

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ И РАЗРУШЕНИЙ ПОДСТИЛАЮЩИХ ПОРОД ГАЗОНОСНОГО ПЛАСТА С ПОПУТНЫМ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ ПРИ ЕГО РАЗРАБОТКЕ

А.В. Бондарев¹, М.В. Шванкин¹, Т.А. Василенко¹, Е.А. Прекин², Д.И. Мороз², А.И. Спорный²

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: alex_bondarev78@mail.ru

² АО «Воркутауголь», Воркута, Россия

Аннотация: Оработка свиты газоносных пластов, включая пласты, опасные по газодинамическим явлениям, – это часть общей проблемы повышения безопасности и эффективности подземной угледобычи на шахтах России. Для шахт Воркутского угольного месторождения, учитывая текущие глубины отработки (близкие к 1000 м), это особенно актуально. Показано, что причиной выделения метана в очистные и подготовительные выработки пласта из надработанного массива в сложной горно-геологической и горнотехнической обстановке в очистных забоях является прорастание локальных трещин, при этом решение вопросов дегазации над- и подрабатываемых углепородных массивов должно основываться на оценке его геомеханического состояния. Под действием горного и газового давления локальные трещины формируют систему с последующим перерастанием в серию магистральных трещин, что приводит к возникновению полостей расслоения в подстилающих слоях вмещающих пород, сообщающихся с горной выработкой. В большинстве случаев исследования нацелены на установление критериев устойчивости, например, подготовительных горных выработок, а вопрос причин потери устойчивости и их детальный анализ не рассматривается. Изучение и определение особенностей разрушения и изменения характеристик надрабатываемого массива, обычно заполненного газообразными флюидами, в целом является одним из ключевых вопросов стабильности системы.

Ключевые слова: угольное месторождение, геодинамический мониторинг, массив горных пород, удароопасность, формы техногенных рисков, метан, разрушение пород почвы, пористость.

Для цитирования: Бондарев А. В., Шванкин М. В., Василенко Т. А., Прекин Е. А., Мороз Д. И., Спорный А. И. Особенности деформаций и разрушений подстилающих пород газоносного пласта с попутным газовыделением при его разработке // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 5. – С. 124–138. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_5_0_124.

Features of deformations and fractures of the underlying rocks of a gas-bearing reservoir with associated gas release during its development

A.V. Bondarev¹, M.V. Shvankin¹, T.A. Vasilenko¹, E.A. Prekin², D.I. Moroz², A.I. Sporny²

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: alex_bondarev78@mail.ru

² JSC «Vorkutaugol», Vorkuta, Komi Republic, Russia

Abstract: The development of a suite of gas-bearing formations, including formations that are dangerous due to gas-dynamic phenomena, is part of the overall problem of improving the safety and efficiency of underground coal mining in Russian mines. This is especially important for the mines of the Vorkuta coal deposit, given the current mining depths (close to 1000 meters). The reason for the release of methane into the treatment and preparatory workings of a reservoir from an overworked massif in a complex mining, geological and mining engineering environment in the treatment faces is the germination of local cracks, while the solution to the issues of degassing above- and underworked coalfields should be based on an assessment of its geomechanical condition. Under the influence of rock and gas pressure, local cracks form a system, followed by a series of main cracks, which leads to the formation of delamination cavities in the underlying layers of the host rocks communicating with the mining. In most cases, research is aimed at establishing sustainability criteria, for example, preparatory mine workings, and the issue of the cause of loss of stability and their detailed analysis is not considered. The study and determination of the features of destruction and changes in the characteristics of the overworked array, usually filled with gaseous fluids, is generally one of the key issues of system stability.

Key words: coal deposit, geodynamic monitoring, rock mass, impact hazard, forms of man-made risks, methane, destruction of soil rocks, porosity.

For citation: Bondarev A. V., Shvankin M. V., Vasilenko T. A., Prekin E. A., Moroz D. I., Sporny A. I. Features of deformations and fractures of the underlying rocks of a gas-bearing reservoir with associated gas release during its development. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(5):125-138. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_5_0_125.

Введение

В настоящее время существует и используется множество способов, средств и методов регистрации величин и идентификации характерных особенностей проявления горного давления, деформаций и сдвижений в массиве горных пород. В условиях действующего производства с высокими темпами и концентрацией работ [1 – 3] широко реализуются многофункциональные системы безопасности угольной шахты (далее – МФСБ). Обращает на себя внимание тот факт, что зачастую стандартные спосо-

бы управления горным давлением не в полной мере формируют безопасные условия отработки (речь не о нарушениях правил безопасности). Не являются исключением газовые проявления в действующих выработках при использовании исчерпывающего спектра способов борьбы с указанным видом опасности [4].

Решение вопроса метановыделения из надрабатываемого массива обеспечивается эффективной дегазацией. Существенными являются изучение изменения пористости и газопроницаемости

на микроуровнях под действием природных и техногенных напряжений, а также попытки объяснить проявление горного давления. Пористость и, как следствие, газопроницаемость зависят от физико-механических свойств, длительности воздействия горного давления. В результате разрушение (хрупкое, пластичное, усталостное и пр.) определяется составом и структурой вмещающих пород, а его скорость и форма проявления — состоянием массива горных пород [5].

Методы

Рассмотрим разрушения надрабатываемых массивов горных пород как источник изменения сплошности за счет зарождения трещины, ее развития и распространения в неоднородных массивах при очистной выемке угля на глубине 900 м. Также сформулируем предпосылки геомеханических изменений (маркеры), которые, по нашему мнению, необходимо и возможно своевременно выявить для практических действий по предупреждению негативных последствий такого разрушения.

В условиях ОПО «Шахта «Заполярная-2» Блок «Воркутинский» АО «Воркутауголь» в полной мере реализован широкий комплекс режимных наблюдений за динамическими проявлениями горного давления в виде горных ударов с помощью микросейсмического метода прогноза локального и регионального уровней (на базе сейсмостанции GITS [6]), нормативного метода прогноза по выходу буровой мелочи согласно ФНИП «Инструкции по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений», локального геофизического метода ЕЭМИ [7–9]. Аэрологические параметры в горных выработках шахты фиксируют в соответствии с нормами и стандартами газоаналитической системы, а управление

газовыделением (в пространстве и времени) осуществляется средствами вентиляции и дегазации [10].

