

УДК 622.411.322

Минеев С.П., д-р техн. наук, проф.,
Кочерга В.Н., магистр
(ИГТМ НАН Украины),
Янжула А.С., магистр,
Гулай А.А., магистр
(ПАО «ШУ «Покровское»)

**ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ПРОГНОЗА ИМПУЛЬСНЫХ
ВЫДЕЛЕНИЙ МЕТАНА В ЗОНАХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ
ПРИ ОБРУШЕНИИ ПОРОД КРОВЛИ**

Мінеєв С.П., д-р техн. наук, проф.,
Кочерга В.М., магістр
(ІГТМ НАН України)
Янжула О.С., магістр,
Гулай О.О., магістр
(ПАТ «ШУ «Покровське»)

**ОБГРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ПРОГНОЗУ ІМПУЛЬСНИХ ВИДІЛЕНЬ
МЕТАНУ В ЗОНАХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПОРУШЕНЬ ПРИ ОБВАЛЕННІ
ПОРІД ПОКРІВЛІ**

Mineev S.P., D.Sc. (Tech), Professor,
Kocherga V.N., M.S. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine),
Yanzhula A.S., M.S. (Tech.),
Gulay A.A. M.S. (Tech.)
(PJSC «CG «Pokrovskoye»)

**CRITERIA FOR PREDICTING METHANE PULSE RELEASE AT ROCK
ROOF FALL IN ZONES WITH GEOLOGICAL FAULTS**

Аннотация. Выполнены исследования процесса внезапного выделения метана в горные выработки при первичных и последующих посадках (обрушениях) основной кровли при ведении горных работ. Данные исследования проведены с целью обоснования критериев прогноза опасности внезапного выделения метана во время обрушения пород основной кровли и с учетом применяемых мероприятий по предотвращению загазирования горных выработок. Выполненный анализ причин газовыделения при посадках основной кровли, которые привели к авариям на шахтах «Золотое» ГП «Первомайскуголь», им. С.М.Кирова и «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь», позволил обосновать метод прогноза внезапного загазирования выработок при обрушениях кровли. Приведены вероятные схематические геологические разрезы мест возможного прорыва метана в забой выработки и разработаны предварительные геологические критерии прогнозирования внезапных загазирования горных выработок при обрушении пород основной кровли в зонах геологических нарушений.

Ключевые слова: импульсное выделение метана, посадка основной кровли, внезапное загазирование, прогноз, геологическое нарушение.

Отработка газоносных угольных пластов на шахтах Донбасса осложнена выделением метана в горные выработки, что является достаточно серьезным фактором, ограничивающим нагрузку на очистной забой и основной причиной группового производственного травматизма, в связи с тем, что газовыделение приводит к взрывам и вспышкам метана в горных выработках. В течение последних десятилетий в шахтах страны произошел ряд взрывов метана и угольной пыли, имевших трагические последствия (шахты «Суходольская Восточная», «Славяносербская», «Золотое», им. А.А. Скочинского, им. А.Ф. Засядько, им. Н.П. Баракова, им. С.М. Кирова, «Краснолиманская», «Южнодонбасская №1», ш/у «Покровское» и др.). Из 98 взрывов, зарегистрированных в угольных шахтах Украины после 1971 г., в 80 участвовал только метан, в 17 - метан и угольная пыль и только в одном - только угольная пыль. Кроме взрывов, за этот период, отмечено 300 случаев вспышек и горения метана, которые не реализовались в виде взрыва. Необходимо также сразу отметить, что одной из распространенных причин образования взрывоопасной газовой среды в выработках является внезапное повышенное метановыделение при посадках основной кровли или ряда других факторов. При этом наиболее опасным считается метановыделение импульсного характера при обрушении кровли в зоне влияния геологических нарушений. Поэтому достаточно важной задачей в области обеспечения безопасности труда в угольной отрасли является предупреждение загазирования горных выработок, которое нередко затем перерастает во вспышки и взрывы метана. Вместе с этим однозначного метода прогноза и технологических решений, позволяющих предотвратить импульсные загазирования нет. Учитывая изложенное, вполне очевидна актуальность исследований по прогнозной оценке импульсных метановыделений в забой выработки в зонах геологических нарушений.

Поэтому в данной статье рассматриваются вопросы возможности прогнозирования импульсных выделений метана в зонах геологических нарушений при обрушении пород кровли.

В последнее время различными авторами рассматриваются несколько механизмов импульсного выделения метана [1-7]. Среди этих гипотез, по нашему мнению, следует выделить такие, как: суфлярное выделение метана; выделение метана при обрушении пород кровли, в том числе со значительным выдавливанием метана в выработки из куполов и полостей расслоения; образование искусственных и естественных коллекторов; спонтанный перевод сорбированного газа в свободный и другие.

Выполненный анализ условий реализации внезапных загазирования на шахтах показал, что при обрушении пород кровли пласта в зонах геологических нарушений имеют место определенные закономерности.

Основные причины внезапного газопроявления, приведенные в работах [5-7], были следующими: приуроченность шахтного поля к брахиантиклинали и низкая степень метаморфизма углевмещающей толщи, способствующие образованию структурно-поровой ловушки свободного газа; наличие в кровле газонасыщенных песчаников; вскрытие горной выработкой зоны малоамплитудной

нарушенности; обрушение основной кровли, вскрывшее газонасыщенный песчаник и структурно-порово-тектоническую ловушку свободного метана в ней, а также высокие фильтрационные свойства пород, обусловленные зоной малоамплитудной нарушенности, и приведшие к мгновенному загазированию горных выработок. Ранее было установлена неоднозначность изменения метановыделения при переходе горными работами малоамплитудных геологических нарушений [2, 3, 9 и др.], то есть при пересечении нарушения в одних случаях наблюдается увеличение метановыделения, а в других его уменьшение.

