (а) и верхнего сильвинитового пласта I калийного горизонта (б)

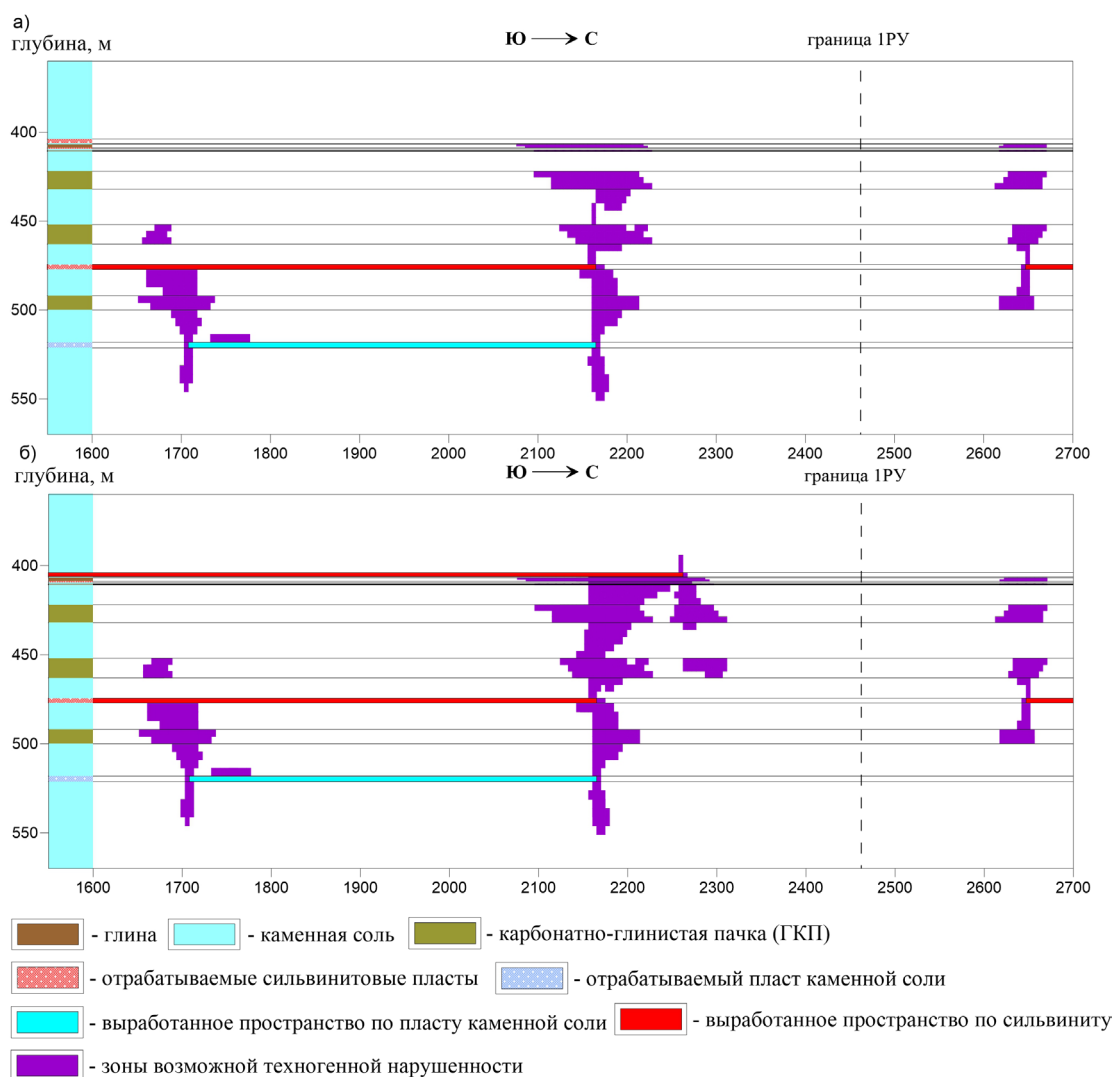


Рис. 6. Распределение по геологическому разрезу зон возможных нарушений сплошности породного массива после отработки пласта каменной соли и Второго калийного пласта (а) и после отработки верхнего сивьвинитового пласта I калийного горизонта (б)

Максимальные значения оседаний реализуются на границе предохранительного целика со стороны шахтного поля рудника 1 РУ на участке, где отработаны Второй сивьвинитовый пласт и пласт каменной соли. При таком неравномерном характере деформирования подработанного массива наибольший уровень техногенной нагрузки на перекрывающую породную толщу реализуется, в первую очередь, над краевыми частями выработанного пространства. Это создает предпосылки к локализации области пластических деформаций, которые отождествляются с зонами субвертикальной техногенной нарушенности (трещиноватости) и формируются над краевыми частями выработанного пространства. Наибольшее простираение по латерали зон трещиноватости имеет место в глинисто-карбонатных пачках и пластах, содержащих глинистые слои и прослойки. Слой каменной соли, подстилающий нижний сивьвинитовый пласт I горизонта, препятствует образованию сквозного нарушения сплошности между I калийным горизонтом и Вторым калийным пластом (Рис. 6а).