Техногенная сейсмичность в тех или иных формах проявления характерна для условий действующих угледобывающих предприятий. В этом сценарии развитие газопроявления и деформационных процессов в техногенных массивах не может быть прервано [11], так как влияние внешней нагрузки «запускает» не процесс деформаций отдельных элементов трещинно-пористой среды (микроуровень), а перестройку и перераспределение напряжений твердого скелета (блоков). Деформационные процессы, в зависимости от их масштаба, активизируют трансформацию геофизических полей на разных энергетических уровнях [12–14]. В свою очередь, особенности поля сейсмичности формируются в условиях сложного геологического строения месторождения (переменная мощность угольного пласта, развитие разрывной тектоники и т.п.) при изменении физических свойств вмещающих пород и угольных пластов по технологическим причинам, таким как интенсивность ведения горных работ и т.п. [15].

Результаты

При анализе причин повышенного выделения газа-метана из подошвы выработки [16] было рассмотрено ранее зарегистрированное сейсмическое событие на глубине 930 м (в этом месте отметка глубины почвы пласта составляла минус 927–928 м) под целиком между конвейерным штреком лавы 114-с и вентиляционным штреком лавы 214-с (рис. 1). В этой области в разные периоды были отмечены несколько низкоэнергетических сейсмособытий (менее 500 Дж), приуроченных к кровле пласта.

Физическая связь сейсмического события с технологическим процессом в лаве понятна — в зоне опорного дав-

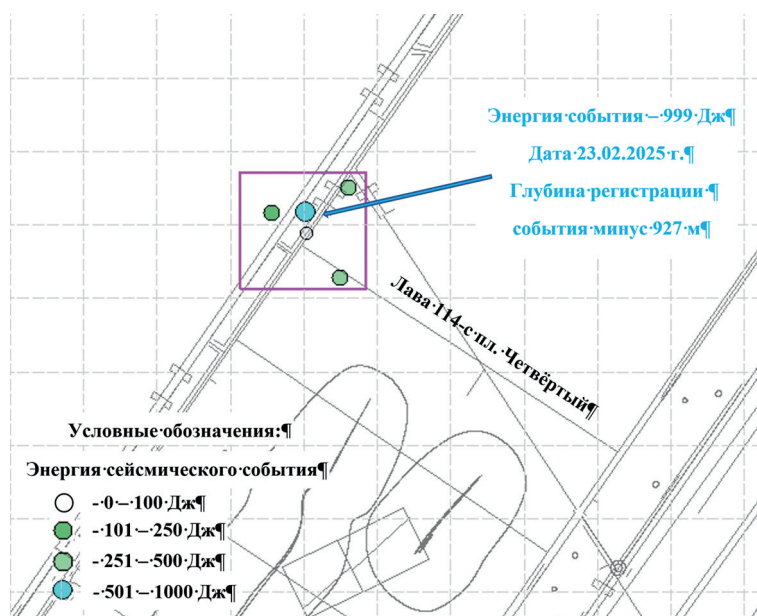


Рис. 1. Сейсмическое событие энергией 999 Дж (область, описываемая выше, отмечена стрелкой) [создан авторами]

Fig. 1. Seismic event with an energy of 999 J (the area described above is marked with an arrow) [created by the authors]

ления лавы при увеличении длины зависающей консоли кровли пласта в процесс формирования напряженно-деформированного состояния массива вовлекаются все большие массы горных пород вышележащей основной кровли с увеличением давления на почву пласта, включая в процесс податливый целик [17]. Следовательно, сейсмическое событие было следствием разрушения почвы отработываемого пласта с трещинообразованием и газовыделением, т.е. в 2–3 м в створе с местом повышенного газовыделения из почвы было зарегистрировано сейсмическое событие с энергией 999 Дж. В дальнейшем, по мере подвигания очистного забоя в зоне опорного давления происходило развитие образовавшейся трещины (группы трещин). Расчет радиуса влияния указанного сейсмического события с оценкой зоны опасного влияния события проведен по методологии ВНИМИ [18].

Для оценки характерного размера очага сейсмического события в виде трещины разрыва служит следующая эмпирическая формула:

$$L = 2,9 E_c^{0,24}, \quad (1)$$

где E_c — сейсмическая энергия события в Дж; L — длина разрыва.

Для зарегистрированного сейсмического события 23.02.2025 параметры зоны влияния (по формуле (1)) следующие: $L = 2,9 \times 999^{0,24} = 15,2$ м.

Образование трещины с последующим перерастанием в серию магистральных трещин, которые впоследствии при подвигании линии очистного забоя с пригрузкой целика в зоне опорного давления развивались с активацией процесса инфильтрации из них, привело к увеличенному метановыделению из почвы [19, 20].

Пропластки n_{10}' и n_{10} , залегающие на расстоянии 12 и 13,3 м в почве пласта «Четвертый», имеют природную метаносодержательность 35,15 и 35,17 м³/т с.б.м.

с относительным метановыделением 5,42 и 7,85 м³/т, соответственно. Метановыделение из нижележащих пластов и пропластков спутников при раскрытии трещин в почве пласта на глубину 15 м и более активировало процесс фильтрации из них. Существенную часть метана «принимают» на себя дегазационные мероприятия [21, 22], но не весь объем метана. Согласно данным эксплуатационной документации шахты, в газовом балансе выемочного участка дегазация составляет 87%.

Тот факт, что почва пласта «Четвертый» в процессе отработки, претерпевая пригрузки со стороны кровли, имеет характерные разнонаправленные трещины (разломы), подтвержден при посещении выработок выемочного участка. В створе с лавой в смежной выработке — вентиляционном штреке лавы 214-с и на некотором удалении в сторону выработанного пространства (до 30 м) обнаружены разломы (трещины) в почве (рис. 2).

При изучении взаимосвязи геомеханических процессов в надрабатываемом массиве и метановыделения можно предложить аналогию между взрывом (искусственная энергия) и сейсмическим событием (естественная энергия). Возрастание метановыделения при вы-

сокоэнергетическом событии в пределах, например, зоны опорного давления лавы или в пределах выемочного участка является естественной дегазацией пласта и угленородного массива междупластья [23].

Рассмотрев вопрос первопричин газовыделения при разгрузке/разрушении подстилающих пород газоносного пласта, отметим, что существенная роль должна быть отведена своевременному выявлению предпосылок формирования (прогнозам) опасной концентрации метана.