Внезапное суфлярное газовыделение, вызванное ведением горных работ, относят к суфлярам эксплуатационного происхождения. Известно [1, 2, 3, 10, 11], что суфлярные выделения метана в результате осадки основной кровли происходят в вентиляционных штреках в верхних частях лав при отработке пластов, основная кровля которых представлена мощными труднообрушающимися породами (как правило, песчаники и известняки). Особенно интенсивное газовыделение происходит после первого обрушения основной кровли вследствие активизации источников метана, находящихся в подработанной толще. Начальный дебит суфляра бывает очень высоким (до $35 \text{ м}^3/\text{мин}$), поэтому содержание метана в исходящей вентиляционной струе за очень короткий промежуток времени может достигать взрывоопасных концентраций. Если в зону обрушения попадает геологическое нарушение, то дебит метана в выработки может увеличиваться за счет притока газа из вмещающих пород и сближенных пластов, удаленных на значительное расстояние от разрабатываемого пласта.

В этом разрезе не менее интересна гипотеза ИГТМ НАН Украины [7] о возможности, при определенных энергетических условиях, существующих в углепородном массиве на рассматриваемых глубинах спонтанного перевода связанного метана, в частности, сорбированного в свободный. Причем, согласно расчетов, выполненных в ИГТМ НАН Украины, увеличение количества свободного газа переходящего спонтанно из связанного состояния, может составлять разы и более [7] в достаточно короткий промежуток времени.

Несмотря на вышеупомянутые многочисленные исследования в области борьбы с суфлярами и другими видами импульсного метановыделения, до настоящего времени не разработана нормативная методика прогноза газовыделения во время обрушения пород кровли в зонах геологических нарушений, не были разработаны эффективные мероприятия по предотвращению загазирования горных выработок, обеспечивающие безопасное ведение горных работ по газовому фактору, при первичных и последующих обрушениях пород кровли, особенно при пересечении горными работами геологических нарушений.

Так, отсутствие надежной нормативной базы не позволило предотвратить внезапное выделение метана и, как следствие, его взрывы на шахтах «Золотое» ГП «Первомайскуголь» (24.09.93 г.), им.С.М. Кирова ГП «Макеевуголь» (07.05.01 г.) и ш/у «Покровское» (2014 г.), имевших трагические последствия, а также многочисленные загазирования горных выработок, приводящих к длительным простоям выемочных участков. Примером может служить внезапное за-

газификация горных выработок на шахте «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь» в мае 2001 года, которое привело к простоя участка в течение 9 дней.

Однако необходимо иметь в виду тот факт, что если внезапное газовыделение было бы и спрогнозировано, обеспечить полное его предотвращение весьма затруднительно. Так, на шахте им. С.М. Кирова ГП «Макеевуголь» при отходе 5-й восточной лавы пласта h_{10}^B от монтажного ходка на расстояние 10-70 м ожидалось интенсивное метановыделение. Для предотвращения загазирования выработок было пробурено десять экспериментальных дегазационных скважин. Несмотря на принятые меры, при отходе лавы на расстояние 15 м от монтажного ходка во время интенсивного выделения метана, произошло загазирование участка. Содержание метана в исходящей струе достигало 2,5 %.

Для решения поставленной в работе задачи ранее были проанализированы обстоятельства и горнотехнические условия взрывов метана и внезапных загазирования, произошедших за последних 30 лет в выработках во время посадки основной кровли в зонах геологических нарушений [5]. Их анализ позволил установить следующие основные положения механизма процессов импульсного загазирования, имеющих место при обрушении пород кровли в зонах геологических нарушений.

Обрушение пород кровли, как правило, сопровождается интенсивным выделением метана из разгруженных угольных пластов и пород в выработанное пространство [1, 2, 3, 10]. При этом его содержание в исходящей струе выемочного участка за короткий промежуток времени может увеличиваться в несколько раз. Потом в течение одних-двух суток происходит быстрое, а затем медленное падение интенсивности газовыделения.

Анализ изученных [1, 3] случаев газовыделения показывает, что при обрушении пород кровли внезапные выделения метана могут происходить как из кровли, так и из почвы. При прорывах метана из кровли его содержание в выработках максимально увеличивалось в 20 раз, а дебит суфляра достигал 33 м³/мин. [5]. При внезапных прорывах метана из почвы максимальный дебит суфляра достигал 200 м³/мин. Интенсивное газовыделение продолжалось, как правило, несколько часов, а затем резко снижалось.

Анализ динамики случаев загазирования на шахтах «Золотое» ГП «Первомайскуголь», им. С.М. Кирова и «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь» при обрушении кровли показывает, что в течение от нескольких минут до нескольких часов метановыделение из кровли увеличивалось в 6-35 раз и достигало максимальных значений (55-77 м³/мин.), а затем постепенно снижалось. Общий дебит выделившегося метана составлял от 110 до 327 тыс.м³.

Расчет объема газа, который может выделиться из подработанной толщи в зоне дегазифицирующего влияния очистной выработки [5], показал, что в рассмотренных случаях в горные выработки не могло выделиться такое количество газа. По-видимому, метан выделился либо из свободных объемов, либо из участков, прилегающих к подработанной толще и связанной с ней системой трещин.

Если в зону обрушения попадает геологическое нарушение, то дебит метана может увеличиться за счет притока газа из вмещающих пород и сближенных

пластов, удаленных на значительное расстояние от разрабатываемого пласта. Тектонические трещины геологических нарушений в этом случае играют роль коллектора, связывающего выработки с удаленными разгруженными угольными пластами. Интенсивность газовыделения при этом невысокая, а в большинстве случаев дебит суфляра не превышает $3 \text{ м}^3/\text{мин}$. Однако, его продолжительность может достигать 50 и более суток. Геологические нарушения, в зоне которых происходили загазирования, имели амплитуду смещения пород до 0,5 м и небольшую протяженность.

Ранее авторами был выполнен анализ геологических условий внезапных выделений метана в горные выработки при обрушениях кровли в зонах геологических нарушений и показаны также геологические критерии прогноза исследуемого нами явления [5, 6], которые после некоторого уточнения приведены ниже.

1. Наличие геологических нарушений или зон малоамплитудной нарушенности, которые являются путями миграции углеводородных газов, и создают ловушки свободных газов в зонах влияния нарушений или в самих зонах малоамплитудной нарушенности.

2. Приуроченность очистных работ к геологическим структурам (брахиантиклиналям, антиклиналям, куполам), где образование ловушек свободного газа обусловлено структурным положением участка. При этом, как считается, отношение высоты складки к ее ширине должно быть более 1/50.