Таким образом, при подработке нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта не происходит восходящей миграции газа из нижележащих глинисто-карбонатных пачек. Расслоения по контактам слоев в породах I калийного горизонта также не фиксируется, однако происходит нарушение сплошности глинистых слоев и прослоев. Сформированные зоны трещиноватости в слоях глины в дальнейшем, как правило, становятся зонами, в которых может скапливаться свободный газ. Более того, эти области по большей части находятся в зоне пониженного опорного давления, что способствует аккумуляции в них свободных газов и превращает эти области в потенциальные очаги газодинамических явлений.

После отработки верхнего сильвинитового пласта I калийного горизонта (надработки нижнего сильвинитового пласта) градиент в краевой части мульды сдвижения над шахтным полем 1 РУ увеличивается (Рис. 6б), что находит отражение в интенсификации нарушений в породах соляных и глинисто-карбонатных пачек, разделяющих I калийный горизонт и Второй калийный пласт. На северо-западной границе междушахтного целика рудника 1 РУ с шахтным полем рудника 2 РУ формируется сквозная область нарушений между I калийным горизонтом и Вторым калийным пластом, что создает возможность миграции газов вверх по разрезу и их локализации в породах слоя подстилающей каменной соли и I калийного горизонта (Рис. 6б).

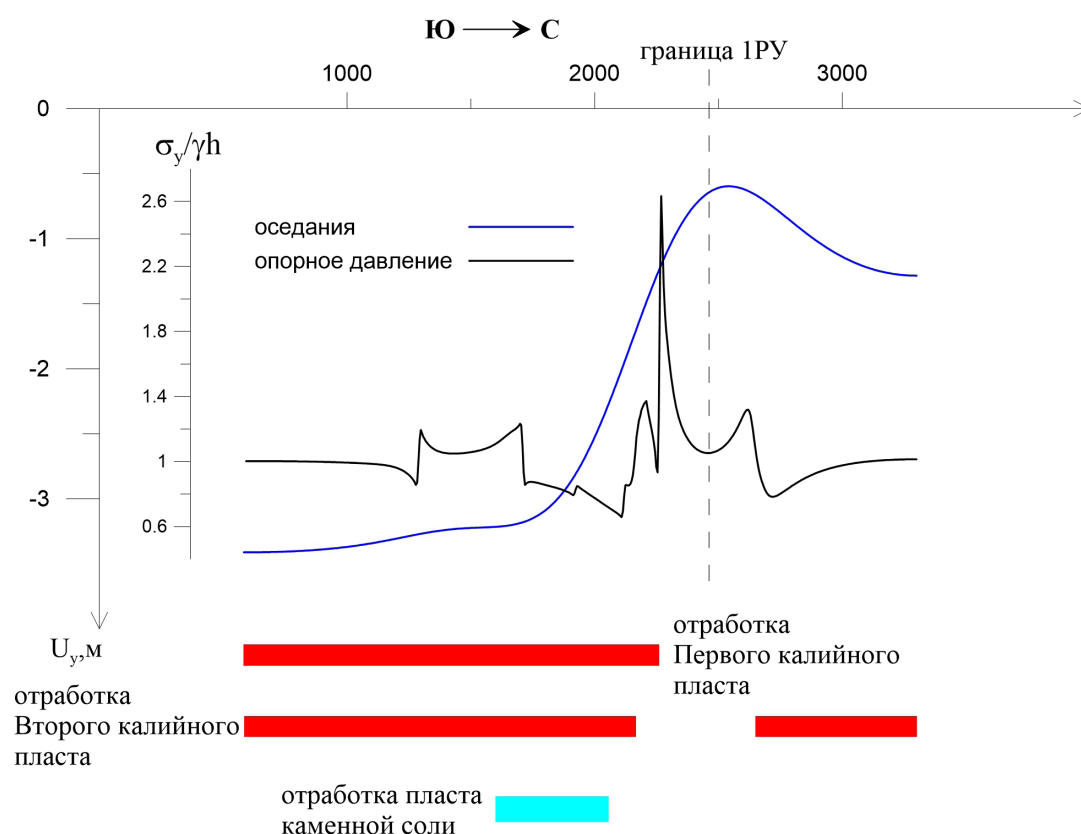


Рис. 7. Распределение нормированного опорного давления вдоль расчетного профиля на уровне почвы нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта после отработки верхнего сильвинитового пласта I калийного горизонта

На рисунке 7 представлено распределение нормированного опорного давления вдоль расчетного профиля на уровне почвы нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта после отработки верхнего сильвинитового пласта I калийного горизонта. Следует отметить, что наличие областей пониженного опорного давления создает дальнейшие условия для перераспределения газов в породах слоя подстилающей каменной соли и в нижнем сильвинитовом пласте I калийного горизонта.