Первое направление в рассмотрении сейсмического события заключается в наличии эффективной дегазации под- и надрабатываемого массива горных пород, не исключившей образования повышенной концентрации метана у почвы выработки, и, что крайне важно, без признаков суффлярного выделения. Второе направление — изучение совокупности горно-геологических условий и физико-механических свойств угля и вмещающих пород, отобранных на исследуемом объекте, включая эксперименты по принудительному насыщению угля метаном для исследования кинетики флюидов при различных температурах.

В условиях действующих шахт, обрабатывающих удароопасные угольные



Рис. 2. Пример трещин в почве в вентиляционном штреке 214-с (20.05.2025) [создан авторами]
Fig. 2. Example of cracks in the soil in the ventilation shaft 214-с (05/20/2025) [created by the authors]

пласты [24], типовыми расчетами проводится оценка склонности почвы к динамическому разрушению. И даже при ее отсутствии под действием нагрузок опорного давления породы почвы зачастую претерпевают механические изменения на границе зон повышенных напряжений и разгрузки. Вследствие движения очистного забоя границы зон также находятся в постоянном перераспределении напряжений. Соседство зон повышенных давлений и разгрузки подстилающей толщи приводит к раскрытию имеющихся и образованию новых трещин. При наличии газоносных пластов-спутников и пропластков это обязательно приведет к инфильтрации метана в действующие горные выработки. Параметры перераспределения напряжений в техногенном массиве, в том числе с выделением зон разгрузки, что крайне важно для дегазации надрабатываемых массивов, можно получить с помощью математической геомеханической модели [25].

Для геомеханического моделирования необходимо изучение специфических особенностей, которые зачастую не представлены в геологическом материале, полученном при разведке. Это позволяет через поле напряжений, с его множеством сопутствующих факторов, реализовать конечную цель геомеханического моделирования — прогноз напряжений в техногенном массиве [26]. Прямые замеры напряжений в угольном пласте ввиду отсутствия средств во взрывозащищенном исполнении крайне затруднительны, хотя этот способ весьма актуален, так как современные программные средства моделирования используют абсолютные величины главных напряжений. В натуральных условиях верификация абсолютных величин показателей напряжений является одним из условий оценки эффективности прогноза и выделения напряженных участ-

ков с помощью геомеханического моделирования.

Для горно-геологических условий Воркутского угольного месторождения (Респ. Коми) широкомасштабными исследованиями 70—80-х годов прошлого века были получены в натуральных условиях такие показатели, как кубиковая прочность, или прочность куба достаточных размеров, вырезанного из пласта и испытанного в натуральных условиях ($\sigma_{\text{куб}}$), предельное сопротивление угля сдвигу (k_*), напряжения на краевой части пласта ($\sigma_{\text{к1}}$) со значениями 70, 91, -70 кг/см^2 , соответственно. Эти показатели являются ключевыми при оценке напряжений в пласте (Методические указания «Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях угольного пласта / колл. авторов под руководством проф. И.М. Петухова. — СПб.: ВНИМИ, 1973. — 130 с.). Для пластов, прочность которых значительно меньше прочности вмещающих пород, k_* имеет смысл среднего касательного напряжения на контактах в предельно напряженной зоне. Исследованиями ВНИМИ (Борисов А. А., Матанцев В. И., Овчаренко Б. П., Воскобоев Ф. Н. Управление горным давлением. — М.: Недра, 1983. — 169 с.) выявлено, что разрушение стенок скважин диаметром 43 мм появляется при напряжениях, равных или превышающих прочность $\sigma_{\text{ск}}$ угля на одноосное сжатие в 1,5—1,8 раза. Эта величина $\sigma_{\text{ск}}$ является нижней границей условий применимости приведенного метода оценки напряжений в краевых частях угольного пласта по данным выхода штыба при бурении скважин. Верхний предел применимости метода по величине действующих в пласте напряжений не ограничен.

Общий подход к расчету и оценке напряжений в краевой части пласта следующий. Оценка напряжений с помощью

показателя выхода буровой мелочи из скважины решается в два этапа. Сначала определяется радиус границы области неупругих деформаций, затем оценивается величина напряжений в данной точке. При выполнении расчета для каждого метра скважины получается распределение напряжений в пласте. Методика расчета подробно приведена в Методических указаниях «Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях угольного пласта. ВНИМИ, 1973 г.

Проведем оценку напряжений на примере выемочного участка лавы 114-с пласта «Четвертый» шахты «Воркутинская» АО «Воркутауголь». В рамках реализации безопасной отработки удароопасного угольного пласта осуществляется прогноз с регистрацией количественных показателей (объем или вес) выхода буровой мелочи с каждого метра бурения скважины. В качестве исходных взяты данные фактических замеров прогноза удароопасности за I квартал 2025 г. в лаве 114-с пласта «Четвертый» шахты «Воркутинская» АО «Воркутауголь». Работы по локальному и текущему прогнозу проводились в лаве в следующих режимах: текущий прогноз 2 раза в сутки (подвигание не более 2 м) в опасных зонах непрогнозируе-

мых геологических нарушений, а также локальный прогноз удароопасности — раз в неделю (подвигание не более 25 м) в лаве и прилегающих штреках. Прогнозные мероприятия выполнялись в полном объеме, категория ОПАСНО выявлена не была. В качестве примера приведем результаты расчета напряжений на 6-м метре в зонах влияния геологических нарушений (секции № 66 — № 72 — область 1, № 120 — № 125 — область 2, рис. 3). Средние значения рассчитанных напряжений составляют для области 1 — 16,8 МПа, области 2 — 17,1 МПа, максимальные — 19,9 и 19,4 МПа, соответственно. Для условий отработки угольных пластов величина вертикальных напряжений (среднее давление на глубине) составляет $\sigma = \gamma H = 0,025 \times 927 = 23,2$ МПа.

По описанной выше методике ВНИМИ получены результаты величины напряжений в диапазоне бурения 1—6 м. Максимумы напряжений на 6-м метре бурения приближаются к значению γH на текущей глубине отработки.

В техногенных массивах значение опорного давления, при всем многообразии проявлений горного давления, играет важную роль [27, 28]. При исследовании зоны опорного давления внимание должно быть обращено на определение



Рис. 3. Напряжения на 6-м метре в зонах геологических нарушений (в МПа) [создан авторами]

Fig. 3. Stresses at the 6th meter in zones of geological disturbances (in MPa) [created by the authors]

его максимума в пласте впереди лавы на достигнутых глубинах отработки в текущих горно-геологических и горно-технических условиях. При расчетной величине вторичной посадки основной кровли в 30 м максимум зоны опорного давления находится в 5 м от краевой части. При величине первичной посадки основной кровли 80 м максимум находится в 10,2 м от краевой части.

