

УДК 622.831.325 + 622.831.325.3

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2023

Закономерности конвергенции кровли и почвы подготовительных выработок при отработке угольных пластов в сейсмически опасных районах КузбассаА.А. Исаченко¹, М.Г. Коряга²¹АО «ОУК «Южкузбассуголь» (Россия, 654025, г. Новокузнецк, ул. Пархоменко, 74)²Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654041, г. Новокузнецк, ул. Циолковского, 15)**Patterns of Roof and Soil Convergence in Development Workings during Coal Seams Mining in Seismically Hazardous Areas of Kuzbass**Aleksey A. Isachenko¹, Mikhail G. Koryaga²¹JSC UCC Yuzhkuzbassugol (74 Parkhomenko st., Novokuznetsk, 654025, Russian Federation)²Siberian State Industrial University (15 Tsiolkovskogo st., Novokuznetsk, 654025, Russian Federation)

Получена / Received: 26.06.2023. Принята / Accepted: 27.11.2023. Опубликовано / Published: 30.03.2024

Ключевые слова:

шахта, пласт, сейсмика, податливая крепь, горные породы, подготовительные выработки, очистные выработки, геодинамические явления, разрушение пород, геология, геотектоника, пучение, сейсмика, конвергенция, деформация горных выработок.

Исучены закономерности конвергенции кровли и почвы подготовительных выработок при отработке угольных пластов в сейсмически опасных районах Кузбасса. Выполнена постановка задачи исследования, адаптация методов изучения процессов деформирования геомассива, анализ геодинамической и горно-технической ситуации и натурные исследования.

Большинство шахт Кузбасса отработывают угольные пласты на больших глубинах. Это связано с рисками проявления геомеханических, геодинамических и сейсмических событий, оказывающих негативное влияние на безопасность горных работ. Одним из негативных явлений, оказывающим существенное влияние на безопасность горных работ, является конвергенция кровли и почвы подготовительных горных выработок. При отработке свит угольных пластов интенсивным деформациям пород в окрестности горных выработок особенно подвержены участки подготовительных горных выработок в непосредственной близости от выработанного пространства и расположенные в зонах опорного давления от очистных забоев.

Для изучения конвергенции кровли и почвы подготовительных горных выработок проведены натурные измерения вертикальных смещений в подготовительных выработках с их расположением в зоне опорного горного давления отработываемого выемочного участка в сейсмически опасных районах Кузбасса.

Установлены факторы, влияющие на виды деформаций и разрушений вмещающих пород и элементов крепи подготовительных выработок. Выявлена динамика энергии фиксируемых сейсмических событий при разной скорости конвергенции кровли и почвы в пределах выемочного участка.

Обоснованы предвестники последствий скоротечной конвергенции почвы подготовительных выработок и мероприятия по предотвращению негативных явлений.

Keywords:

mine, reservoir, seismicity, yielding support, rocks, development workings, production workings, geodynamic phenomena, rock destruction, geology, geotectonics, heaving, seismicity, convergence, deformation of mine workings.

The work studies the patterns of roof and soil convergence in development workings during coal seams mining in seismically hazardous areas of Kuzbass. The formulation of the research problem, adaptation of methods for studying the processes of geomass deformation, analysis of the geodynamic and mining-technical situation and field studies were completed.

Most of the Kuzbass mines work with coal seams at great depths. This is due to the risks of geomechanical, geodynamic and seismic events that have a negative impact on the safety of mining operations. One of the negative phenomena that has a significant impact on the safety of mining operations is the convergence of the roof and soil of preparatory mine workings. When mining formations of coal seams, areas of preparatory mine workings in the immediate vicinity of the goaf and located in zones of bearing pressure from the working faces are especially susceptible to intense deformation of rocks in the vicinity of mine workings.

To study the convergence of the roof and soil convergence in development workings, full-scale measurements of vertical displacements in preparatory workings were carried out with their location in the zone of supporting rock pressure of the excavation site being mined in seismically hazardous areas of Kuzbass.

Factors influencing the types of deformations and destruction of the host rocks and support elements of development workings were established. The dynamics of the energy of recorded seismic events was revealed at different rates of roof and soil convergence the within the excavation area.

Consequences precursors of the rapid soil convergence in preparatory workings and measures to prevent negative phenomena were substantiated.