Геомеханический прогноз формирования зон газовых скоплений показал, что зона локализации газовых скоплений в породах почвы нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта после отработки верхнего сильвинитового пласта I калийного горизонта приурочена к краевой части мульды сдвижения. Даже при отсутствии возможной восходящей фильтрации свободных газов из подстилающих пород глинисто-карбонатных пачек, из зоны опорного давления в образовавшуюся область разгрузки в краевой части мульды сдвижения будет происходить миграция свободных газов и их аккумуляция в данной локальной зоне. При этом со стороны выработанного пространства шахтного поля рудника 1 РУ область восстановившегося горного давления будет препятствовать рассеиванию сформировавшихся газовых скоплений в окружающем массиве горных пород, создавая своего рода «газовый» барьер.

Таким образом, в зонах разгрузки, приуроченных к краевым частям мульд сдвижения, создаются благоприятные условия для фильтрации в такие зоны свободных газов и формирования локальных квазиизолированных газонаполненных областей, представляющих собой потенциальные очаги газодинамических явлений.

Исследования газоносности и газодинамических характеристик пород почвы в краевой части мульды сдвижения

Исследование газоносности по свободным газам и газодинамические характеристики пород нижнего сильвинитового пласта и вмещающих пород выполнялись по известной методике путем отбора проб и замеров характеристик выделяющихся из исследовательских шпуров свободных газов [23–24]. Изучение влияния техногенного воздействия – подработки и надработки на газоносность по свободным газам и газодинамические характеристики пород, вмещающих нижний сильвинитовый пласт I калийного горизонта, – на Старобинском месторождении калийных солей до настоящего времени не проводились. Расположение исследовательских шпуров, пробуренных в породы почвы вентиляционного штрека северного направления, геологическое строение пород почвы и пример гистограммы распределения в породах почвы северного вентиляционного штрека газоносности по свободным газам в исследовательском шпуре № 11 представлены на рисунке 8.

Выработки северного направления на участке проведения исследований пройдены в породах, надработанных камерной системой разработки на верхнем сильвинитовом пласте и находящихся в мульде сдвижения, образованной в результате подработки горными работами на нижележащих Втором калийном горизонте и пласте каменной соли. Следует отметить, что северный вентиляционный штрек на участке проведения исследований частично пройден в пределах гидроизолирующего барьерного целика между шахтными полями рудников 1 РУ и 2 РУ и контура около скважинного целика. Всего было пробурено 13 исследовательских шпуров, из них в пределах контуров барьерного и околоскважинного целиков были размещены исследовательские шпуровы №№ 1-6. Следует отметить, что все исследовательские шпуровы располагались в пределах краевой части мульды сдвижения.

