

К ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ

С.С. Шерматова¹, З. Бамбясурэн¹, С.В. Шевчук¹, М. Ромеро², А.И. Доскалов²

¹ ГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: s_shermatova@inbox.ru

² Российский университет дружбы народов, Инженерная академия, Москва, Россия

Аннотация: На основе концепции предельно напряженного состояния земной коры рассматривается вопрос оценки степени геодинамической опасности территории горнопромышленного района. На примере Кузбасса по данным о глубинах гипоцентров техногенных сейсмических явлений оценена мощность слоя предельно напряженного состояния верхней части земной коры, величина которой, согласно современным разработкам, является одним из значимых факторов, влияющих на степень геодинамической опасности. Поскольку глубины гипоцентров техногенных сейсмических явлений определены достаточно надежно, это позволило проследить за их изменением и сопоставить полученные оценки с блочным строением Кузбасса, установленным в 1980-е годы методом геодинамического районирования. Разломы земной коры II ранга разделяют блоки с различной мощностью слоя земной коры, предположительно находящегося в предельно напряженном состоянии, которая, по данным настоящего исследования, изменяется от 2,1 км до 4–5 км. Использование данных о глубинах гипоцентров техногенных землетрясений позволяет районировать территорию по степени геодинамической опасности, которая возрастает от севера Кузбасса к югу. Изучение реакции массива на масштабное техногенное воздействие, включая реактивацию внутриблоковых тектонических нарушений и вклад этого процесса в дегазацию земных недр, является одной из задач дальнейших исследований.

Ключевые слова: техногенная сейсмичность, горный удар, глубина гипоцентра, предельно напряженное состояние, степень геодинамической опасности, геодинамическая зона, миграция шахтных газов, Кузбасс.

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-27-00728).

Для цитирования: Шерматова С. С., Бамбясурэн З., Шевчук С. В., Ромеро М., Доскалов А. И. К оценке степени геодинамической опасности в горнопромышленном районе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12. – С. 175–184. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_175.

Estimating geodynamic hazard in mining regions

S.S. Shermatova¹, Z. Byabasuren¹, S.V. Shevchuk¹, M. Romero², A.I. Doskalov²

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: s_shermatova@inbox.ru

² Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Engineering Academy, Moscow, Russia.

Abstract: The concept of the critical stress state of the Earth's crust is used to address the issue of the geodynamic hazard estimation in a mining region. In terms of Kuzbass and using the data on depths of hypocenters of induced seismic events, the thickness of the critical stress layer at the crustal top, which is one of the most significant factors to govern the geodynamic hazard, is evaluated. The depths of hypocenters of induced seismic events are determined at sufficient reliability, and these data allow tracing their change and comparing the resultant estimates with the block structure of Kuzbass, found in the 1980s by the method of geodynamic zoning. The crustal faults of rank II separate different thickness blocks in the crustal layer supposed to be in the critical stress state and having the thickness ranging from 2.1 km to 4–5 km according to the present studies. The data on the depths of hypocenters of induced earthquakes enable zoning of the Kuzbass area by the geodynamic hazard criterion which increases north–southward. The further research is to explore response of rock mass to the large-scale induced impact, including re-activation of intra-block tectonic faults and contribution of this process to subsurface degassing.

Key words: induced seismicity, rock burst, hypocenter depth, critical stress state, geodynamic hazard level, geodynamic zone, mine gas migration, Kuzbass.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 22-27-00728.

For citation: Shermatova S. S., Byabasuren Z., Shevchuk S. V., Romero M., Doskalov A. I. Estimating geodynamic hazard in mining regions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(12):175-184. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_175.

Введение

Такие виды геодинамической опасности, как техногенная сейсмичность [1, 2], выход шахтных газов на земную поверхность по геодинамическим зонам [3, 4], сильные горные удары [5–7], относятся к трудноуправляемым и недостаточно изученным природно-техногенным процессам в горнопромышленных районах. Отмечается связь геодинамической и геомеханической опасности с другими видами опасности при ведении горных работ [8–12], использовании подземного пространства [13–15], на стадиях закрытия горных предприятий [16].