© Исаченко Алексей Александрович – кандидат технических наук, заместитель главного инженера по технологии (тел.: +7 (960) 904 96 13, e-mail: metall_kuzbass@mail.ru). Контактное лицо для переписки.

© Коряга Михаил Георгиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Геотехнология» Института горного дела и геосистем (тел.: +7 (904) 378 88 44, e-mail: R7080@yandex.ru).

© Aleksey A. Isachenko (Author ID in Scopus: 57921313000) PhD in Engineering, Deputy Chief Engineer for Technology (tel.: +7 (960) 904 96 13, e-mail: metall_kuzbass@mail.ru). The contact person for correspondence.

© Mikhail G. Koryaga (Author ID in Scopus: 58650902100) – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Geotechnology, Institute of Mining and Geosystems (tel.: +7 (904) 378 88 44, e-mail: R7080@yandex.ru).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Исаченко А.А., Коряга М.Г. Закономерности конвергенции кровли и почвы подготовительных выработок при отработке угольных пластов в сейсмически опасных районах Кузбасса // Недропользование. – 2023. – Т.23, №4. – С.174–178. DOI: 10.15593/2712-8008/2023.4.4

Please cite this article in English as:

Isachenko A.A., Koryaga M.G. Patterns of roof and soil convergence in development workings during coal seams mining in seismically hazardous areas of Kuzbass. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2023, vol.23, no.4, pp.174-178. DOI: 10.15593/2712-8008/2023.4.4

Введение

Объектом исследования являются закономерности деформирования горных пород в окрестности подготовительных выработок отработываемого выемочного участка в сейсмически опасном районе Кузбасса при отработке свиты угольных пластов.

Цель работы – выявление закономерностей конвергенции кровли и почвы подготовительных выработок при отработке угольных пластов в сейсмически опасных районах Кузбасса.

В работе использованы следующие методы исследований: постановка задачи исследования, адаптация методов изучения процессов деформирования геомассива, анализ геодинамической и горно-технической ситуации, натурные исследования.

Подземная угледобыча осуществляется в широком диапазоне горно-геологических условий [1, 2]. Опыт эксплуатации высокопроизводительных подземных угледобывающих предприятий с нагрузкой более 10 тыс. т в сутки показал необходимость научного сопровождения работ с выполнением комплекса мероприятий, направленных на повышение уровня безопасности [3–6].

Факторы, осложняющие отработку выемочных участков:

- неустойчивые породы кровли;
- изменчивость мощности и строения пластов, изменчивость мощности и строения пород между пластами;
- изменчивость физико-механических свойств угля и пород;
- высокая газоносность углепородной толщи;
- увеличение глубины ведения горных работ.

При отработке свит угольных пластов интенсивным деформациям пород в окрестности горных выработок особенно подвержены [7–9]:

- участки вокруг подготовительных горных выработок в непосредственной близости от выработанного пространства;
- участки вокруг горных выработок в зонах опорного давления от очистных забоев отработываемых выемочных участков.

Для изучения деформации формы сечения подготовительных горных выработок проведены натурные исследования конвергенции пород кровли и почвы вентиляционного штрека в зоне влияния опорного давления очистного забоя выемочного участка. Исследования проведены на геодинамическом полигоне действующего угледобывающего предприятия в Ерунаковском геолого-экономическом районе Кузбасса.

Горно-техническая ситуация при отработке исследуемого геомассива при отработке пласта 2 характеризуется как традиционная для многих глубоких шахт Кузбасса [10].

Схема подготовки шахтного поля – панельная однокрылая. Система разработки длинными столбами по простиранию с выемкой угля в длинном комплексно-механизированном забое столбами с управлением кровлей полным обрушением.

В пределах выемочного столба 2–7 длина лавы 300 м, угол падения пласта 10–12°, мощность пласта 2,16 м, глубина разработки 500–600 м, средний коэффициент крепости по шкале проф. Протоdjeяконова равен для угля 1,0, пород непосредственной кровли 4,0, пород основной кровли 4,6. Мощность пород непосредственной кровли 7,55 м. Прогнозные значения шагов обрушения пород непосредственной кровли: первичный 40 м, последующий 10 м; основной кровли: первичный 55 м, последующий 20 м. В пределах основной кровли прослеживаются линзы песчаника.

Поддержание проектного размера сечения выработок выемочного участка осложняется наличием в почве пласта 2 весьма сближенного пласта 1.

На участках сближения пластов 2 и 1 непосредственная почва пласта 2 склонна к пучению. Мощность породных слоев между пластами переменная: от 2 до 5 м.