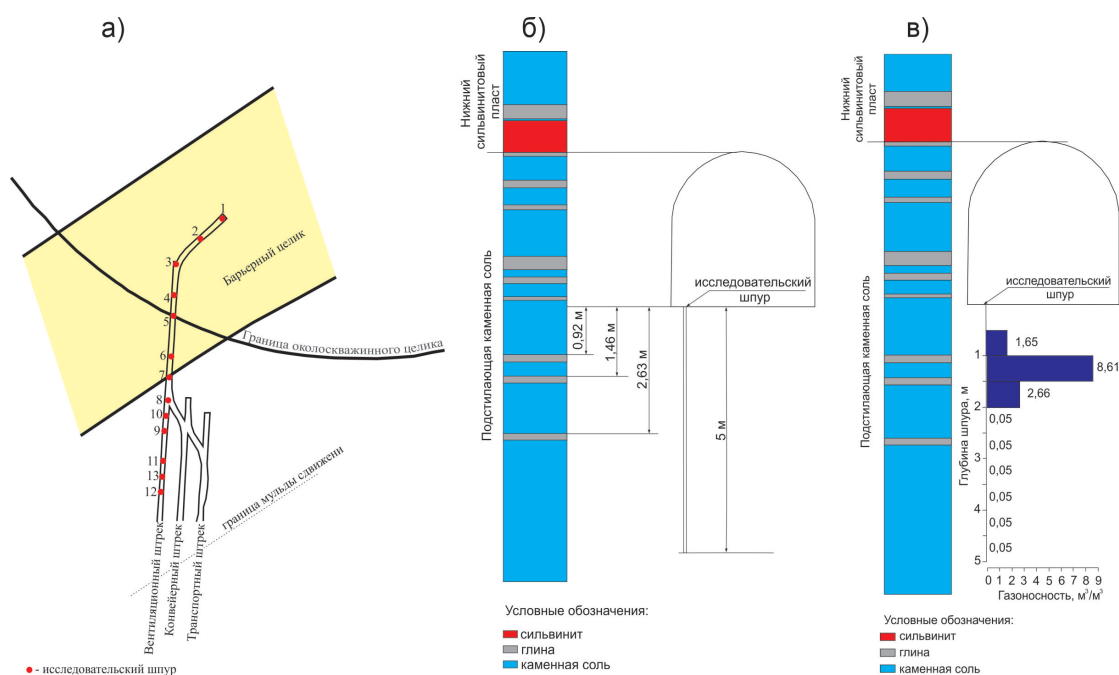


Рис. 8. Расположение исследовательских шпуров (а), геологическое строение пород почвы выработки на участке исследований (б) и гистограмма распределения в породах почвы газоносности по свободным газам в исследовательском шпуре № 11

Глубина исследовательских шпуров, пробуренных в породы почвы северного вентиляционного штрека, составляла 5,0 м, интервал опробования пород почвы – 0,5 м. В связи с тем, что породы почвы на участке проведения исследований подверглись техногенному воздействию – подработке и надработке, – в дальнейшем количественно оценивались природно-техногенная газоносность по свободным газам и газодинамические характеристики пород почвы. Под показателем природно-техногенной газоносности пород почвы по свободным газам понимается количество свободных газов, содержащихся в массовой или объемной единице породы ($\text{м}^3/\text{т}$ или $\text{м}^3/\text{м}^3$).

Как видно из рисунка 8, породы почвы северного вентиляционного штрека на участке проведения исследований представлены переслаиванием каменной соли, глины и каменной соли с глинистыми прослойками. По геологическому разрезу в породах почвы северного вентиляционного штрека выделяется три глинистых прослойки средней мощностью 0,17 м, 0,13 м и 0,14 м, которые расположены на расстояниях от почвы выработки соответственно 0,92 м, 1,46 м и 2,63 м. По данным ранее проведенных исследований, на I калийном горизонте рудника 1 РУ к данным глинистым прослойкам могут быть приурочены приконтактные скопления свободных газов, которые будут представлять собой потенциальные очаги таких газодинамических явлений, как внезапные разрушения пород почвы горных выработок, сопровождающиеся газовыделением [13, 25].

Результаты экспериментальных исследований газоносности по свободным газам пород почвы северного вентиляционного штрека в интервале проведенных замеров от 0,5 м до 5,0 м в исследовательских шпурах №№ 1-7 показали повышенные значения

газоносности по свободным газам, начальному давлению и начальной скорости газовыделения только в шпуре № 1 в интервалах замеров 0,5 м – 1,0 м, 1,0 м – 1,5 м и 1,5 м – 2,0 м. В других интервалах замеров в шпуре № 1 до глубины 5,0 м, а также во всех интервалах замеров в шпурах №№ 2-7 показатели газоносности и газодинамических характеристик пород были весьма незначительными.

В шпурах №№ 8, 9, 10 относительно повышенные значения газоносности и газодинамических характеристик пород зарегистрированы в различных интервалах замеров, в которых по геологическому разрезу пород почвы располагаются глинистые прослойки мощностью соответственно 0,17 м, 0,13 м и 0,14 м.

В исследовательских шпурах №№ 8 и 9 повышенные значения показателя газоносности по свободным газам установлены соответственно в интервалах 2,5 м – 3,0 м (шпур № 8) и 1,0 м – 1,5 м, 1,5 м – 2,0 м (шпур № 9), в пределах которых по геологическому разрезу пород почвы располагались глинистые прослойки мощностью соответственно 0,17 м, 0,13 м и 0,14 м. В этих же интервалах замеров отмечены повышенные значения давления свободных газов – до 0,252 МПа и начальной скорости газовыделения – до 1,73 л/мин.

В исследовательском шпуре № 10 замеры газоносности по свободным газам и газодинамических характеристик пород почвы на всех интервалах по глубине показатели газоносности и газодинамических характеристик пород почвы были весьма незначительными.

В шпуре № 11 были получены максимальные значения газоносности пород почвы по свободным газам и газодинамических характеристик в интервалах замеров 0,5 м – 1,0 м, 1,0 м – 1,5 м и 1,5 м – 2,0 м, где на расстояниях от почвы северного вентиляционного штрека соответственно 0,92 м и 1,46 м располагаются две глинистые прослойки мощностью соответственно 0,17 м и 0,13 м (Рис. 8в). Аналогичная тенденция отмечается в остальных исследовательских шпурах №№ 12, 13, 14. Повышенные газодинамические показатели в той или иной степени связаны с глинистыми прослойками мощностью 0,17 м, 0,13 м и 0,14 м.