Кузбасс в настоящее время является одним из горнопромышленных районов России с техногенной сейсмичностью и проявлением сильных горных ударов [1]. Существующие классификации горных ударов по интенсивности позволяют оценивать характер их проявления («слабый», «средний», «сильный», «очень

сильный») уже на самых ранних стадиях освоения месторождений [17, 18]. Однако отмечено, что геодинамическая опасность при освоении месторождений нарастает постепенно и проявление сильных горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений часто является недооцененным, как это было не только в Кузбассе, но и, например, при разработке апатитовых месторождений на Кольском полуострове [7], на Дальнем Востоке [19]. В этой связи вопрос о заблаговременной оценке геодинамической опасности освоения территорий и интенсивности возможных геодинамических событий продолжает оставаться актуальным.

В России на решение такой задачи нацелен метод геодинамического районирования [20], в рамках которого развивается подход к оценке степени геодинамической опасности территорий и опасности реактивации тектонических

нарушений [21]. Результаты исследований в этой области позволяют сделать вывод, что оценка геодинамической опасности освоения недр, в том числе опасность развития техногенной сейсмичности, на основе только материалов сейсмического районирования является недостаточной [1, 21] и требуются подходы, учитывающие реакцию массива на техногенное воздействие. Один из таких подходов основан на учете мощности слоя земной коры, находящегося в предельно напряженном состоянии [21]. Для использования этого подхода необходима информация о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород и о глубинах гипоцентров сейсмических явлений на изучаемой территории. Для территории Кузбасса такая информация, пусть и ограниченная, уже имеется, что дает возможность попытаться выполнить приближенные оценки степени геодинамической опасности его отдельных районов.

Исследования геодинамической ситуации в Кузбассе

В последние годы в Кузбассе проявляется большой интерес в связи с развитием техногенной сейсмичности и авариями на шахтах [1, 22, 23]. Проявления техногенной сейсмичности описаны здесь при затоплении шахт, в местах подземной и открытой добычи угля. Сильнейшим техногенным сейсмическим событием считают Бачатское землетрясение (2013) в центральной части Кузбасса (Беловский район) с глубиной гипоцентра 4 км [23]. Полагают, что геодинамические зоны могут также служить путями миграции газов из недр на земную поверхность [3].

Как известно, на территории Кемеровской области впервые в СССР были проведены исследования по измерению напряжений в массиве пород и было

установлено, что горизонтальные напряжения превышают вертикальные [24]. В дальнейшем этот вывод подтвердился, в том числе данными о механизмах техногенных землетрясений [23]. По имеющимся данным [1] на юге Кузбасса в начале XX в. происходили землетрясения, глубина гипоцентров которых оценивается в 5–15 км. В то же время области техногенной сейсмической активизации были исследованы в нескольких местах Кузбасса с надежным определением глубин гипоцентров [23, 25]. Эта информация, наряду с данными о блочном строении Кузбасса [26], позволяет использовать упомянутый выше подход к оценке степени геодинамической опасности районов Кузбасса.

О концепции предельно напряженного состояния верхней части земной коры

В работе [20] авторами излагается концепция предельно напряженного состояния земной коры, согласно которой в земной коре формируется слой с таким состоянием от поверхности до некоторой глубины H под действием горизонтального сжатия, создаваемого тектоническими силами. Строение этого слоя представляется дискретным, т.е. участки предельно напряженного состояния чередуются с участками, в которых массив в целом находится в упругом состоянии. Его мощность может быть оценена расчетным путем или по данным о максимальных глубинах гипоцентров коровых землетрясений [21]. При таком представлении о состоянии недр инженерное воздействие на земную поверхность или верхнюю часть земной коры рассматривается как непосредственное воздействие на зону предельно напряженного состояния. Так как потенциальная энергия, заключенная в массиве горных пород, прямо пропорциональна его объему, то с увеличением

мощности слоя предельно напряженных пород возрастает интенсивность его возможной реакции на техногенное воздействие. На основании этого предположения принято, что степень геодинамической опасности освоения недр на данной территории тем выше, чем больше мощность слоя предельно напряженного состояния земной коры [21]. Но подобные оценки выполнены только для крупных участков земной коры и никогда не выполнялись для относительно небольших регионов, таких как районы Кузбасса.