Пласт 1, залегающий на расстоянии 0,5–13 м ниже пласта 2, сложного строения, состоит из 4–9 угольных слоев, суммарной мощностью 1,25–1,78 м, средняя мощность 1,42 м. Непосредственная кровля и почва пласта сложены алевролитом, иногда встречаются ложная кровля и почва, представленные углистыми породами.

Геодинамическая ситуация в пределах исследуемого предприятия подземной угледобычи характеризуется как повышенная. Это подтверждается динамикой сейсмической активности (рис. 1) [11, 12].

Из анализа материалов сейсмической активности в районе горных работ [12] и геофизического мониторинга GITS [13] следует, что наиболее активная зона конвергенции «кровля – почва» соответствует проявлению горного давления впереди лавы 2–7 в вентиляционном штреке 2–7 и конвейерном штреке 2–6, а также при мощности пород между отработываемым и надработываемым угольными пластами менее 3 м.

Для исключения возникновения конвергенции «кровля – почва» в штреке 2–7 были разработаны дополнительные меры по усилению крепи штрека (рис. 2) костровой крепью, деревянными стойками и анкерами.

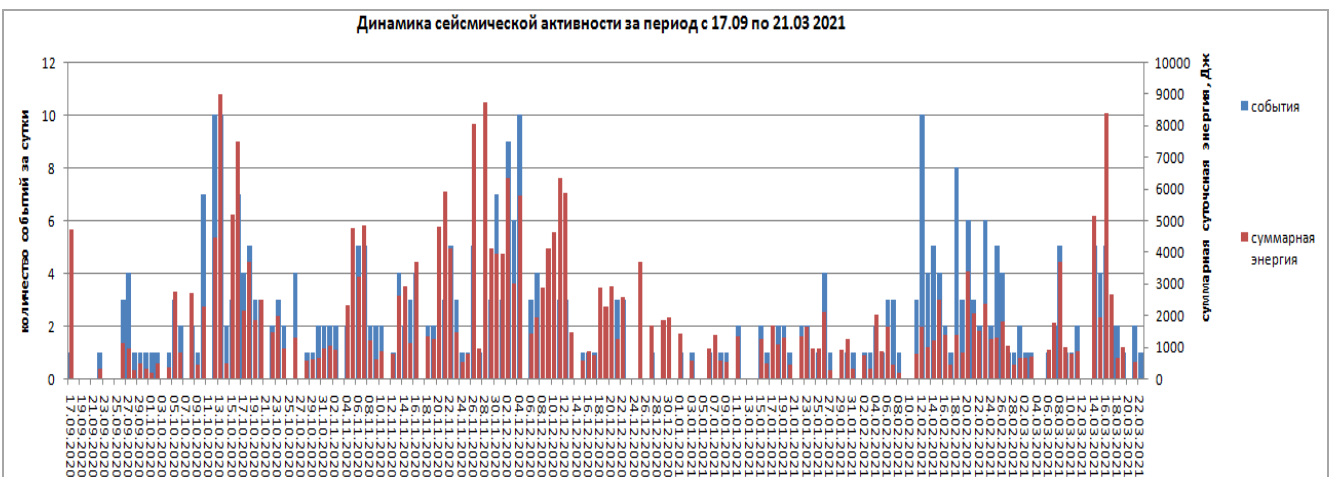


Рис. 1. Динамика сейсмической активности на горном отводе [11]: графики синим цветом соответствуют количеству событий в сутки, шт./сут; красным цветом – суммарной суточной энергии, Дж/сут

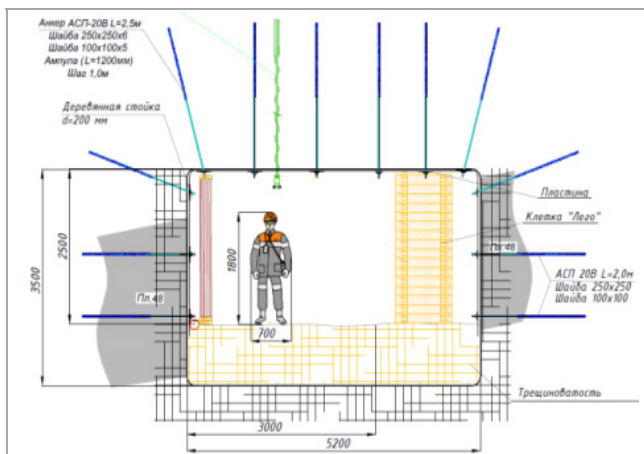


Рис. 2. Схема усиления крепления вентиляционного штрека 2-7 с усилением деревянной податливой крепью, деревянными стойками и анкерами