Известно, что подработка нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта и вмещающих пород Вторым калийным пластом и пластом каменной соли, а также надработка верхним сильвинитовым пластом I калийного горизонта сопровождалась перераспределением горного давления [13]. При этом в области влияния остановившегося фронта очистных работ при подработке и надработке, в зависимости от характера деформирования и перераспределения горного давления, в нижнем сильвинитовом пласте и вмещающих породах формируются характерные зоны: не подверженная влиянию горных работ; повышенного горного давления; разгрузки; восстановленного геостатического давления.

Особый интерес с точки зрения нарушения структуры пород представляет деформирование нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта и вмещающих его пород при проходке подготовительных выработок через зоны повышенного горного давления и разгрузки. В пределах этой зоны протекают активные стадии процессов сдвига, деформирования массива и перераспределения горного давления [26-28]. На этих участках создаются условия для образования трещин и расслоений в подрабатываемых и надрабатываемых породах в результате сдвига и отрыва по плоскостям природно-техногенных неоднородностей. Образование расслоений в породах почвы северного вентиляционного штрека влечет за собой фильтрацию

свободного газа по наиболее проницаемым слоям пород (глинистым прослойкам) из зоны повышенного горного давления в направлении зоны разгрузки, где будут формироваться области с повышенными показателями газоносности по свободным газам и газодинамических характеристик пород. Это наглядно иллюстрируется результатами натурных измерений газоносности по свободным газам и газодинамических характеристик пород почвы после отработки подработки и надработки на участке проведения исследований в интервале замеров 1,0 м – 1,5 м по глубине исследовательских шпуров №№ 1-13, представленными на графиках рисунка 9.

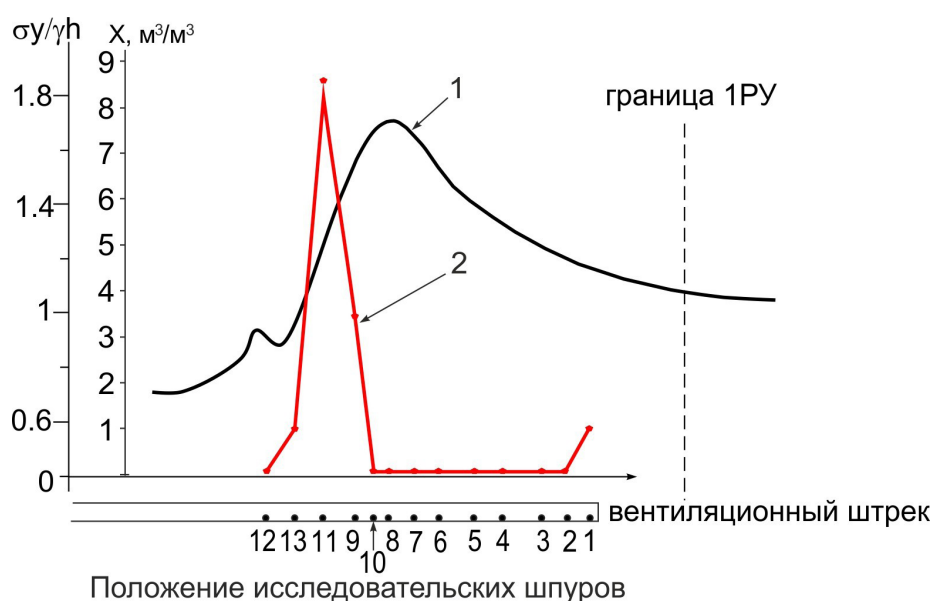


Рис. 9. Распределения нормированного опорного давления вдоль профиля на уровне почвы нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта после подработки и надработки и газоносности по свободным газам пород почвы в интервале замеров 1,0 м – 1,5 м по глубине исследовательских шпуров №№ 1–13: 1 – нормированное опорное давление; 2 – газоносность по свободным газам

Как видно из рисунка 9, резкое увеличение газоносности по свободным газам примерно в 10-80 раз относительно газоносности пород почвы в зоне сжатия (шпуры №№ 2-10) в исследовательских шпурах №№ 9, 11 и 13 наблюдается в зоне, приуроченной к разгрузке горного давления. Аналогичные закономерности наблюдаются в распределении начального давления свободных газов в породах почвы и начальной скорости газовыделения.

Экспериментальные исследования газоносности пород почвы по свободным газам и газодинамических характеристик в исследовательских шпурах №№ 2-8 и № 10 проводились в одиночной выработке через несколько суток после проходки в зоне сжатия и вне зоны изгиба, что позволяет считать полученные количественные данные близкими к природным показателям.

На рисунке 10 представлены результаты сопоставления итогов геомеханического моделирования локализации зон, потенциально опасных по газодинамическим явлениям (ГДЯ), и данных шахтных экспериментальных исследований газоносности и газодинамических характеристик пород почвы.