3. Возможность образования свободных скоплений газов в структурах, определяя уголь: наличием газонасыщенного песчаника сопровождающего или заключающего в себе угольный пласт; песчаник должен иметь трещиноватость вследствие трещиноватой нарушенности; трещиноватость должна быть закрытого типа, то есть не иметь свободного сообщения с атмосферой.

4. Совмещение газонасыщенной структурной ловушки с тектонической, которая обнажаясь при обрушении пород основной кровли, дает возможность поступлению больших объемов газа в горные выработки за короткий срок.

5. Наличие в кровле разрабатываемого угольного пласта «покрышки» - непроницаемых или слабопроницаемых пород глинистого (аргиллиты), углисто-глинистого, или песчано-глинистого (алевролиты) состава, которые препятствуют постепенной дегазации рассматриваемых нами коллекторов при ведении горных работ. Газовыделение начинается только после обрушения пород основной кровли и обнажения коллектора.

6. Высокая газодинамическая напряженность и газонасыщенность горного массива, которая при первичном обрушении основной кровли нарушает в неразгруженном массиве его динамически – газовое равновесие.

При обосновании рассматриваемых выше геологических критериев прогноза необходимо отметить, что тектонические нарушения имеют существенное, если не главное, значение для перераспределения свободных газов в угленосной толще и имеют первостепенное значение при прогнозировании горно-геологических условий отработки угольных пластов. Также следует учитывать, что существующие пликативные формы, дизъюнктивные нарушения, трещино-

ватость оказывают заметное воздействие на вековую геологическую дегазацию пластов и, соответствующее, перераспределение свободных газов.

Наиболее характерные проявления локальных тектонических факторов на распределение свободных газов в угленосной толще сводятся к следующему [4, 5, 9, 12- 14].

1. В антиклинальных сводах закрытых (перекрытых коренными глинистыми и песчано-глинистыми породами) и полузакрытых антиклиналей газоносность угольных пластов и газонасыщенность (за счет свободного газа) углевмещающих пород выше, чем на той же глубине от поверхности в крыльях этих структур с выходом пластов под наносы.

2. В синклиналиях повышенная газоносность отмечается в донной части, уменьшаясь в направлении вздымания замков складок, то есть обратная картина.

3. К флексурам и перегибам часто бывают приурочены локальные скопления свободного газа, что обусловлено образованием трещин и, соответственно трещинного коллектора в зоне флексурного перегиба.

4. Дизъюнктивные нарушения надвигового типа, а также малоамплитудные нарушения, нередко образуют тектонические ловушки свободного газа в зонах повышенной трещиноватости, расположенных вблизи нарушения. Чаще всего эти зоны приурочены к вмещающим породам, с благоприятными фильтрационно-емкостными свойствами, аккумулирующими газ во время катагенеза толщи и генерации метана угольными пластами, на которые накладывается повышенная трещиноватость, обусловленная формированием пликативных и дизъюнктивных структур.

5. Нарушения и разупрочненные зоны служат путями миграции газов. Однозначно по типу нарушения без реконструкции палеотектоники и изучения газоносности определить его роль – экранирующая или дренирующая – весьма затруднительно. Однако опыт отработки угольных пластов показал, что основная часть нарушений сопровождается зонами повышенной газоносности, что обусловлено образованием трещинного коллектора в зоне его влияния [9,12-14].

Расчет зоны повышенной трещиноватости, связанной с разрывным нарушением производится по известной формуле [15]

$$B_n = \frac{N}{\sin \gamma}, \quad (1)$$

где B_n – ширина зоны влияния разрыва, которая измеряется в плоскости пласта по перпендикуляру к линии скрещения, м; N – нормальная (стратиграфическая) амплитуда смещения, м; γ - двугранный угол между плоскостью сместителя и напластованием, град.

Исследование закономерностей изменения интенсивности проявления очень мелких разрывных структур по мере удаления от плоскостей нарушения крупных надвигов позволило установить размеры зон влияния этих надвигов, величина которых определяется по выражению [15].

$$B = 10,1 \cdot N^{0,76}, \quad (2)$$

где B – ширина зоны влияния разрыва, м; N – стратиграфическая амплитуда разрыва, м.

Большие притоки метана в горные выработки связаны с наличием в кровле отрабатываемых угольных пластов горизонтов газонасыщенных песчаников, являющихся коллекторами метана. Как правило, это мощные отложения русловой, пойменной или подводно-дельтовой фации. В силу генетических условий формирования эти песчаники характеризуются достаточно высокими фильтрационно-ёмкостными свойствами, способными аккумулировать газ, образующийся при углефикации растительного материала, а также мигрирующий из глубин по ослабленным зонам. Как правило, в каждом геолого-промышленном районе Донбасса определенные слои песчаников являются газонасыщенными на всей площади района. Распределение газа в песчаниках неравномерное, что обусловлено неоднородностью их фильтрационно-ёмкостных свойств, невыдержанностью по мощности и по фациальной принадлежности, а также их трещиноватости, структурно-тектоническому положению, гидродинамическим параметрам.

Опасность загазирования горных выработок значительно снижается, если газонасыщенный горизонт расположен в непосредственной кровле угольного пласта и мощность его ограничена. Во время проведения очистных работ происходит постепенное обнажение горизонта и метан удаляется вентиляционной струей или дегазацией.

При наличии в непосредственной и, в значительной мере, основной кровле плотных непроницаемых пород «покрышки», изолирующих вышележащие породы и препятствующих их дегазации, разгрузка вышележащих газонасыщенных песчаников и газоотдача из них происходит практически мгновенно в момент обрушения основной кровли. При наличии в них больших объемов газа и высокопроницаемых пород, а особенно зоны нарушенных пород, газоотдача происходит особенно интенсивно.

Высокая газодинамическая напряженность массива является одной из причин интенсивного газовыделения при вскрытии геологических нарушений во время обрушения основной кровли. При ведении горных работ по угольным пластам в массиве, где очистные работы по другим пластам не проводились и горный массив не разгружен, опасность загазирования возрастает. Это обусловлено высокой газодинамической напряженностью массива – пластовые давления газа близки к гидростатическим. Низкие фильтрационные свойства пород, особенно глинистых, препятствуют дегазации газонасыщенных пластов. При проведении горных работ и вскрытии ими нарушений происходит разгрузка массива, особенно интенсивная в момент обрушения основной кровли, когда происходит дегазация массива по техногенным трещинам.