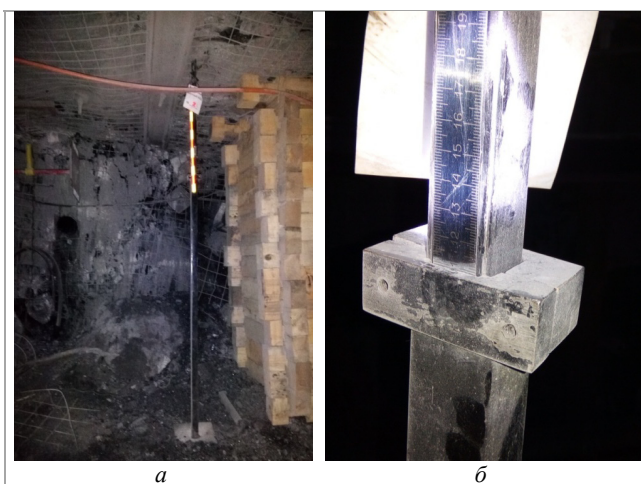


Рис. 3. Прибор для измерения конвергенции КШ-2, установленный в вентиляционном штреке 2-7: а – общий вид конвергометра в горной выработке; б – измерительная шкала конвергометра

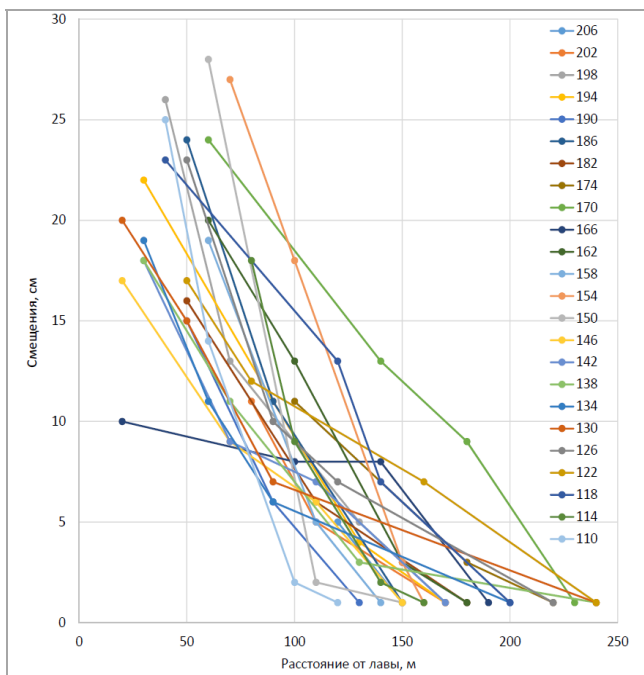


Рис. 4. График изменения конвергенции «кровля – почва» в зависимости от расстояния до лавы

С целью определения эффективности комплекса мероприятий по усилению крепи вентиляционного штрека 2-7 были установлены наблюдательные станции в виде телескопических измерительных стоек (прибор для измерения конвергенции КШ-2) для определения конвергенции «кровля – почва» (рис. 3). Измерения проводились в период с сентября 2020 г. по март 2021 г.

Результаты наблюдений смещения измерительной стойки приведены в таблице. Графики изменения конвергенции «кровля – почва» в зависимости от расстояния до лавы показаны на рис. 4.

Согласно графику, при приближении очистной выработки выемочного участка 2-7 к наблюдательной станции конвергенция кровли и почвы увеличивается по зависимости, близкой к экспоненциальной, и достигает 280 мм.

По результатам статистической обработки измерений, представленных в таблице и на рис. 4, получена экспоненциальная зависимость в виде:

$$W = ae^{bL}, \quad (1)$$

где W – конвергенция кровля – почва вентиляционного штрека 2-7, м; L – расстояние от наблюдательной станции до лавы, м; a – эмпирический коэффициент, м; b – эмпирический коэффициент, m^{-1} .