Результаты и их обсуждение

Оценка мощности слоя предельно напряженного состояния земной коры для условий Кузбасса

Для районов ведения горных работ в Кузбассе отмечено, что гипоцентры техногенных землетрясений располагаются на глубинах, превышающих глубину ведения горных работ [23]. Примем, что подошва слоя предельно напряженного состояния в земной коре фиксиру-

ется по максимальным глубинам гипоцентров землетрясений района. На основе этих предположений по данным из работ [23, 25] можно оценить мощность слоя предельно напряженного состояния $M_{пн}$. Один из примеров для района г. Березовский (северная часть Кузбасса) показан на рис. 1. Здесь $M_{пн} = 2,1$ км.

Используя аналогичные оценки для районов с зарегистрированной техногенной сейсмичностью, возможно проследить некоторую тенденцию увеличения этой мощности с севера Кузбасса на юг (рис. 2). Как можно видеть, максимальные глубины сейсмических событий изменяются от места к месту, составляя 2,1 км в Северном Кузбассе и 4–5 км в центральном и Южном Кузбассе. Эти изменения имеют связь с блочным строением земной коры, представленным в работе [26]. Так, разлом II–II, описанный как геодинамически активный, является секущим по отношению к углевмещающим толщам, выражен в

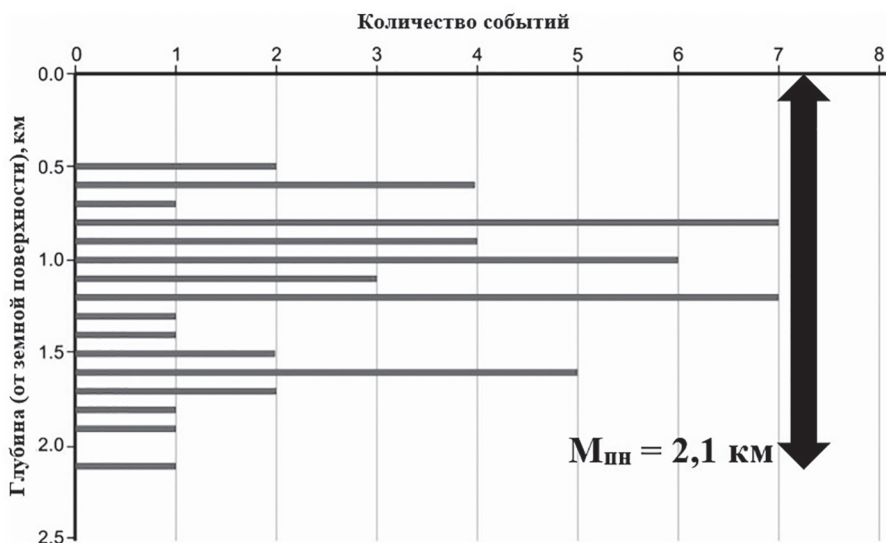
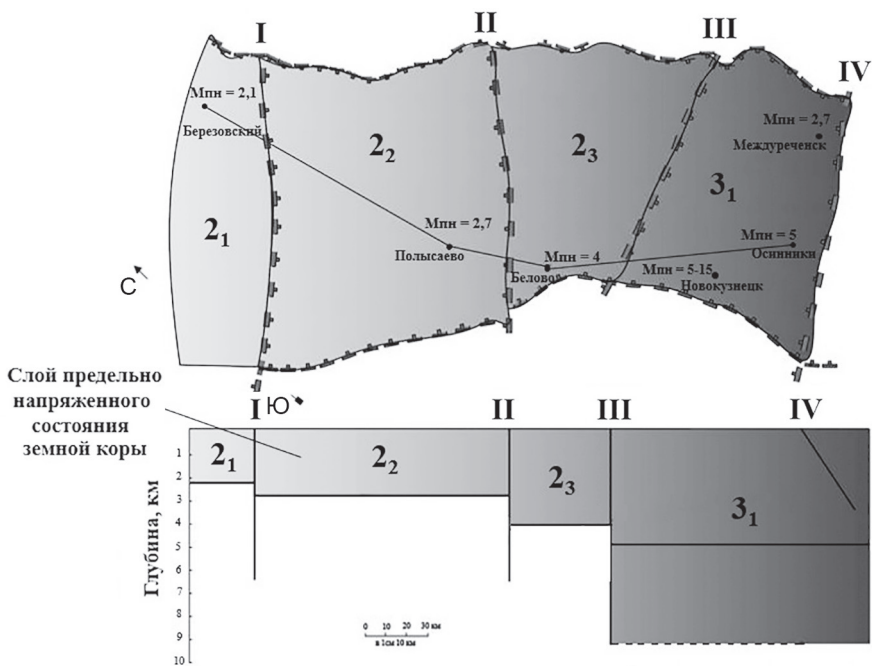