Поэтому следует считать, что наиболее опасными по загазированию являются шахтные поля, где горные работы проводятся на участках со скоплениями свободного метана. Тектонические нарушения на таких участках, особенно

надвигового характера, являются проводниками свободного газа. При их вскрытии во время обрушений основной кровли вскрываются газовые ловушки и происходит интенсивное выделение метана в выработки.

Принцип метода прогноза вытекает из механизма внезапного прорыва метана из кровли и заключается в анализе горно-геологических условий разрабатываемого горного массива и выявлении в нем приведенных выше геологических критериев прогноза.

Механизм внезапных прорывов метана из кровли может быть представлен следующим образом. Одиночный угольный пласт разрабатывается в зоне влияния пликативного (антиклинали, купола, флексуры, брахиантиклинали, осевые части синклиналей) или малоамплитудного (амплитуда смещений до 10 м), разрывного (надвиги, сбросы, взбросы) геологического нарушения, способных образовать газовые «ловушки». Непосредственная кровля разрабатываемого пласта представлена легко обрушающимися газонепроницаемыми породами (аргиллиты и алевролиты), выше которых залегает трещиноватый газонасыщенный песчаник (трещинный коллектор свободного газа), сопровождающийся в кровле или почве угольным пластом.

Во время обрушений основной кровли происходит обнажение трещиноватого коллектора и свободный газ, скопившийся в нем, начинает интенсивно выделяться в горные выработки. Причем, газ может выделяться с больших площадей, находящихся вне зоны влияния очистных работ.

В зонах надработки газонасыщенных структур общий дебит метана на выемочном участке может возрасти на $70 \text{ м}^3/\text{мин}$. и более, а в зонах подработки разрывных нарушений – на $3\text{-}5 \text{ м}^3/\text{мин}$. Последующие, после прорыва газа, обрушения кровли и разгрузка песчаника не вызывают аномальных газовыделений в связи с дегазацией коллектора и выходом очистных работ из зоны влияния геологического нарушения.

На основании анализа опыта ведения горных работ и выполненных исследований были разработаны основные положения прогноза внезапных выделений метана в зонах геологических нарушений при обрушении пород кровли. Сущность их заключается в следующем. Прогноз мест возможных прорывов метана с кровли на шахтах выполняются геологическими службами шахт на основе анализа геологической документации и осуществляются на стадии проектирования выемочного участка.

Для выполнения прогноза участков разрабатываемого пласта, опасных по внезапным прорывам метана, используется следующая документация: планы горных выработок, в том числе и перспективные из пластов, предусматриваемых к отработке данной шахтой; гипсометрические планы пластов; карты природной газоносности угольных пластов; геологическая карта шахтного поля; тектоническая карта шахтного поля; вертикальные геологические разрезы по простиранию и вкрест простирания пластов; стратиграфические колонки залегания горных пород по геологоразведочным скважинам, стволам и другим выработкам; сведения о газопроявлениях в разведочных скважинах в пределах шахтного поля; сведения о суфлярных и повышенных выделениях метана в го-

рные выработки в пределах шахтного поля; геологические отчеты о разведке (доразведке) шахтного поля или участка. По результатам изучения геолого-маркшейдерской документации устанавливается наличие в пределах шахтного поля горно-геологических условий, образование в ненарушенном горном массиве микрозалежей газа, согласно рекомендациям, которые сфокусированы в таблице 1.

Таблица 1 - Условия отнесения участков разрабатываемого пласта к опасным по прорывам метана из кровли и границы таких участков

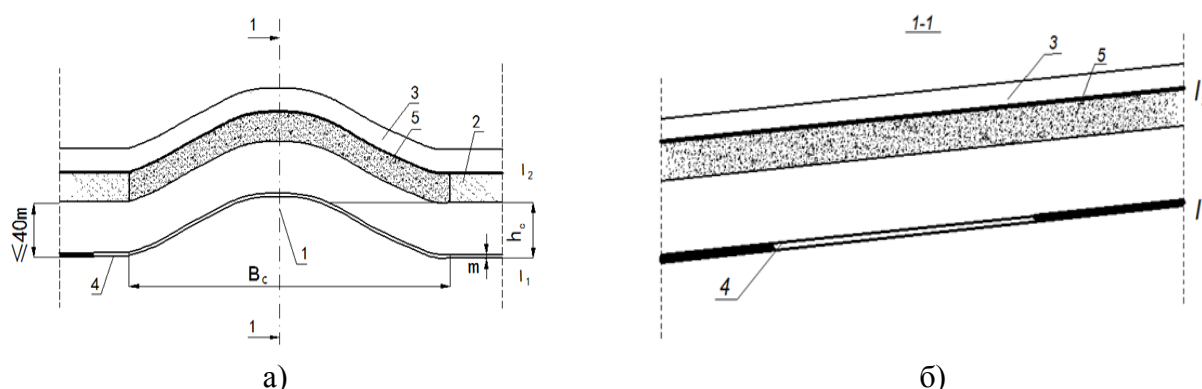
Характеристика горно-геологических условий	Границы опасных участков
1. В зонах складчатых структур	
1.1 Подработанная толща залегает антиклинально (рис. 1). Отношение высоты складки (h_c) к ее ширине (e_c) - больше 1/50. Непосредственная кровля разрабатываемого пласта (li) представлена легко обрушаемыми породами (аргиллиты, алевролиты). Выше разрабатываемого пласта (li) на расстоянии от 2 m до 40 m (m – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта) залегает песчаник, вмещающий в кровле или почве угольный пласт или пропласток (l_2). Песчаник перекрыт в кровле породой-газоупором	По простиранию пласта на расстоянии не меньшем 20 м по оба бока от основания складки. В крест простирания пласта - на протяжении длины изгиба
1.2. Подработанная толща залегает в виде брахиантиклинали или купола (рис. 2). Отношение высоты купола (h_k) к его ширине (e_k) больше 1/50. Другие условия – согласно пункту 1.1 таблицы	По простиранию и вкрест простирания пласта - на расстоянии не меньше, чем 20 м вблизи основания брахиантиклинали или купола
1.3. Породная толща залегает в виде флексуры - коленчатого изгиба пластов, которые залегают моноклинально (рис. 3). Величина угла (V) флексуры от 90° до 170°. Другие условия – согласно пункту 1.1 таблицы	По простиранию пласта - на расстоянии не менее, чем 100 м в оба бока от основания флексуры. Вкрест простирания пласта - на расстоянии длины флексуры
1.4. Подрабатываемая толща залегает синклинали (рис.4). Отношение высоты складки (h_c) к ее ширине (e_c) больше 1/35. Ось складки изогнута антиклинально. Величина изгиба больше 1/50. Другие условия – в пункте 1.1 таблицы	В крест простирания пласта на расстоянии не менее, чем 100 м в оба бока от оси синклинали. По простиранию – на расстоянии изогнутой донной части синклинали
2. В зонах геологических нарушений	
2.1. В подрабатываемой толще есть продольное разрывное геологическое малоамплитудное нарушение, созданное в условиях сжатия, с амплитудой смещения до 10 м (рис. 5), которое обычно не выходит на земную поверхность (обычно это апофиза большого надвига). Другие условия - согласно пункту 1.1 таблицы	На расстоянии не меньшем, чем 20 м в обе стороны от линии скрещивания пласта и сместителя разрыва
2.2. В подрабатываемой толще есть зона затухания продольного или диагонального разрывного геологического нарушения (рис. 6). Другие условия - согласно пункту 1.1 таблицы	На расстоянии 40 м в бока от линии скрещивания пласта и сместителя разрыва