Согласно данным рис. 4 и таблицы в формуле (1) после статистической обработки получено $a = -0,035$ м; $b = -0,021$ m^{-1} , то есть вместо (1) можно записать:

$$W = -0,035e^{-0,021L}. \quad (2)$$

После дифференцирования по L получена скорость относительной конвергенции «кровля – почва» по длине вентиляционного штрека 2-7, то есть

$$V_k = -0,000858e^{-0,021L}, \quad (3)$$

где V_k – скорость относительной конвергенции кровля-почва по длине штрека, м/м, при $V_k < 0$ высота выработки уменьшается.

График скорости изменения конвергенции «кровля – почва» представлен на рис. 5.

В горной практике для прогнозирования параметров геомеханических процессов в окрестности движущихся очистных забоев используется скорость деформирования контура выработки во времени [14]. Для условий вентиляционного штрека 2-7 по приведенным данным в таблице построен график скоростей как отношение разности конвергенции «кровля – почва» к продолжительности временного интервала, то есть

$$V_{kt} = \frac{W_{L_1} - W_{L_2}}{t_1 - t_2}, \quad (4)$$

где V_{kt} – скорость конвергенции, м/сут; W_{L_1} – конвергенция кровли и почвы вентиляционного штрека 2-7, измеренная на наблюдательной станции в момент t_1 , расположенной на расстоянии L_1 от лавы 2-7, м; W_{L_2} – конвергенция кровли и почвы вентиляционного штрека 2-7, измеренная на наблюдательной станции в момент t_2 , расположенной на расстоянии L_2 от лавы 2-7, м.

Увеличение скорости конвергенции происходит за счет влияния двух факторов [15, 16]:

1. Рост величины вертикальных напряжений в зоне опорного горного давления при приближении лавы к наблюдательной станции (конвергометру).

2. Последовательное уменьшение прочности угля и пород в окрестности штрека при деформации массива горных пород в почве выработки.

Фрагмент таблицы наблюдений за конвергенцией почвы в вентиляционном штреке

Номер наблюдательной станции (пикета)	Начало измерений: начальный отсчет по стойке, дата установки станции (число, месяц, год): расстояние до лавы, м	Результаты измерений				Максимальная скорость конвергенции: V_1 , м/м; V_2 , м/сут	Показатели сейсмичности: магнитуда, ML энергия E, Дж
		Отсчет по стойке, см; дата; расстояние до лавы, м	Отсчет по стойке, см; дата; расстояние до лавы, м	Отсчет по стойке, см; дата; расстояние до лавы, м	Отсчет по стойке, см; дата; расстояние до лавы, м		
110	1 10.09.20 120	2 10.09.20 100	14 05.10.20 60	25 11.10.20 40	0,0055 0,0183	2,2 1890	
	7 10.09.20 200	13 25.09.20 140	23 11.10.20 120	40 26.10.20 40	0,0012 0,0067	2,07 3225	
122	1 10.09.20 240	7 25.09.20 160	12 11.10.20 80	17 26.10.20 50	0,0017 0,0033	2,07 3225	
	1 05.10.20 220	7 11.10.20 120	10 30.10.20 80	23 16.11.20 50	0,0043 0,0076	2,64 3700	

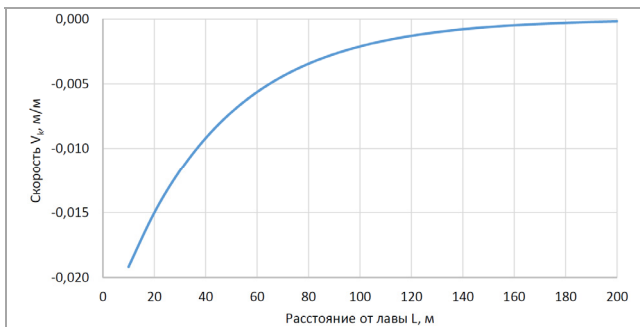


Рис. 5. График изменения скорости конвергенции «кровля – почва» от расстояния до лавы

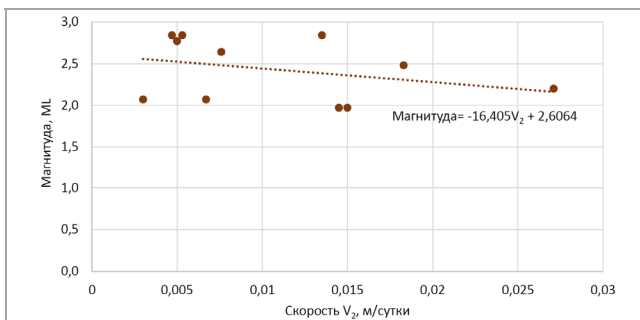


Рис. 6. График зависимости магнитуды сейсмособытия от скорости конвергенции V_2 кровли и почвы вентиляционного штрека 2–7



Рис. 7. Виды разрушений элементов крепи и пород в вентиляционном штреке 2–7

Динамика энергии фиксируемых сейсмических явлений под влиянием скорости конвергенции показана на рис. 6, из которого следует, что при увеличении скорости конвергенции в 6 раз сейсмическая энергия снижается в 1,2 раза.