Интерполяция результатов прогноза удароопасности, полученных в промежулке глубин бурения 1–6 м, на глубины в интервале 7–10 м, позволила получить величину нормальных напряжений $\gamma H = 23,2$ МПа. Эта величина будет достигнута на 10-м метре, что косвенно подтверждает предположение, что фактический шаг посадки основной кровли (80 м) отличается от расчетного (30 м). Эти величины требуют натурной верификации по признакам проявления горного давления при посадке кровли.

Необходимость контроля расчетного и фактического шага посадки пород основной кровли [29] позволяет скорректировать по фактическому материалу параметры дегазации (шаг бурения дегазационных скважин в почву пласта). Возможное изменение шага бурения продиктовано тем, что эффективность дегазации зависит от правильности определения зоны разгрузки в надрабатываемом массиве, которая, в свою очередь, зависит от параметров посадки основной труднообрушаемой кровли, предварительно разупрочненной [30, 31].

Современный этап развития программных средств обеспечения горного производства осуществляется внедрением математического моделирования геомеханических процессов с помощью различных аналитических подходов и программных средств [32–34]. Полноту геомеханической модели можно проверить путем сравнения с исходными данными. Результаты прогнозирования

состояния проектируемых массивов, реализуемые с помощью численного математического моделирования (данные напряжений), возможно верифицировать с помощью рассматриваемого в настоящей публикации метода, путем перерасчета результатов прогноза удароопасности по выходу буровой мелочи (л/м) в напряжения (МПа). В случае положительной корреляции с натурными исследованиями такой подход имеет перспективу внедрения.

Тектонические разломы, окаймляющие лавы пласта n_{11} «Четвертый» с отработываемой лавой и планируемые к отработке лавы Северо-Западного блока, являются трассой для глубинной дегазации недр, по которой доставляются потоки флюидов по зонам проницаемости в разрабатываемые горизонты месторождения [35]. Это, в свою очередь, подразумевает расширение роли фланговой дегазации под- и надрабатываемых массивов горных пород.

С решением задач перераспределения напряжений в газоносном угольном пласте, вмещающих породах тесно связаны изменения проницаемости углепородного массива. Рассмотрим более подробно ближайшие к угольному пласту n_{11} пропластки в надрабатываемом массиве n_{10}' и n_{10} и нижележащий пласт n_7 . В геологическом описании (по данным Геологического отчета ООО «СПб-Гипрошахт», 2018 г.) показано, что свойства углей пластов n_{11} и n_7 , с поправкой на разницу в глубине залегания, близки (физико-механические свойства, газоносность, выход летучих, марка угля и проч.). Не имея возможности провести подобные исследования для образцов из пропластков, будем считать метаносность, коэффициенты массопереноса и другие параметры углей пропластков n_{10}' и n_{10} такими же, как и для пласта n_{11} , поэтому исследовались образцы угольного пласта n_{11} .

Рассмотрим процесс фильтрации метана из пропластков n_{10}' и n_{10} в выработанное пространство надрабатываемого угольного пласта n_{11} . Среднее расстояние до пласта составляет $h \sim 20$ м. Метаноносность пропластков — $30\text{--}35$ м³/т. Вмещающие породы представлены песчаником, сланцем песчаным (алевролитом), сланцем глинистым (аргиллитом). На глубине ведения горных работ 920 м газовое давление может достигать 10^6 Па, проницаемость горных пород в ненарушенном состоянии составляет $K_{cp} = 0,1 \cdot 10^{-16}$ м², а в нарушенном состоянии может достигать $K_{ncp} = 10\text{--}14$ м². Оценим время фильтрации (промежуток с момента начала газовыделения до достижения стационарного значения давления выделяющегося метана [36]) в обоих случаях:

$$t = \frac{P \cdot \mu}{K_{cp}} \cdot \frac{h^2}{P_n^2}, \quad (2)$$

где μ — динамическая вязкость метана (при 20 °С — $1,10 \cdot 10^{-5}$ Па·с); P_n — давление газа в пропластке, Па.

Оценки показывают, что даже при фильтрации газа через ненарушенный техногенными трещинами массив за счет высокой метаноносности и близкого расположения пропластков без проведения дегазации, независимо от места проявления, концентрация метана в 1% достигается достаточно быстро — за 1,5 ч, а при возникновении или прорастании дополнительных трещин, когда проницаемость возрастает до $10\text{--}14$ м², это время сокращается до минут.

Обсуждение результатов

Геологическая толща, пораженная системами активной тектонической нарушенности под техногенной нагрузкой, приобретает качественно новые свойства, связанные с активизацией во вмещающей геологической среде энерго-массообменных процессов.

Первое направление используемого подхода к предупреждению и профилактике проявлений в виде инфильтрации метана из почвы выработки — изучение комбинаций природных и техногенных факторов, приведших к метанопроявлению. Прежде всего, рассматривается сейсмическая активность, регистрируемая штатными средствами наблюдений за состоянием массива горных пород (в рамках МФСБ). С помощью микросейсмического метода через энергию и местоположение регистрируемых событий фиксируется зарождение и развитие трещин. Они, в свою очередь, являются источником инфильтрации метана. Это позволяет интерпретировать возможные повышения концентрации метана в горных выработках и разработать своевременные мероприятия, в том числе направленные на оптимизацию параметров дегазации, что достижимо через фактический материал о горном давлении в исследуемой области.

Надежным помощником оценки состояния и прогноза развития напряженно-деформированного состояния техногенного массива является создание геомеханической модели отработываемого месторождения. При разработке геомеханической модели угольного месторождения (любого) результатом является выделение участков в исследуемой области с повышенными напряжениями (прогноз). Результаты прогноза на выделенных напряженных участках возможно верифицировать по натурным данным. Для этого нужно провести контрольные бурения в выделенной прогнозной области по приведенной методике, провести перерасчет результатов выхода штыба при бурении скважин в величины напряжений (методика расчета подробно приведена в Методических указаниях «Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях угольного пласта». — ВНИМИ,

1973). Проведенный расчет далее необходимо сверить с данными прогноза при моделировании и интерпретировать полученные данные геофизических методов [37], используемых на шахте.