На выемочных участках, где прогнозом установлена возможность внезапного выделения метана из кровли, предусматриваются мероприятия по предотвращению загазирования горных выработок. Границы опасных участков наносятся на планы горных выработок, а опасные зоны должны быть занесены в «Книгу учета опасных зон», их учет надо проводить в соответствии с программой развития горных работ на планируемый год.

Рассмотрим кратко сущность методологии по условиям отнесения участков разрабатываемого пласта к опасным по прорывам метана из кровли и определения границ этих участков.

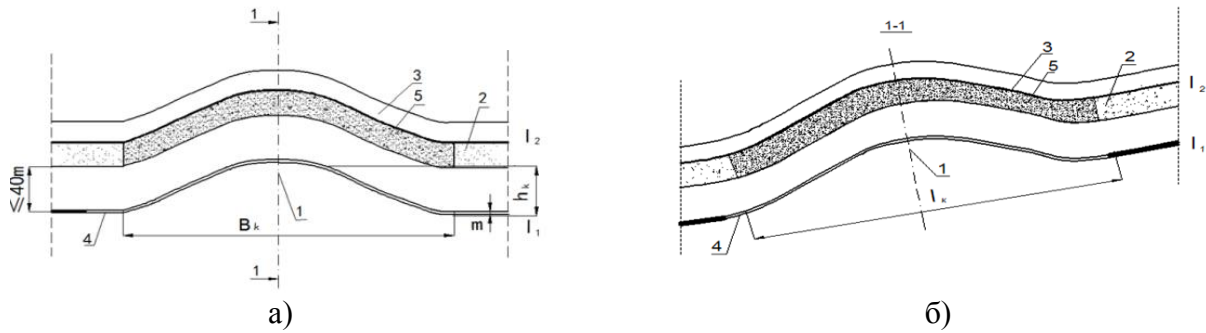
Участки разрабатываемого пласта, расположенные под толщей пород, характеризующихся наличием горно-геологических условий (графа 1, таблица 1), при которых возможно образование микрозалежей газа, относят к опасным по импульсным прорывам метана. Возможные их границы определяют по второй графе таблицы 1. Пояснения к рекомендациям, сведенным в таблице 1, приведены на рисунках со схематичными разрезами условий возможного импульсного прорыва метана в забои выработок при ведении горных работ. Схематичные геологические разрезы пород в месте возможного прорыва метана из кровли при антиклинальном залегании пласта, в случае куполообразного залегания пласта, в зоне флексурного изгиба пластов, при синклинальном залегании пластов, и антиклинального подъема оси синклинали в донной ее части, а также в зоне разрывного нарушения и в зоне затухания геологического нарушения приведены на рис. 1-5.

Пояснительная записка с результатами оценки степени опасности разрабатываемого пласта по внезапным прорывам метана в выработки и прилагаемые к ней графические материалы согласовываются с институтом, курирующим рассматриваемую шахту и утверждаются главным инженером шахты.



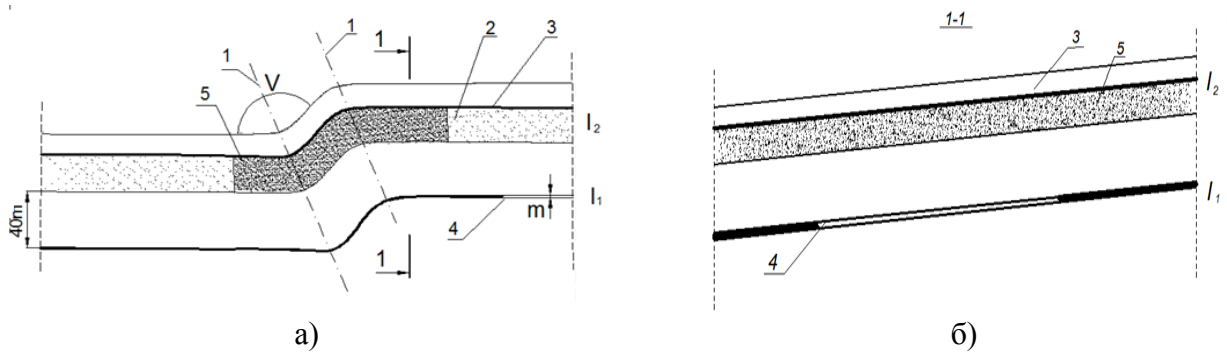
а – по простиранию пласта; б – в крест простирания пласта (по оси антиклинали); 1- ось складки; 2 – песчаник; 3 – аргиллит, алевролит, известняк; 4- выработанное пространство; 5 – зона повышенной газонасыщенности массива; l_1 и l_2 – угольные пласты; B_c – ширина складки; h_c – высота складки; m – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта

Рисунок 1 – Схематичный геологический разрез пород в месте возможного прорыва метана с кровли при антиклинальном залегании пласта



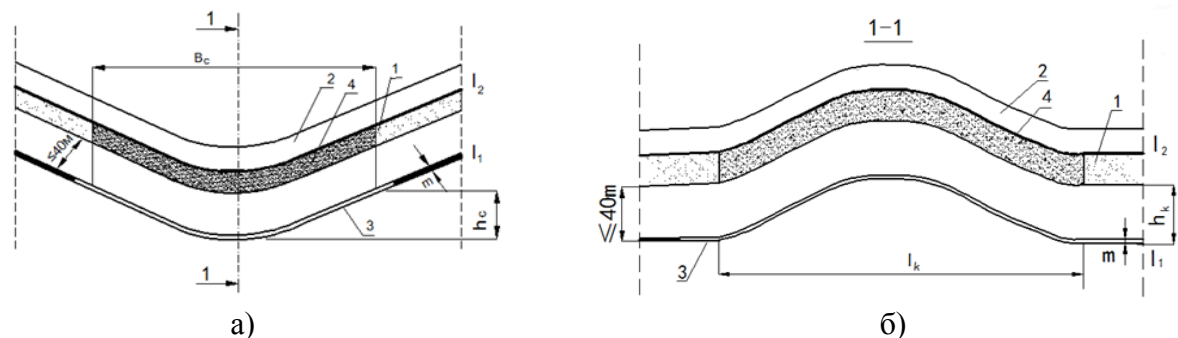
а – по простиранию пласта; б – в крест простирания пласта; 1- ось складки; 2 – песчаник; 3 – аргиллит, алевролит, известняк; 4- выработанное пространство; 5 – зона повышенной газонасыщенности массива; l_1 и l_2 – угольные пласты; B_k – ширина купола; h_k – высота купола; l_k – длина купола; m – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта

Рисунок 2 - Схематичный геологический разрез пород в месте возможного прорыва метана с кровли в случае куполообразного залегания пласта



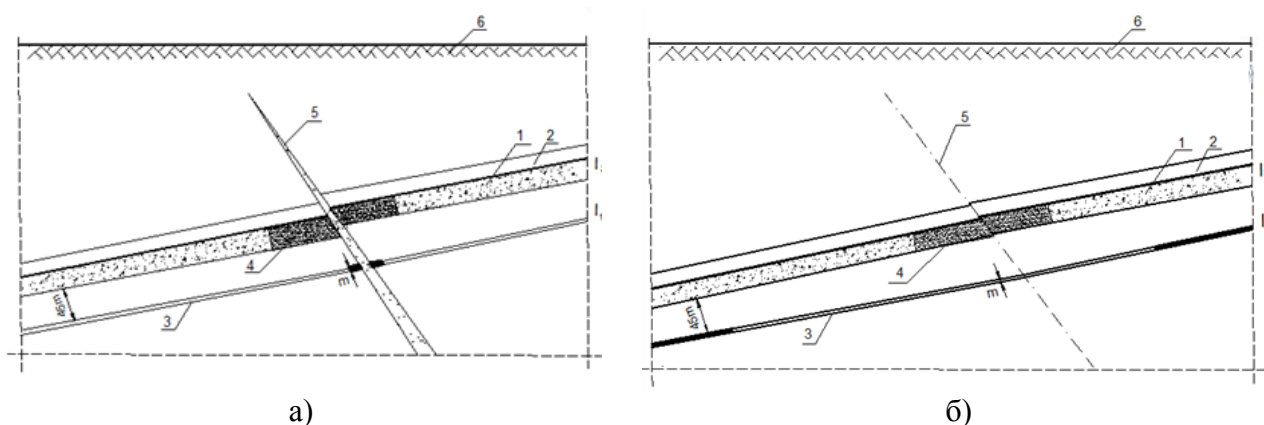
а – по простиранию пласта; б – в крест простирания пласта; 1- ось складки; 2 – песчаник; 3 – аргиллит, алевролит, известняк; 4- выработанное пространство; 5 – зона повышенной газонасыщенности массива; l_1 и l_2 – угольные пласты; m – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта; V – двухгранный угол флексуры

Рисунок 3 - Схематичный геологический разрез пород в месте возможного прорыва метана в зоне флексурного изгиба пластов



а – в крест простирания пласта; б - по простиранию пласта; 1- песчаник; 2 – аргиллит, алевролит, известняк; 3- выработанное пространство; 4 – зона повышенной газонасыщенности массива; l_1 и l_2 – угольные пласты; m – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта; h_c – глубина синклинали; B_c – ширина купола; l_k – длина выпуклой части синклинали; h_k – высота изгиба оси синклинали

Рисунок 4 - Схематичный геологический разрез пород в месте возможного прорыва метана с кровли при синклинальном залегании пластов и антиклинального подъема оси синклинали в донной ее части по причине ундуляции



1- песчаник; 2 – аргиллит, алевролит, известняк; 3- выработанное пространство; 4 – зона повышенной газонасыщенности массива; 5 – зона дробления пород, сместитель разрыва; 6 – поверхность Земли; l_1 и l_2 – угольные пласты; m – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта

Рисунок 5 – Схематичний геологічний розріз в крест простирання порід в місці можливого прорыва метана в кровле разрывного нарушения (а) и в зоне затухания геологического нарушения

Выводы. Таким образом, выполненные исследования позволили установить следующее.

1. Обрушение пород кровли, как правило, сопровождается интенсивным выделением метана из разгруженных угольных пластов и пород в выработанное пространство, как из кровли, так и из почвы разрабатываемого пласта. При прорывах газа из кровли метановыделение может существенно увеличиваться и достигать максимальных значений в течение незначительного промежутка времени. Затем происходит постепенное снижение дебита выделяющегося газа. Однако, следует иметь в виду, что в ряде горно-геологических условиях интенсивного метановыделения в выработки при первичных посадках кровли реализовано не будет.

2. Наиболее интенсивно газ выделяется при обрушениях пород в зоне влияния пликативных нарушений из трещинно-поровых газовых коллекторов, а в зоне влияния разрывных нарушений газовыделение при обрушении пород кровли имеет меньшую интенсивность.