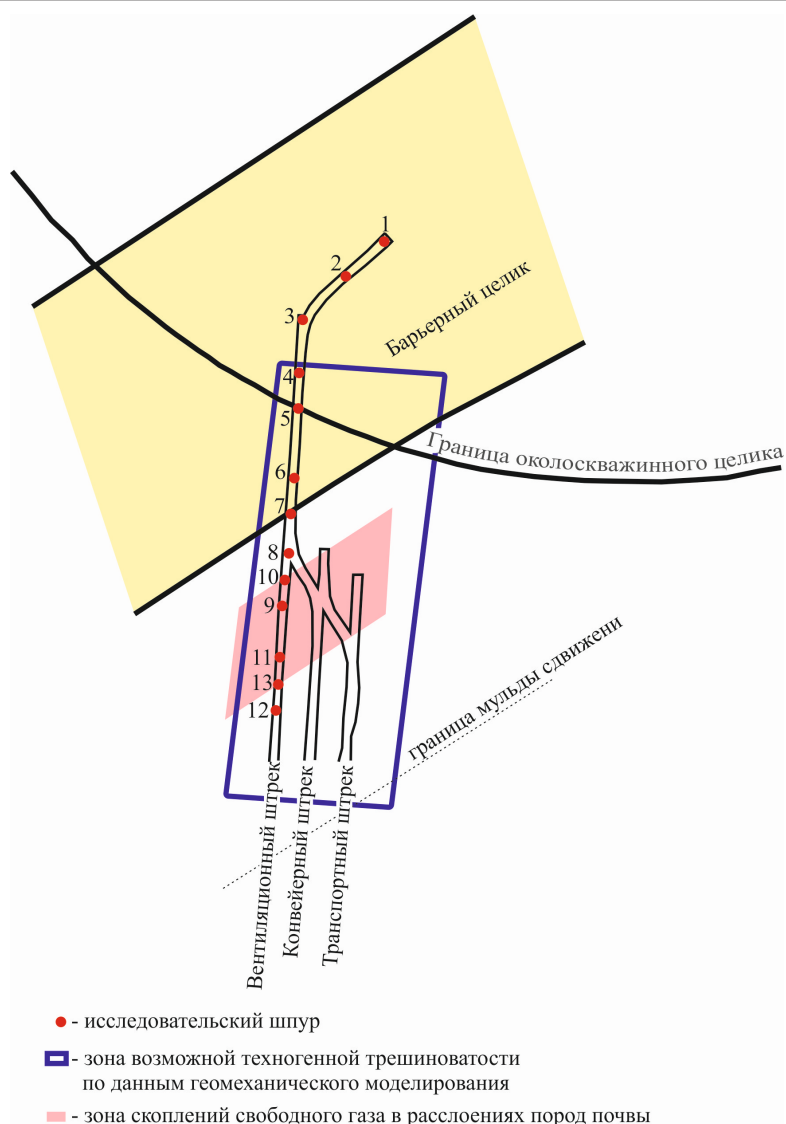


Рис. 10. Сопоставление результатов геомеханического моделирования и данных шахтных экспериментальных исследований газоносности и газодинамических характеристик пород почвы

В соответствии с полученными результатами (Рис. 10), данные геомеханического моделирования хорошо согласуются с шахтными экспериментальными исследованиями. Зона повышенных значений газоносности и газодинамических характеристик пород почвы I калийного горизонта, установленная по данным шахтных экспериментальных исследований в шпурах №№ 9, 11 и 13, располагается примерно по центру зоны возможной техногенной трещиноватости, полученной по результатам геомеханических прогнозов.

Таким образом, анализ результатов геомеханического моделирования и шахтных экспериментальных исследований по изучению газоносности по свободным газам и газодинамических характеристик пород почвы нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта показывает, что в условиях его подработки и надработки в краевой части мульды сдвижения создаются предпосылки к формированию очагов (ГДЯ).

Заключение

Выполненный комплекс геомеханических и шахтных экспериментальных исследований изменения напряженно-деформированного состояния, газоносности по свободным газам и газодинамических характеристик пород почвы нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта показал, что при проходке подготовительных выработок в условиях подработки и надработки создаются предпосылки к локализации скопления свободных газов. Формирование таких очагов связано с максимальной техногенной трещиноватостью, представленной, преимущественно, расслоениями по контактам слоев литологических разностей соляных пород и глинистым прослойкам и приуроченных к краевой части мульды сдвижения. Показатели газоносности по свободным газам и газодинамические характеристики на данных участках характеризуются аномально большими величинами, что предопределяет опасность реализации ГДЯ.