Заключение

Изучение процессов в надрабатываемых массивах через оценку геофизических и геомеханических характеристик, доступных с помощью штатно используемых методов и средств, качественно улучшает знания о механических процессах в исследуемых областях. Установленные закономерности взаимного влияния техногенного воздействия на подстилающие породы газоносного пласта и факторов разгрузки, разуплотнения, изменения газопроницаемости и дегазации открывает возможности дополнительного изучения проблемы, когда новые факторы весьма неожиданно дополняют достаточно изученный вопрос, с известной степенью погрешности ввиду индивидуальных особенностей свойств среды.

Осуществлять дегазацию следует на основе детального районирования и выделения зон с различными механизмами выхода метана с учетом тектонических нарушений и наличия высокогазоносных нижележащих пластов и пропластков.

Комплексные исследования горного давления в виде прямых измерений геофизических полей и геомеханических параметров, оценка физико-механических свойств угля и вмещающих пород, использование математических расчетов в наиболее ответственных ситуациях будут дополнены объемным математическим моделированием напряженно-деформированного состояния горных пород в массиве на основании установленных сведений о вариации их физико-механических свойств, закономерностей кластеризации по временному, пространственному и энергетическому признаку при анализе сейсмической базы данных в горнотехнических системах и прочими подходами после достаточного накопления исследовательского материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенцов В. В., Осминин Д. В., Нифанов Е. В. Устойчивость выемочных горных выработок при отработке пластов с труднообрушающимися кровлями // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. — 2021. — № 3. — С. 14–25. DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.47.12.002.
2. Зубов В. П., Фук Л. К. Разработка ресурсосберегающей технологии выемки пологих угольных пластов с труднообрушающимися породами кровли (на примере шахт Куангниньского угольного бассейна) // Записки Горного института. — 2022. — Т. 257. — С. 795–806. DOI: 10.31897/PMI.2022.72.
3. Kazanin O. I., Sidorenko A. A., Ivanov V. V., Mischo H. N. High productive longwall mining of multiple gassy seams: best practice and recommendations // Acta Montanistica Slovaca. 2022, vol. 27, no. 15, pp. 152–162. DOI: 10.46544/AMS.v27i1.11.
4. Козырев А. А., Савченко С. Н., Панин В. И., Семенова И. Э., Рыбин В. В., Федотова Ю. В., Козырев С. А., Каспарьян Э. В., Журавлева О. Г., Жукова С. В., Земцовский А. В., Каган М. М., Панасенко И. Г., Жиров Д. В., Сим Л. А., Аветисян И. М., Константинов К. Н., Калюжный А. С., Чернобров Д. С., Усачев Е. А. Геомеханические процессы в геологической среде горнотехнических систем и управление геодинамическими рисками. — Апатиты: КНЦ РАН, 2019. — 431 с. DOI: 10.37614/978.5.91137.391.7.
5. Опарин В. Н., Качурин А. Н., Киряева Т. А., Беляев В. В. Перспективы освоения угольных месторождений с позиций энергоэффективного и геоэкологически безопасного недропользования // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2024. — № 3. — С. 499–508.

6. Мулев С. Н., Рукавишников Г. Д., Мороз Д. И., Пашкова В. И., Мороз Н. Е. Мониторинг напряженного состояния сейсмическими и расчетными методами на шахтах АО «Воркутауголь» // Уголь. – 2022. – № 12(1161). – С. 88–93. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-12-88-93.

7. Разумов Е. Е., Рукавишников Г. Д., Климов В. К. Геофизический прогноз удароопасности при ведении горных работ / Россия молодая: Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 10908.1–10908.6.

8. Соболев А. А., Хэ Сюэцю, Мэн Шанцзю, Сонг Дачжао, Чжэньлэй Ли, Цинь Ифэн Использование геофизических методов мониторинга для локального контроля напряженно-деформированного состояния массива // Уголь. – 2024. – № 9(1184). – С. 47–52. – DOI: 10.18796/0041-5790-2024-9-47-52.

9. Лебедев М. О., Романевич К. В., Шляев С. А. Метод регистрации естественного электромагнитного излучения горных пород в составе системы комплексного геотехнического мониторинга тоннелей // Метро и тоннели. – 2023. – № 1. – С. 35–40.

10. Босиков И. И., Ключев Р. В., Майер А. В., Стась Г. В. Разработка метода анализа и оценки оптимального состояния аэрогазодинамических процессов на угольных шахтах // Устойчивое развитие горных территорий. – 2022. – Т. 14. – № 1(51). – С. 97–106. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-97-106.

11. Курленя М. В., Ли К. Х., Казанцев В. Г., Ун Л. Х., Зыков В. С. Моделирование влияния гравитации на процесс дегазации метаноносных угольных пластов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2023. – № 4. – С. 3–10. DOI: 10.15372/FTPRPI20230401.

12. Канин В. А., Пивень Ю. А., Рожко М. Д. Оценка удароопасности каменноугольных и антрацитовых пластов на шахтах Донецкого угольного бассейна // Труды РАНИМИ. – 2024. – № 2(40). – С. 43–60. DOI: 10.24412/2519-2418-2024-240-43-60.

13. Шевченко М. Д. Современные геофизические методы в изучении геомеханического состояния горного массива // Проблемы недропользования. – 2025. – № 2(45). – С. 87–94. DOI: 10.25635/2313-1586.2025.02.087.

14. Носкова Н. Н., Верховланцев Ф. Г., Асминг В. Э., Ваганова Н. В., Попов И. В. Сейсмические события в Воркутском углепромышленном районе в 2023 году // Вестник геонаук. – 2024. – № 1(349). – С. 34–42. DOI: 10.19110/geov.2024.1.4.

15. Бондарев А. В., Шабаров А. Н., Шванкин М. В., Василенко Т. А. Факторы, повышающие опасность проявления газодинамических явлений в угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 11-1. – С. 77–95. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_111_0_77.

16. Тында Г. Б., Береговой Р. В. Исследование влияния расстояния между источником метана и подошвой выработки на вероятность возникновения прорывов метана из почвы // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. – 2025. – № 3(70). – С. 149–153.

17. Шапошник В. А. Энергии активации ионообменных процессов // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2022. – Т. 22. – № 5. – С. 622–629. DOI: 10.17308/sorpchrom.2022.22/10683.

18. Ломакин В. С., Мулев С. Н., Скакун А. П., Цирель С. В., Беляева Л. И., Лопатков Д. Г., Каплуненко А. К. Методика прогноза удароопасного состояния массива. – СПб.: ОАО ВНИМИ, 2007.