Из данных рис. 6 следует, что снижение магнитуды зафиксированных сейсмособытий наблюдается при

увеличении скорости конвергенции кровли и почвы штрека.

Можно предположить, что при увеличении скорости конвергенции происходит уменьшение прочности вмещающих выработку пород, увеличение трещиноватости и снижение плотности геомассива.

Согласно [17–21], в этом случае происходит экранирование волн напряжений на контуре горных выработок и на границах зон трещиноватости пород, преломление сейсмических волн и высвобождение упругой энергии в более плотных породных слоях.

По результатам визуально-инструментального обследования состояния усиленной крепи по схеме (см. рис. 2) и боковых пород вентиляционного штрека 2–7 (рис. 7) выявлен ряд изменений в состоянии выработки:

- по мере приближения КМЗ к наблюдательной станции за крепью штрека фиксируются разрушения пород кровли и формируются зоны в виде обломков породы над металлической решеткой;

- увеличение объема пучения пород почти в 8 раз (при сближении пластов 2 и 1 с 4 до 1 м в почве вентиляционного штрека 2–7);

- образование трещин и заколов пород в кровли.

Деформации в наблюдаемой выработке представлены:

- разрушением элементов податливой крепи усиления под влиянием косо направленной или вертикальной нагрузки;

- разрушением решетчатой затяжки в боках выработки в результате формирования блоков при отжиме угля;

- провисанием и разрывами решетчатой затяжки отслоившимися блоками породы в кровле штрека;

- разрушением деревянных опор элементами металлических верхняков с вдавливанием деревянных стоек в породы почвы.

Заключение

По результатам исследований предлагается принять к реализации на шахтах комплекс мероприятий по предотвращению негативных последствий скоротечного поднятия почвы вентиляционных штреков:

1. Прогноз предвестников природно-техногенных землетрясений посредством организации непрерывного автоматизированного мониторинга конвергенции кровли и почвы в вентиляционном штреке действующего очистного забоя.

2. Выявление предельной скорости конвергенции при статическом и динамическом состояниях горнотехнической системы.

3. Вывод людей и остановка горных работ по выемке угля при превышении предельной скорости конвергенции.