Таким образом, в определенных геологических и горнотехнических условиях ведения горных работ при отсутствии профилактической дегазации пород почвы проходка подготовительных горных выработок по нижнему сильвинитовому пласту I калийного горизонта может сопровождаться газодинамическими явлениями в виде внезапных разрушений пород почвы, сопровождающихся газовыделением. Приуроченность газодинамических аномалий в породах почвы нижнего сильвинитового пласта I калийного горизонта пространственно к краевым частям мульды сдвижения позволяет дифференцировано подходить к выбору параметров профилактического дегазационного бурения шпуров в почву горных выработок.

Библиографический список

1. *Пермяков Р.С., Проскуряков Н.М.* Внезапные выбросы соли и газа. – Л.: Недра, 1972. – 180 с.
2. *Проскуряков Н.М.* Газодинамические явления в Солигорских калийных рудниках / Н.М. Проскуряков, В.Д. Фомина, В.К. Рожков. – Минск: Полымя, 1974. – 212 с.
3. *Ковалев О.В.* Борьба с газодинамическими явлениями в калийных рудниках Безопасность труда в промышленности. – 1980. – № 6. – с.51–53.
4. *Проскуряков Н.М.* Внезапные выбросы породы и газа в калийных рудниках. – М.: Недра, 1980. – 263 с.
5. *Ковалев О.В.* Особенности безопасной разработки калийных месторождений/О.В. Ковалев, В.С. Ливенский, Л.В. Былино. – Минск: Полымя, 1982.–96 с.
6. *Проскуряков Н.М.* Управление газодинамическими процессами в пластах калийных руд / Н.М. Проскуряков, О.В. Ковалев, В.В. Мещеряков. – М.: Недра, 1988. –239 с.
7. *Ковалев О.В., Андрейко С.С.* Применение лучевой сейсмотомографии для определения контуров выбросоопасных геологических нарушений в подготовленных к отработке столбах Старобинского месторождения // Записки Горного института. – 1994. – Т. 139. – С. 45–53.
8. *Андрейко С.С., Калугин П.А, Щерба В.Я.* Газодинамические явления в калийных рудниках: генезис, прогноз и управление. – Минск: Вышэйшая школа, 2000. – 335 с.
9. *Сиренко Ю.Г., Ковальский Е.Р.* Разработка способов пересечения выбросоопасных зон при выемке Третьего калийного пласта Старобинского месторождения на полную мощность // Записки Горного института. – 2002. – Т. 152. – С. 85–88.
10. *Подлесный И.А.* Геомеханическое моделирование внезапных разрушений пород почвы горных выработок/И.А. Подлесный [и др.] // Горный журнал. – М.: – 2010. – №8. – С.28–30.
11. *Береснев С.П.* Исследование механизма формирования опасных по газодинамическим явлениям зон в породах калийного горизонта / С.П. Береснев [и др.] //Горный журнал. – М.: – 2010. – №8. – С.31–33.

12. *Литвиновская Н.А.* Прогноз и предотвращение газодинамических явлений из почвы подготовительных горных выработок в условиях подработки//Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ. – 2010. – №4. – С. 180–186.
13. *Андрейко С.С.* Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений из почвы при проходке подготовительных выработок в подработанном массиве соляных пород / С.С. Андрейко, О.В. Иванов, Н.А. Литвиновская. – Пермь: Изд-во Перм. Нац. Исслед. Политехн. Ун-та, 2015. – 159 с.
14. *Высоцкий Э.А.* О влиянии палеотектоники на характер изменения состава калийных горизонтов/ Э.А. Высоцкий, В.З. Кислик, Н.С. Петрова // Докл. АН БССР. – 1980.–т. 24.–№ 8.–С. 736–739.
15. *Гарецкий Р.Г.* Калийные соли Припятского прогиба/Р.Г. Гарецкий [и др.]. – Мн.: Наука и техника, 1984. – 182 с.
16. *Высоцкий В.А.* Калиеносные бассейны мира/В.А. Высоцкий [и др.]. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 387 с.
17. *Goodman R.E.* The mechanical properties of joints//Adv. Rock Mech. – 1974. – V.1. Pt. A.–P.127–140.
18. *Барях А.А., Шумихина А.Ю., Токсаров В.Н., Лобанов С.Ю., Евсеев А.В.* Критерии и особенности разрушения слоистой кровли камер при разработке Верхнекамского месторождения калийных солей// Горный журнал. – 2011. – № 11. – С. 15-19.
19. *Baryakh A.A.* Interaction of layers in salt deposit. 1. Mechanical properties of joints/A.A. Baryakh, I.N. Dudyrev, V.A. Asanov, I.L. Pan'kov//Journal of Mining Science. – 1992.–vol. 28.–issue 2.– P. 145–149.
20. *Барях А.А.* О механизме локализации очагов газодинамических явлений в почве сильвинитовых пластов/А.А. Барях, С.С. Андрейко, А.К. Федосеев// 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
21. *Барях А.А.* Газодинамическое обрушение кровли при разработке месторождений калийных солей/ А.А. Барях, С.С. Андрейко, А.К. Федосеев//Записки Горного института. – 2020. – Т. 246. – С. 601-609 DOI: 10.31897/PMI.2020.6.1
22. *Кузнецов Г.Н.* Механические свойства горных пород/Г.Н. Кузнецов. – М.: Углетехиздат, 1947. – 180 с.
23. *Земсков А.Н.* Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними/ А.Н. Земсков, П.И. Кондрашов, Л.Г. Травникова. – Пермь: 2008. – 414 с.
24. *Иванов О.В.* Исследование газоносности соляных пород Третьего калийного пласта на шахтном поле Краснослободского рудника/О.В. Иванов [и др.]/Горный журнал. – 2013.–№6.–с.69–73.
25. *Андрейко С.С., Иванов О.В., Саламатина Н.А.* Закономерности изменения газоносности и газодинамических характеристик пород I калийного горизонта в условиях шахтного поля рудника 1РУ РУП «ПО «Беларуськалий»//Горное эхо. Вестник Горного института. – Пермь: ГИ УрО РАН. – 2006. – № 1(23). – С.24-26.
26. *Айруни А.Т.* Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах. – М.: Недра. – 1981.–335 с.
27. *Айруни А.Т., Иофис М.А.* Повышение эффективности дегазации выбросоопасных пластов при их подработке и надработке / Физико–технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск: 1980. – № 3. – С.74–80.
28. *Айруни А.Т., Иофис М.А., Черняев В.И.* Прогнозирование напряженного и газодинамического состояния угольных пластов при взаимном влиянии надработки и подработки / Физико–технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск: 1985. – № 1. – С.43–52.