19. Петренко Ю. А., Соловьев Г. И., Касьяненко А. Л. Аналитические исследования влияния на устойчивость почвы выработки параметров прочного слоя пород, залегающего в ее толще // Проблемы горного давления. – 2023. – № 1-2(44-45). – С. 4–10.

20. Фуникова В. В., Дудлер И. В. Проблема нарастающей опасности техногенных изменений геологической среды и пути ее решения // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2022. – № 1. – С. 3-12. DOI: 10.31857/S0869780922010052.

21. Докучаева А. И., Федоров Е. В., Пашичев Б. Н. Анализ метановыделения и эффективности дегазации угольных пластов на примере пласта Болдыревский / Метан угольных пластов: Тезисы докладов XI научно-практической конференции ООО «Газпром добыча Кузнецк». – Кемерово: ООО «Газпром добыча Кузнецк», 2024. – 28 с.

22. Sidorenko A. A., Dmitriev P. N., Sirenko Y. G. Predicting methane emissions from multiple gas-bearing coal seams to longwall goafs at russian mines // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2021, vol. 16, no. 8, pp. 851–857.

23. Черданцев Н. В., Голоскоков С. И., Лебедев К. С. Оценка влияния некоторых параметров обрабатываемого угольного пласта на раскрытие метаном трещин в его краевой зоне // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. — 2022. — № 3. — С. 5—16. DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.97.85.001.

24. Багаутдинов И. И., Локтюкова О. Ю., Шабаров А. Н. Горные удары и их связь с геологоструктурными особенностями массива // Горный журнал. — 2025. — № 3. — С. 53—60. — DOI: 10.17580/gzh.2025.03.08.

25. Зуев Б. Ю. Методология моделирования нелинейных геомеханических процессов в блочных и слоистых горных массивах на моделях из эквивалентных материалов // Записки Горного института. — 2021. — Т. 250. — С. 542—552. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.7.

26. Кузнецов Н. Н., Рыбин В. В. Влияние условий нагружения горных пород на их склонность к динамическому разрушению // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2025. — № 6. — С. 95—103. DOI: 10.15372/FTPRPI20250610.

27. Багаутдинов И. И., Зуев Б. Ю., Стрешнев А. А. Оценка эффективности бурения разгрузочных скважин для приведения выработок в неудороопасное состояние методами численного и физического моделирования // Горный журнал. — 2023. — № 5. — С. 33—39. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.05.

28. Марысюк В. П., Трофимов А. В., Андреев А. А., Колганов А. В. Применение данных микросейсмического мониторинга для прогноза величины зоны влияния очистных работ на руднике «Октябрьский» // Горный журнал. — 2024. — № 3. — С. 41—47. DOI: 10.17580/gzh.2024.03.05.

29. Жерлыгина Е. С., Куранова М. Е., Гусев В. Н., Одинцов Е. Е. Выявление опасных участков на основе исследования развития техногенных трещин в толще слагающих массив пород // Горная промышленность. — 2025. — № 1. — С. 162—169. DOI: 10.30686/1609-9192-2025-1-162-169.

30. Дудин А. А., Лысенко М. В., Аушев Е. В. Опыт внедрения направленного гидроразрыва для управления труднообрушаемой кровлей на каменноугольных месторождениях АО «Воркутауголь» // Уголь. — 2023. — № 8(1170). — С. 87—95. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-87-95.

31. Клишин В. И., Тайлаков О. В., Опрук Г. Ю. Методы гидроразрыва труднообрушающейся кровли и угольного пласта для исключения динамических явлений в угольных шахтах // Горная промышленность. — 2022. — № 6. — С. 46—53. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-46-53.

32. Протосеня А. Г., Карасев М. А., Беляков Н. А., Тулин П. К. Прогноз предельного состояния и дилатансии пород вокруг горных выработок // Записки Горного института. — 2025. — Т. 276-2. — С. 107—122. EDN YMRWQB.

33. Трушко В. Л., Баева Е. К. Обоснование модели напряженно-деформированного состояния массива мерзлых горных пород // Маркшейдерия и недропользование. — 2024. — № 1(129). — С. 73—79. — DOI: 10.56195/20793332_2024_1_73_79. EDN BNQKLD.

34. Zhuravkov M. A., Petrovskiy A. B., Prushak V. Ya., Nikolaitchik M. A., Puzanov D. A., Klimkovich N. M. Modeling of the geomechanical state of the rock massifs being undermined repeatedly // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physico-Technical Series. 2023, vol. 68, no. 1, pp. 32—39. DOI: 10.29235/1561-8358-2023-68-1-32-39.

35. Зубов В. П., Голубев Д. Д. Перспективы использования современных технологических решений при отработке пологих пластов угля с учетом опасности формирования очагов его самовозгорания // Записки Горного института. — 2021. — Т. 250. — С. 534—541. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.6. EDN LWLETС.

36. Стариков Г. П., Юрченко В. М., Мельник Т. Н., Подрухин А. А. Кинетика фильтрации и выделения метана на поверхность при прекращении ведения работ в угольных шахтах // Физика и техника высоких давлений. — 2019. — Т. 29. — № 1. — С. 95—103.

37. Rasskazov M., Tereshkin A., Tsoi D., Konstantinov A., Miroshnikov V., Bagautdinov I., Kozhogulov K. Research of the formation of zones of stress concentration and dynamic manifestations based on seismoacoustic monitoring data in the fields of the Kola Peninsula // E3S Web Conference. 2020, vol. 192, article 01009. DOI: 10.1051/e3sconf/202019201009. **PLAAS**

REFERENCES

1. Sementsov V. V., Osminin D. V., Nifanov E. V. Stability of drift tunnels in mining seams with poorly caving roofs. *Bulletin of Scientific Centre VostNII for Industrial and Environmental Safety*. 2021, no. 3, pp. 14—25. [In Russ]. DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.47.12.002.

2. Zubov V. P., Fuk L. K. Development of a resource-saving technology for extracting flat coal seams with difficult-to-collapse roof rocks (using the Quang Ninh coal basin mines as an example). *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 257, pp. 795 – 806. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.72.

3. Kazanin O. I., Sidorenko A. A., Ivanov V. V., Mischo H. N. High productive longwall mining of multiple gassy seams: best practice and recommendations. *Acta Montanistica Slovaca*. 2022, vol. 27, no. 15, pp. 152 – 162. DOI: 10.46544/AMS.v27i1.11.