3. Для исключения возможности внезапных импульсных загазирования горных выработок и обеспечения безопасности ведения горных работ по газовому фактору необходима предварительная дегазация свободных скоплений метана в установленных коллекторах.

4. Основными геологическими критериями прогноза внезапного газовыделения при обрушении пород кровли являются:

- наличие геологических нарушений, или зон малоамплитудной нарушенности, которые являются путями миграции углеводородных газов; создают ловушки свободных газов в зонах влияния нарушений или в самих зонах малоамплитудной нарушенности;

- приуроченность очистных работ к геологическим структурам (брахиантиклиналям, антиклиналям, куполам), где образование ловушек и микрозалежей свободного газа обусловлено структурным положением участка;

- совмещение газонасыщенной структурной ловушки с тектонической, которая обнажается при обрушении пород основной кровли, и из которой поступают большие объемы газа в горные выработки за небольшие промежутки времени;

- наличие в основной кровле газонасыщенных песчаников, пластов-коллекторов, покрытых газонепроницаемой покрывкой (угольный пласт, аргиллит, алевролит);

- наличие в кровле разрабатываемого угольного пласта покрывки - непроницаемых или слабопроницаемых пород глинистого (аргиллиты), углесто-глинистого, или песчано-глинистого (алевролиты) состава, которые препятствуют постепенной дегазации коллекторов при ведении горных работ. Газовыделение начинается только после обрушения пород основной кровли и обнажения коллектора;

- высокая газодинамическая напряженность и газонасыщенность горного массива.

5. В статье сформулированы основные условия отнесения участков разрабатываемого пласта к опасным по прорывам метана и предложены типовые схематичные геологические разрезы пород, характерные для возможных прорывов метана в забои проводимых выработок. Они могут являться основой для прогноза возможности импульсных метановыделений в зонах геологических нарушений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов, М.А. Суфлярные выделения метана в угольных шахтах / М.А. Фролов, А.И. Бобров - М.: Недра, 1971. – 160 с.
2. Петросян, А.Э. Закономерности, характеризующие процессы газовыделения в горных выработках и их инженерное приложение / А.Э. Петросян. - М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1967. – 23 с.
3. Внезапные разрушения почвы и прорывы метана в выработки угольных шахт / А.М. Морев, Л.А. Складов, И.М. Большинский [и др.]. - М.: Недра, 1992. -174 с.
4. Горные работы в сложных условиях на выбороопасных угольных пластах / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г. Радченко.- Донецк: Східний видавничий дім, 2010.- 604 с.
5. Внезапные выделения метана импульсного характера в зонах геологических нарушений / С.П. Минеев, А.С. Янжула, В.Н. Кочерга, А.А. Прусова // Геотехнічна механіка: Міжвід. Зб. наук. праць / Ін-т Геотехнічної механіки НАН України.- Дніпропетровськ, 2015, Вип. 217.-С. 208-218.
6. Минеев, С.П. Закономерности метановыделения при высоких скоростях подвигания очистного забоя // С.П.Минеев, В.Н. Кочерга, А.С.Янжула. - Уголь Украины, 2015, № 7,8. – С. 26-31.
7. Оценка возможности импульсного выделения сорбированного метана из угольного пласта / С.П. Минеев, А.А. Прусова, А.А. Потапенко, В.Н. Кочерга // Уголь Украины, 2014, № 10.- С. 31- 36.
8. Звягильский, Е.Л. Управление метановыделением на выемочных участках угольных шахт / Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий, О.И. Касимов. – Донецк: Ноулиндж, 2013.- 124 с.
9. Кошелев, К.В. Оценка зон влияния геологических нарушений / К.В. Кошелев, А.И. Ланда, К.Н. Лазченко // Уголь. – 1982. - №4. – С. 49-51.
10. Петросян, А.Э. Разработка пластов пологого падения с высокой газонасыщенностью в Донбассе / А.Э. Петросян. - М.: Углетехиздат, 1954. – 82 с.
11. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа, 1994. -311 с.

12. Влияние трещинной и мелкоамплитудной разрывной тектоники на метановыделение в подземные горные выработки угольных шахт Донбасса / А.М. Брижанев, Р.А. Галазов, О.А. Куш [и др.] // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1985, №2. – С. 51-56.

13. Структурно геологическая характеристика мелких тектонических нарушений в угленосных отложениях Донбасса / В.С. Вереда, Б.К. Юрченко, В.Н. Губин, В.Е. Черко // Сб. Методы изучения тектоники угольных месторождений в процессе разведки и эксплуатации. - М.: Недра, 1981. - С. 87-89.

14. Попов, В.С. Мелкоамплитудные разрывные нарушения в угольных пластах Донецко-Макеевского геолого-промышленного района Донбасса / В.С. попов // Геол. журнал, 1979, №6. - С. 19-30.

15. Правила перетинання гірничими виробками зон геологічних порушень на пластах, схильних до раптових викидів вугілля та газу: СОУ-П 10.1.000174088.017:2009. – Київ: Мінвуглепром України, 2009.- 37 с.

REFERENCES

1. Frolov, M.A. and Bobrov, A.I. (1971), *Suflyarnye vydeleniya metana v ugolnykh shakhtakh* [Feederly methane emissions in coal mines], Nedra, Moscow, Russia.

2. Petrosyan, A.E. (1967), *Zakonomernosti, kharakterizuyushchie protsessy gazovydeleniya v gornykh vyrabotkakh i ikh inzhenernoye prilozhenie* [The regularities that characterize the processes of gassing in mines and their engineering applications], IM by A.A. Skochinskogo, Moscow, Russia.

3. Morev, A.M., Sklyarov, L.A. and Bolshchinskiy, I.M. (1992), *Vnezapnye razrusheniya porod pochvy i proryvy metana v vyrabotki ugolnykh shakht* [Sudden destruction of rocks of soil and methane bursts in coal mine workings], Nedra, Moscow, Russia.

4. Mineev, S.P., Rubinskiy, A.A., Vitushko, O.V. and Radchenko, A.G. (2010), *Gornye raboty v slozhnykh usloviyakh na vybrosoopasnykh ugolnykh plastakh* [Mining operations in difficult conditions at the prone to outburst coal seams], Skhidnyi vydavnychiy dim, Donetsk, Ukraine.