Рис. 1. Определение мощности слоя земной коры с предельно напряженным состоянием $M_{пн}$ на севере Кузбасса на примере данных о распределении глубин гипоцентров техногенных землетрясений из работы [25]

Fig. 1. Determination of the thickness of crustal layer with maximum stressed state $M_{пн}$ in the north of Kuzbass on the example of data on distribution of depths of hypocenters of man-made earthquakes from work [25]



- нижняя граница слоя с предельно напряженным состоянием земной коры по данным о глубинах гипоцентров техногенной сейсмичности
 - то же по данным о естественных исторических землетрясениях [21] – индекс степени геодинамической опасности

Рис. 2. Блоки II ранга земной коры территории Кузбасса из работы [26] и схематический разрез с мощностью слоя предельно напряженного состояния земной коры по профилю Березовский–Полысаево–Белово–Новокузнецк

Fig. 2. Rank II earth crust blocks of the Kuzbass territory from [26] and schematic section of Earth's crust critically stressed strata along Berezovsky-Polysaevo-Belovo-Novokuznezsk profile

рельефе земной поверхности и геофизических полях. На рис. 2 видно, что разлом II–II разделяет блоки земной коры 2-го ранга «Полысаево» и «Белово» с различной мощностью слоя предельно напряженного состояния (2–3 км и 4–5 км соответственно).

Мощность земной коры в Кузбассе составляет 38–41 км. Если принять, что глубины очагов исторических землетрясений определены верно (до 15 км), то только верхняя часть земной коры, составляющая 5–30% от ее полной мощности, находится в предельно напряженном состоянии. Согласно [21], это соответствует второй (до 25%) и третьей (до 50%) степеням геодинамической опасности территорий. Очевидно, что для локальных участков, соизмери-

мых с размерами отдельных районов Кузбасса, такая оценка недостаточна для использования в практических целях. В этой ситуации предлагается использовать данные о проявлении техногенной сейсмичности как средство для детализации степени геодинамической опасности отдельных локальных участков земной коры. Такую детализацию возможно сделать уже сейчас, так как районов сейсмических активизаций в Кузбассе выявлено уже не менее 10, а глубины гипоцентров техногенных сейсмических событий определены с высокой точностью.

На рис. 2 условным цветом отображена степень геодинамической опасности для четырех блоков земной коры II ранга. Принято, что границы блоков

разделяют участки с различной мощностью этого слоя, которая изменяется от 2,1 до 4–5 км и, возможно, 15 км в блоке «Новокузнецк». Максимальные глубины гипоцентров тектонических землетрясений в блоке «Междуреченск» показаны на рис. 2 пунктирной линией. На данном этапе исследований блокам условно присвоена степень геодинамической опасности 21 (блок «Березовский»), 22 (блок «Полысаево»), 23 (блок «Белово»). Для блока «Междуреченск» мы ставим степень геодинамической опасности 31, так как в нем происходили исторические землетрясения в районе г. Новокузнецк с предполагаемой глубиной очага до 15 км. Здесь же сейсмические события в районе шахты «Распадская» (г. Междуреченск) имели максимальную глубину гипоцентров 2,1 км, а в районе г. Осинники — 5 км [25]. Очевидно, что блок «Междуреченский» может быть разделен на участки различной степени геодинамической опасности еще более детально, но это является задачей дальнейших исследований.

*О реактивации нарушений
и формировании зон миграции
шахтных газов на поверхность*

Глубинное строение Кузбасса глубже области ведения горных работ изучено, в основном, по геофизическим данным. В работе [27] положение тектонических нарушений геологоразведочными работами описано до глубин ведения горных работ, что составляет несколько сотен метров, хотя геологические разрезы некоторых участков Кузбасса, на которых показаны тектонические нарушения, построены до глубин в несколько километров [28]. В практике ведения горных работ известны случаи формирования на подработанных территориях линейных зон провалов, вертикально построенных зон сквозной трещиноватости и

реактивации нарушений [29], по которым возможен выход шахтных газов на поверхность. В условиях предельно напряженного состояния массива его деформирование идет по поверхностям естественной нарушенности [20]. При движении крыльев нарушений по неровным сместителям возникают участки разуплотнения, что способствует миграции газов из массива на поверхность. Из этого следует, что в районах с более высокой мощностью слоя предельно напряженного состояния земной коры на земную поверхность по нарушенным зонам в Кузбассе могут мигрировать шахтные газы и газы глубоких горизонтов земной коры. Изучение вклада этого процесса в экологическую ситуацию горнопромышленных районов является одной из задач дальнейших исследований.