4. Kozyrev A. A., Savchenko S. N., Panin V. I., Semenova I. E., Rybin V. V., Fedotova Yu. V., Kozyrev S. A., Kaspar'yan E. V., Zhuravleva O. G., Zhukova S. V., Zemtsovskiy A. V., Kagan M. M., Panasenko I. G., Zhirov D. V., Sim L. A., Avetisyan I. M., Konstantinov K. N., Kalyuzhniy A. S., Chernobrov D. S., Usachev E. A. *Geomekhanicheskie protsessy v geologicheskoy srede gornotekhnicheskikh sistem i upravlenie geodinamicheskimi riskami* [Geomechanical processes in the geological environment of mining systems and geodynamic risk management], Apatity, 2019, 431 p. DOI: 10.37614/978.5.91137.391.7.

5. Oparin V. N., Kachurin A. N., Kiryaeva T. A., Belyaev V. V. Prospects for the development of coal deposits from the standpoint of energy-efficient and geoeologically safe subsoil use. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2024, no. 3, pp. 499 – 508. [In Russ].

6. Mulev S. N., Rukavishnikov G. D., Moroz D. I., Pashkova V. I., Moroz N. E. Monitoring the stress state by seismic and calculation methods at the mines of JSC Vorkutaugol. *Ugol'*. 2022, no. 12(1161), pp. 88 – 93. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-12-88-93.

7. Razumov E. E., Rukavishnikov G. D., Klimko V. K. Geophysical forecast of rock burst hazard during mining operations. *Rossiya molodaya: Sbornik materialov XIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Young Russia: Collection of materials from the XIII All-Russian scientific and practical conference with international participation], Kemerovo, 2021, pp. 10908.1 – 10908.6. [In Russ].

8. Sobolev A. A., He Xueqiu, Meng Shangjiu, Song Dazhao, Zhenlei Li, Qin Yifeng. Using geophysical monitoring methods for local control of the stress-strain state of the massif. *Ugol'*. 2024, no. 9(1184), pp. 47 – 52. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-9-47-52.

9. Lebedev M. O., Romanevich K. V., Shlyaev S. A. Method for recording natural electromagnetic radiation of rocks as part of a comprehensive geotechnical monitoring system for tunnels. *Metro and tunnels*. 2023, no. 1, pp. 35 – 40. [In Russ].

10. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Mayer A. V., Stas G. V. Development of a method for analyzing and assessing the optimal state of aerogasdynamic processes in coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022, vol. 14, no. 1(51), pp. 97 – 106. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-97-106.

11. Kurlenya M. V., Li K. H., Kazantsev V. G., Un L. H., Zykov V. S. Modeling the influence of gravity on the degassing process of methane-bearing coal seams. *Journal of Mining Sciences*. 2023, no. 4, pp. 3 – 10. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRI20230401.

12. Kanin V. A., Piven Yu. A., Rozhko M. D. Assessment of rock burst hazard of coal and anthracite seams in the mines of the Donetsk coal basin. *Transactions of RANIMI*. 2024, no. 2(40), pp. 43 – 60. [In Russ]. DOI: 10.24412/2519-2418-2024-240-43-60.

13. Shevchenko M. D. Modern geophysical methods in the study of the geomechanical state of the rock mass. *Problems of Subsoil Use*. 2025, no. 2(45), pp. 87 – 94. [In Russ]. DOI: 10.25635/2313-1586.2025.02.087.

14. Noskova N. N., Verkholtantsev F. G., Asming V. E., Vaganova N. V., Popov I. V. Seismic events in the Vorkutsk coal-industrial area in 2023. *Vestnik of Geosciences*. 2024, no. 1(349), pp. 34 – 42. [In Russ]. DOI: 10.19110/geov.2024.1.4.

15. Bondarev A. V., Shabarov A. N., Shvankin M. V., Vasilenko T. A. Factors increasing the danger of gas-dynamic phenomena in coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025, no. 11-1, pp. 77 – 95. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_111_0_77.

16. Tynda G. B., Beregovoy R. V. Study of the influence of the distance between the methane source and the working bottom on the probability of methane breakthroughs from the soil. *Methods and means of creating safe and healthy working conditions in coal mines*. 2025, no. 3(70), pp. 149 – 153. [In Russ].

17. Shaposhnik V. A. Activation energies of ion-exchange processes. *Sorbtsionnye i Khromatograficheskie Protssesy*. 2022, vol. 22, no. 5, pp. 622 – 629. [In Russ]. DOI: 10.17308/sorp-chrom.2022.22/10683.

18. Lomakin V. S., Mulev S. N., Skakun A. P., Tsirel' S. V., Belyaeva L. I., Lopatkov D. G., Kaplunenko A. K. *Metodika prognoza udaropasnogo sostoyaniya massiva* [Methodology for predicting the rock burst hazardous state of the massif], Saint-Petersburg, 2007.