Благодарности:

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственных заданий ГИ УрО РАН (рег. номер 124020500031-4 и рег. номер 124020500030-7), утвержденных Минобрнауки России.

Для цитирования:

Барях А.А., Андрейко С.С., Федосеев А.К., Литвиновская Н.А., Нестеров Е.А. Оценка локализации скоплений свободного газа в краевых частях мульды сдвижения // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2026. – № 2. – С. 5–20. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2026.2.1>

Сведения об авторах:

Барях Александр Абрамович, доктор технических наук, профессор, академик РАН, руководитель научного направления «Горные науки», Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН («ПФИЦ УрО РАН»), научный руководитель, Горный институт УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ГИ УрО РАН»), 614007, Пермский край, г. Пермь, ул. Сибирская, д.78-А; e-mail: bar@mi-perm.ru, ORCID: 0000-0003-2737-6166

Андрейко Сергей Семенович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории геотехнологических процессов и рудничной газодинамики, «ГИ УрО РАН»; e-mail: ssa@mi-perm.ru, ORCID: 0000-0002-3524-8650

Федосеев Антон Кимович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геомеханики, «ГИ УрО РАН»; e-mail: rm_anton@mi-perm.ru, ORCID: 0000-0002-9292-1602

Литвиновская Наталья Александровна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геотехнологических процессов и рудничной газодинамики, «ГИ УрО РАН»; e-mail: nlitvinovskaya@mail.ru, ORCID: 0009-0001-8993-6112

Нестеров Егор Анатольевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геотехнологических процессов и рудничной газодинамики, «ГИ УрО РАН»; e-mail: mine_egor@mail.ru, ORCID: 0009-0008-8130-4490

ASSESSMENT OF LOCALIZATION OF FREE GAS ACCUMULATIONS IN MARGINAL PART OF THE DISPLACEMENT TROUGH

**Baryakh A.A., Andreyko S.S., Fedoseev A.K.,
Litvinovskaya N.A., Nesterov E. A.**

Mining Institute UB RAS, Perm

The development of the Starobinskoye potash salt deposit is associated with the danger of occurrence of gas-dynamic phenomena in the form of sudden and initiated outbursts of salt and gas, roof rock collapses and bed rock destruction. In this paper, mathematical modeling methods were used to evaluate changes in the stress-strain state during the excavation of the development heading along the lower silvinitic formation of the I potash horizon under conditions of its underworking and overworking. Mine on-site studies of the distribution of gas content and gas dynamic characteristics of bed rocks of the lower silvinitic stratum of the I potash horizon have been carried out. Based on the modeling results, possible localization areas of fracturing, stratification, and free gas accumulations have been identified, confined to the marginal part of the displacement trough. Within these zones, mine on-site studies have shown abnormally high values of the gas dynamic characteristics of the bed of the lower silvinitic formation of the I potash horizon. The current mining situation in certain conditions determines the potential danger of gas-dynamic phenomena associated with the destruction of the rocks of the mine workings and accompanied by intense gas emission.

Keywords: *potash formations, mine research, free gases, gas content, gas dynamic characteristics, geomechanical modeling, rock pressure, marginal part of the displacement trough*

Поступила в редакцию: 23.03.2026

Принята к публикации: 05.06.2026