Библиографический список

1. Уголь в Мире [Электронный ресурс] // Промышленность и энергетика. Красноярское издание от 29.02.2019 г. – URL: <http://articles/246478/> (дата обращения: 10.04.2023).
2. Петренко И.Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2021 год // Уголь. – 2022. – № 3(1152). – С. 9–24. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-9-23. – EDN UNGBXZ.
3. Сейсмичность при горных работах / коллектив авторов; под ред. Мельникова Н.Н. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 202. – 325 с.
4. Влияние промышленных взрывов на распределение сейсмических и динамических явлений в массиве горных пород / А.А. Еременко, В.А. Еременко, Н.И. Скляр, И.Ф. Матвеев, О.В. Шипеев // Горный журнал. – 2002. – № 1. – С. 40–43.
5. Адушкин В.В., Турантаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). – М.: ИНЭК, 2005. – 252 с.
6. Научное сопровождение высокопроизводительных очистных забоев угольных шахт как инструмент повышения рентабельности добычи угля / В.П. Тащепенко, А.А. Мешков, С.И. Калинин, Г.Н. Роут // Вестник. – 2016. – № 1. – С. 25–29.
7. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах. – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 216 с.
8. Геомеханические принципы подготовки горного производства на угольных шахтах / пер. с англ. В.М. Шика. – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2015. – 256 с.
9. Никитина А.М., Фрянов В.Н. Геомеханическое обеспечение устойчивости горных выработок в неоднородном углеродном массиве. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – 199 с.
10. Денисов С.В., Поляков Д.А., Добрынин Р.В. Специфика и формы проявления техногенной сейсмичности на горнодобывающих предприятиях Кузбасса по материалам инструментальных наблюдений // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Научный журнал. – Новокузнецк, СибГИУ. – 2020. – № 4. – С. 461–464.
11. Сопровождение сейсмической станции 2020 года: отчет о НИОКР / А.Ф. Еманов, Д.Г. Корабельщиков, А.В. Фатеев [и др.]; под ред. Н.А. Серезникова. – Новосибирск: Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – 65 с.
12. Техногенная сейсмичность Кузбасса / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Е.В. Лескова, А.В. Фатеев. – Новосибирск, 2015.
13. Исаченко А.А., Т.В. Петрова, Фрянов В.Н. Закономерности проявления динамических явлений при отработке свит угольных пластов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 2. – С. 311–321.
14. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. – М.: Недра коммюникейшн ЛТД, 1999. – 256 с.
15. Павлова Л.Д., Петрова Т.В., Фрянов В.Н. Математическое моделирование геомеханического состояния углеродного массива в окрестности сопряжений горных выработок: монография / СибГИУ. – Новокузнецк, 2002. – 202 с.
16. Development of a model for predicting the dynamic effect on the stability of rock excavation / M.A. Karasev, R.O. Sotnikov, V.U. Sinegubov, N.A. Egorova etc. DOI:10.1088/1742-6596/1384/1/012051 // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – № 1. – P. 1230–1236.
17. Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Кочарян Г.Г. Особенности сейсмического мониторинга слабых динамических событий в массиве горных пород // ФТПРПИ. – 2013. – № 5. – С. 20–36.
18. Курленя М.В., Серяков В.М., Еременко А.А. Техногенные геомеханические поля напряжений. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.
19. Borman P., Engdahl E.R., Kind R. Seismic wave propagation and Earth models // German Research Center for Geosciences. – 2012. – P. 105. DOI: 10.2312/GFZ.NMSOP-2_ch2
20. Kim D.S., Lee J.S. Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations // Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2000. – Vol. 19(2). – P. 115–126. DOI: 10.1016/S0267-7261(00)00002-6
21. Исаченко А.А., Петрова Т.В. Оценка природно-техногенной сейсмичности угледобывающих районов Кузбасса // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Научный журнал. – Новокузнецк: СибГИУ, 2021. – № 7. – С. 110–114.