5. Mineev, S.P., Yanzhula, A.S., Kocherga, V.N. and Prusova, A.A. (2015), “The methane sudden impulse emission in zones with geological faults”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 123, pp. 48-66.

6. Mineev, S.P., Kocherga, V.N. and Yanzhula, A.S. (2015), “Regularities of methane emission at high rates advance of stoping face”, *Coal of Ukraine*, vol. 7, pp. 26-31.

7. Mineev, S.P., Prusova, A.A., Potapenko, A.A. and Kocherga, V.N. (2014), “Assessing the possibility of pulsed emission of sorbed methane from the coal seam”, *Coal of Ukraine*, vol. 10, pp. 31-36.

8. Zvyagilsky, Ye.L., Bokiyy, B.V. and Kasimov, O.I. (2013), *Upravlenie metanovydeleniem na vyemochnykh uchastkakh ugolnykh shakht* [Management of methane working areas of coal mines], Noulindzh, Donetsk, Ukraine.

9. Koshelev, K.V., Landa, A.I. and Lazchenko, K.N. (1982), “Evaluation of the zones of influence of geological disturbances”, *Coal of Ukraine*, vol. 4, pp. 49-51.

10. Petrosyan, A.E. (1954), *Razrabotka plastov pologogo padeniya s vysokoy gazonosnostyu v Donbasse* [Exploitation dip of seams with high gas content in the Donbas], Ugletekhizdat, Moscow, Russia.

11. *Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyatsii ugolnykh shakht* [Manual about design work of ventilation of coal mines], (1994), Osnova, Kiev, Ukraine.

12. Brizhaney, A.M., Galazov, R.A., Kushch, O.A. and other (1985), “Influence of cracks and small amplitude fault tectonics on methane in the underground workings of coal mines of Donbass”, *Izvestiya vuzov, Geologiya i razvedka*, no. 2, pp. 51-56.

13. Vereda, V.S., Yurchenko, B.K., Gubin, V.N. and Cherko, V.E. (1981), “Structural geological characteristics of small tectonic disturbances in coal deposits of Donbass”, *Metody izucheniya tektoniky ugolnykh mestorozhdeniy v protsesse razvedki i ekstuatsii*, pp. 87-89.

14. Popov, V.S. (1979), “Small-amplitude faults in coal seams of Donetsk-Makeyevka geological and industrial region of Donbass”, *Geological journal*, no.6, pp. 19-30.

15. Ukraine Ministry of Coal Industry (2009), 10.1.000174088.017:2009, *Pravyla peretynannya girnychymy vyrobkamy zon geologichnykh porushen na plastakh, skhylnykh do raptovykh vykydiv vugillya ta gazu* [10.1.000174088.017:2009 The rules of crossing the mining works in zones near geological faults seams prone to sudden coal and gas], Ukraine Ministry of Coal Industry, Kiev, Ukraine

Об авторах

Минеев Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики

им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, sergmineev@gmail.com.

Кочерга Виктор Николаевич, главный технолог отдела управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, igtm@ukr.net.

Янжула Алексей Сергеевич, магистр, главный инженер ПАО «Шахтоуправление «Покровское», Красноармейск, Украина, sergmineev@gmail.com.

Гулай Алексей Александрович, заместитель главного инженера, ПАО «Шахтоуправление «Покровское», г. Красноармейск, Донецкая область, Украина, sergmineev@gmail.com.

About the authors

Mineev Sergey Pavlovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, sergmineev@gmail.com.

Kocherga Viktor Nikolaevich, Chief Technologist of Department of Pressure Dynamics Control in Rock, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtm@ukr.net.

Yanzhula Aleksey Sergeevich, Master of Science, Chief Engineer «Colliery Group», «Pokrovskoye» Krasnoarmeysk, Ukraine, sergmineev@gmail.com.

Gulay Aleksey Aleksandrovich, Deputy Chief Engineer, «Colliery Group «Pokrovskoye», Krasnoarmeysk, Donetsk region, Ukraine, sergmineev@gmail.com.

Анотація. Виконано дослідження процесу раптового виділення метану в гірничі виробки при первинних і подальших посадках (обваленнях) основної покрівлі при веденні гірничих робіт. Ці дослідження проведені з метою обґрунтування критеріїв прогнозу небезпеки раптового виділення метану під час обвалення порід основної покрівлі і з урахуванням вживаних заходів по відвертанню загазування гірничих виробок. Виконаний аналіз причин газовиділення при посадках основної покрівлі, які призвели до аварій на шахтах «Золоте» ДП «Первомайськвугілля», ім. С.М.Кірова і «Холодна Балка» ДП «Макіїввугілля», дозволив обґрунтувати метод прогнозу раптового загазування виробок при обваленнях покрівлі. Приведено вірогідні схематичні геологічні розрізи місць можливого прориву метану в забій виробок і розроблено попередні геологічні критерії прогнозування раптових загазувань гірничих виробок при обваленні порід основної покрівлі в зонах геологічних порушень.

Ключові слова: імпульсне виділення метану, посадка основної покрівлі, раптове загазування, прогноз, геологічне порушення

Abstract. Processes of sudden methane release into the mine tunnels were studied at the main roof primary and subsequent falls during the mining operations. These studies were conducted in order to substantiate criteria for predicting risk of methane outburst when main roof fell with taking into account applicable measures for preventing gas escapes into the mine tunnels.

Analysis of the causes, which led to the gas release at the main roof caving and accidents at the Zolotoye Mine of the Pervomayskugol Company and S.M. Kirov Mine and Kholodnaya Balka of the Makeevugol Company has made possible to determine a method for predicting the gas outbursts into the mine tunnels at the roof falls. The article presents schemes of probable geological cuts in areas with possible methane outbursts into the tunnel face and preliminary geological criteria for predicting sudden gassing of the mine tunnels at the main roof falls in zones with geological faults.

Keywords: methane pulse release, main roof caving, sudden gassing, prediction, geological fault.

Стаття поступила в редакцію 02.11.2015

Рекомендовано к публикации д-ром геологических наук Барановым В.А.