19. Petrenko Yu. A., Soloviev G. I., Kasyanenko A. L. Analytical studies of the influence of the development of parameters of a strong rock layer lying in its thickness on soil stability. *Problems of Rock Pressure*. 2023, no. 1-2(44-45), pp. 4–10. [In Russ].
20. Funikova V. V., Dudler I. V. The problem of the growing danger of technogenic changes in the geological environment and ways to solve it. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2022, no. 1, pp. 3-12. [In Russ]. DOI: 10.31857/S0869780922010052.
21. Dokuchaeva A. I., Fedorov E. V., Pashichev B. N. Analysis of methane emission and efficiency of coal seam degassing using the Boldyrevsky seam as an example. *Metan ugol'nykh plastov: Tezisy dokladov XI nauchno-prakticheskoy konferentsii OOO «Gazprom dobycha Kuznetsk»* [Coal seam methane: Abstracts of reports from the XI scientific and practical conference of Gazprom Dobycha Kuznetsk LLC], Kemerovo, 2024, 28 p. [In Russ].
22. Sidorenko A. A., Dmitriev P. N., Sirenko Y. G. Predicting methane emissions from multiple gas-bearing coal seams to longwall goafs at russian mines. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2021, vol. 16, no. 8, pp. 851–857.
23. Cherdantsev N. V., Goloskokov S. I., Lebedev K. S. Assessment of the influence of some parameters of a mined coal seam on the opening of cracks in its edge zone by methane. *Bulletin of Scientific center VostNII for industrial and environmental safety*. 2022, no. 3, pp. 5–16. [In Russ]. DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.97.85.001.
24. Bagautdinov I. I., Loktyukova O. Yu., Shabarov A. N. Rock bursts and their relationship with geological and structural features of the massif. *Gornyi Zhurnal*. 2025, no. 3, pp. 53–60. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2025.03.08.
25. Zuev B. Yu. Methodology for modeling nonlinear geomechanical processes in block and layered rock masses using models of equivalent materials. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 250, pp. 542–552. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.7.
26. Kuznetsov N. N., Rybin V. V. Influence of loading conditions of rocks on their susceptibility to dynamic destruction. *Journal of Mining Sciences*. 2025, no. 6, pp. 95–103. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRI20250610.
27. Bagautdinov I. I., Zuev B. Yu., Streshnev A. A. Evaluation of the efficiency of drilling relief holes to bring workings into a rock-bump-safe state using numerical and physical modeling methods. *Gornyi Zhurnal*. 2023, no. 5, pp. 33–39. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.05.
28. Marysyuk V. P., Trofimov A. V., Andreev A. A., Kolganov A. V. Application of microseismic monitoring data to predict the size of the influence zone of mining operations at the Oktyabrsky mine. *Gornyi Zhurnal*. 2024, no. 3, pp. 41–47. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2024.03.05.
29. Zherlygina E. S., Kuranova M. E., Gusev V. N., Odintsov E. E. Identification of hazardous areas based on the study of the development of man-made cracks in the thickness of the rocks composing the massif. *Russian Mining Industry Journal*. 2025, no. 1, pp. 162–169. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2025-1-162-169.
30. Dudin A. A., Lysenko M. V., Aushev E. V. Experience of implementing directional hydraulic fracturing to control difficult-to-collapse roofs at coal deposits of JSC Vorkutaugol. *Ugol'*. 2023, no. 8(1170), pp. 87–95. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-87-95.
31. Klishin V. I., Tailakov O. V., Opruk G. Yu. Methods of hydraulic fracturing of a difficult-to-collapse roof and coal seam to eliminate dynamic phenomena in coal mines. *Russian Mining Industry Journal*. 2022, no. 6, pp. 46–53. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-46-53.
32. Protosenya A. G., Karasev M. A., Belyakov N. A., Tulin P. K. Forecast of the limiting state and dilatation of rocks around mine workings *Journal of Mining Institute*. 2025, vol. 276-2, pp. 107–122. [In Russ]. EDN YMRWQB.
33. Trushko V. L., Baeva E. K. substantiatio exemplaris accentus-contentionis status petrae congelatae massif. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024, no. 1(129), pp. 73–79. [In Russ]. DOI: 10.56195/20793332_2024_1_73_79. EDN BNQKLD.
34. Zhuravkov M. A., Petrovskiy A. B., Prushak V. Ya., Nikolaitchik M. A., Puzanov D. A., Klimovich N. M. Modeling of the geomechanical state of the rock massifs being undermined repeatedly. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physico-Technical Series*. 2023, vol. 68, no. 1, pp. 32–39. DOI: 10.29235/1561-8358-2023-68-1-32-39.
35. Zubov V. P., Golubev D. D. Prospects of using modern technological solutions in mining shallow coal seams, taking into account the danger of the formation of spontaneous combustion foci. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 250, pp. 534–541. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.6. EDN LWLETC.

36. Starikov G. P., Yurchenko V. M., Melnik T. N., Podrukhin A. A. Kinetics of filtration and release of methane to the surface upon cessation of work in coal mines. *Physics and high pressure technology*. 2019, vol. 29, no. 1, pp. 95–103. [In Russ].

37. Rasskazov M., Tereshkin A., Tsoi D., Konstantinov A., Miroshnikov V., Bagautdinov I., Kozhugulov K. Research of the formation of zones of stress concentration and dynamic manifestations based on seismoacoustic monitoring data in the fields of the Kola Peninsula. *E3S Web Conference*. 2020, vol. 192, article 01009. DOI: 10.1051/e3sconf/202019201009.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бондарев Алексей Владимирович*¹ – ведущий инженер,
e-mail: alex_bondarev78@mail.ru, SPIN-код: 2904-4066,
Author ID: 689415, ORCID ID: 0009-0006-9363-701X,

*Шванкин Михаил Васильевич*¹ – канд. техн. наук,
заведующий сектором, e-mail: vnimi-sgu@yandex.ru,
Author ID: 479112,

*Василенко Татьяна Анатольевна*¹ – д-р техн. наук,
главный научный сотрудник, e-mail: tvasilenko@mail.ru,
Author ID 57212244174, ORCID ID: 0000-0003-4290-1520,

*Прекин Евгений Александрович*² – первый заместитель
генерального директора – технический директор,
e-mail: general@vorkutaugol.ru,

*Мороз Денис Иванович*² – главный технолог,
e-mail: DI.Moroz@vorkutaugol.ru,

*Спорный Алексей Игоревич*² – главный инженер
шахты «Воркутинская», e-mail: ai.spornyi@vorkutaugol.ru,

¹ Научный центр геомеханики и проблем горного производства,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
² АО «Воркутауголь».

Для контактов: Бондарев А.В., e-mail: alex_bondarev78@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*A.V. Bondarev*¹, Leading Engineer,
e-mail: alex_bondarev78@mail.ru, SPIN-code: 2904-4066,
Author ID: 689415, ORCID ID: 0009-0006-9363-701X,

*M.V. Shvankin*¹, Cand. Sci. (Eng.), Head of Sector,
e-mail: vnimi-sgu@yandex.ru, Author ID: 479112,

*T.A. Vasilenko*¹, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher,
e-mail: tvasilenko@mail.ru, Author ID 57212244174,
ORCID ID: 0000-0003-4290-1520,

*E.A. Prekin*², First Deputy General Director –
Technical Director, e-mail: general@vorkutaugol.ru,

*D.I. Moroz*², Chief Technologist,
e-mail: DI.Moroz@vorkutaugol.ru,

*A.I. Spornyi*², Chief Engineer of the Vorkutinskaya mine,
e-mail: ai.spornyi@vorkutaugol.ru,

¹ Scientific Center for Geomechanics and Issues of Mining Industry,
Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia,

² JSC «Vorkutaugol», 169908, Vorkuta, Komi Republic, Russia.

Corresponding author: A.V. Bondarev, e-mail: alex_bondarev78@mail.ru.

Получена редакцией 09.01.2026; получена после рецензии 17.02.2026; принята к печати 10.04.2026.

Received by the editors 09.01.2026; received after the review 17.02.2026; accepted for printing 10.04.2026.