References

1. Ugol' v Mire [Coal in the World]. *Promyshlennost' i energetika*. Krasnoirsarskoe izdanie ot 29 February 2019, available at: <http://articles/246478/> (accessed 10 April 2023).
2. Petrenko I.E. Itogi raboty ugol'noi promyshlennosti Rossii za 2021 god [Russia's coal industry performance for January - December, 2021]. *Ugol'*, 2022, no. 3 (1152), pp. 9-24. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-9-23. EDN UNGBXZ
3. Kozyrev A.A., Panin V.I., Savchenko S.N., Kozyrev S.A. et al. Seismichnost' pri gornyykh rabotakh [Seismicity during mining]. Ed. N.N. Mel'nikov. *Appatity: Kolskii nauchnyi tsentr Rossiiskoi akademii nauk*. 2002, 325 p.
4. Eremenko A.A., Eremenko V.A., Skliar N.I., Matveev I.F., Shippeev O.V. Vliianie promyshlennykh vzryvov na raspredelenie seismicheskikh i dinamicheskikh yavlenii v massive gornyykh porod [The influence of industrial explosions on the distribution of seismic and dynamic phenomena in rock masses]. *Gornyy zhurnal*, 2002, no. 1, pp. 40-43.
5. Adushkin V.V., Turantaev S.B. Tekhnogennyye protsessy v zemnoi kore (opasnosti i katastrofy) [Technogenic processes in the earth's crust (hazards and disasters)]. Moscow: INEK, 2005, 252 p.
6. Tatsienko V.P., Meshkov A.A., Kalinin S.I., Rout G.N. Nauchnoe soprovozhdenie vysokoproizvoditel'nykh oчитnykh zaboey ugol'nykh shakht kak instrument povysheniia rentabel'nosti dobychi uglia [Scientific support of high-performance longwall faces of coal mines as a tool for increasing the profitability of coal mining]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti*, 2016, no. 1, pp. 25-29.
7. Ukazaniia po ratsional'nomu raspolozheniiu, okhrane i podderzhaniiu gornyykh vyrabotok na ugol'nykh shakhtakh [Guidelines for the rational location, protection and maintenance of mine workings in coal mines]. Moscow: "Gornoe delo" OOO "Kimmeriiskii tsentr", 2011, 216 p.
8. Geomekhanicheskie printsipy podgotovki gornogo proizvodstva na ugol'nykh shakhtakh [Geomechanical principles of mining preparation in coal mines]. Moscow: "Gornoe delo" OOO "Kimmeriiskii tsentr", 2015, 256 p.
9. Nikitina A.M., Frianov V.N. Geomekhanicheskoe obespechenie ustoychivosti gornyykh vyrabotok v neodnorodnom ugleporodnom massive [Geomechanical ensuring the stability of mine workings in a heterogeneous coal rock mass]. *Novokuznetsk: Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet*, 2009, 199 p.
10. Denisov S.V., Poliakov D.A., Dobrynin R.V. Spetsifika i formy proiavleniia tekhnogennoi seismichnosti na gornodobyvaiushchikh predpriiatiakh Kuzbassa po materialam instrumental'nykh nabludenii [Specifics and forms of manifestation of technogenic seismicity at mining enterprises of Kuzbass based on instrumental observations]. *Nauchnye tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniia mineral'nykh resursov. Nauchnyi zhurnal*. Novokuznetsk: Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet, 2020, no. 4, pp. 461-464.
11. Emanov A.F., Korabel'shchikov D.G., Fateev A.V. et al. Soprovozhdenie seismicheskoi stantsii 2020 goda: otchet o NIOKR [Seismic station support 2020: R&D report]. Ed. N.A. Serezhnikov. *Novosibirsk: Altae-Saianskii Filial FITs EGS RAN*, 2020, 65 p.
12. Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V., Fateev A.V. Tekhnogennaia seismichnost' Kuzbassa [Technogenic seismicity of Kuzbass]. *Novosibirsk*, 2015.
13. Isachenko A.A., T.V. Petrova, Frianov V.N. Zakonomernosti proiavleniia dinamicheskikh yavlenii pri otrabotke svit ugol'nykh plastov [Regularities of the manifestation of dynamic phenomena in the mining of swittes of coal beds]. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2021, no. 2, pp. 311-321.
14. Petukhov I.M., Batugina I.M. Geodinamika neдр [Geodynamics of the subsoil]. Moscow: Nedra kommunikatsionn LTD, 1999, 256 p.
15. Pavlova L.D., Petrova T.V., Frianov V.N. Matematicheskoe modelirovanie geomekhanicheskogo sostoiianiia ugleporodnogo massiva v okrestnosti sopriazhenii gornyykh vyrabotok [Mathematical modeling of the geomechanical state of the coal rock massif in the vicinity of the junctions of mine workings]. *Novokuznetsk: Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet*, 2002, 202 p.
16. Karasev M.A., Sotnikov R.O., Sinegubov V.U., Egorova N.A. et al. Development of a model for predicting the dynamic effect on the stability of rock excavation. DOI:10.1088/1742-6596/1384/1/012051. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, no. 1, pp. 1230-1236.
17. Besedina A.N., Kabychenko N.V., Kocharian G.G. Osobennosti seismicheskogo monitoringa slabyykh dinamicheskikh sobytii v massive gornyykh porod [Features of seismic monitoring of weak dynamic events in rock masses]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2013, no. 5, pp. 20-36.
18. Kurlenia M.V., Seriyakov V.M., Eremenko A.A. Tekhnogennyye geomekhanicheskie polia napriazhenii [Technogenic geomechanical stress fields]. *Novosibirsk: Nauka*, 2005, 264 p.
19. Borman P., Engdahl E.R., Kind R. Seismic wave propagation and Earth models. *German Research Center for Geosciences*, 2012, 105 p. DOI: 10.2312/GFZ.NMSOP-2_ch2
20. Kim D.S., Lee J.S. Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2000, vol. 19 (2), pp. 115-126. DOI: 10.1016/S0267-7261(00)00002-6
21. Isachenko A.A., Petrova T.V. Otsenka prirodno-tekhnogennoi seismichnosti ugledobyvaiushchikh raionov Kuzbassa [Assessment of natural and man-made seismicity in coal mining areas of Kuzbass]. *Nauchnye tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniia mineral'nykh resursov. Nauchnyi zhurnal*. Novokuznetsk: Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet, 2021, no. 7, pp. 110-114.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
 Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
 Вклад авторов равноценен.