Заключение

Имеющихся на сегодняшний день данных сейсмологических и геомеханических исследований в Кузбассе уже достаточно, чтобы подтвердить гипотезу о существовании в районах угледобычи слоя предельно напряженного состояния земной коры. Для Кузбасса оценка мощности этого слоя выполнена впервые и составляет от 2,1 км на севере Кузбасса до 5 км и более на юге. Использование данных о глубинах гипоцентров техногенных землетрясений позволяет выделить несколько крупных блоков земной коры (II ранга по версии из работы [23]) с разной мощностью этого слоя и районировать территорию по степени геодинамической опасности, которая возрастает от севера Кузбасса к югу. Изучение реакции массива на масштабное техногенное воздействие, включая реактивацию внутриблоковых тектонических нарушений и вклад этого процесса в дегазацию земных недр, является одной из задач дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев Д. В., Лазаревич Т. И., Цирель С. В. Природно-техногенная сейсмичность Кузбасса // ФТПРПИ. — 2013. — № 6. — С. 20–34.
2. Foulger G. R., Wilson M. P., Gluyas J. G., Julian B. R., Davies R. J. Global review of human-induced earthquakes // *Earth-Science Reviews*. 2018, vol. 178, pp. 438–514.
3. Batugin A., Kobylkin A., Musina V., Krasnoshtanov D. Validation of the geometrical model and boundary conditions for modeling the process of air intake into the body of a coal waste dump taking into account area geodynamics / *Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM-2018)*. 2018, vol. 18, no. 1.3, pp. 1111–1118.
4. Krause E., Pokryszka Z. Investigations on methane emission from flooded workings of closed coal mines // *Journal of Sustainable Mining*. 2013, vol. 12, no. 2, pp. 40–45. DOI: 10.7424/jsm130206.
5. Цяо Цзаньюн, Ван Цжизян, Чжао Цзинли Развитие методов разработки мощных угольных пластов в Китае // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 8. — С. 105–117. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-105-117.
6. Еременко А. А., Машуков И. В., Еременко В. А. Геодинамические и сейсмические явления при обрушении блоков на удароопасных месторождениях Горной Шории // ФТПРПИ. — 2017. — № 1. — С. 70–76.
7. Fedotova Y., Kozyrev A., Akkuratov M., Zhukova S. Rock mass watering impact on induced seismicity in junction zone between underground mine and open-pit mine / *32nd European Seismological Commission General Assembly (ESC 2010)*. Abstract book. 2010, 157 p.
8. Малашкина В. А. Направления снижения эмиссии шахтного метана в атмосферу // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 10-1. — С. 137–145. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_137.
9. Куликова А. А., Овчинникова Т. И. К вопросу снижения геоэкологических рисков на горнодобывающих предприятиях // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 2-1. — С. 251–262. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262.
10. Баловцев С. В., Скопинцева О. В., Коликов К. С. Управление аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 6. — С. 85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.
11. Кобылкин С. С., Харисов А. Р. Особенности проектирования вентиляции угольных шахт, применяющих камерно-столбовую систему разработки // *Записки Горного института*. — 2020. — Т. 245. — № 5. — С. 531–538. DOI: 10.31897/PMI.2020.5.4.
12. Kulikova E. Y., Ivannikov A. L. The terms of soils removal from the defects of the underground structures' lining // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019, vol. 1425, no. 1, article 012062. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012062.
13. Мясков А. В., Попов Е. М., Попов С. М. О перспективах использования шахт Восточного Донбасса для создания подземных хранилищ газа в единой системе газоснабжения юга России // *Горный журнал*. — 2018. — № 3. — С. 33–36. DOI: 10.17580/gzh.2018.03.05.
14. Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Мухина А. С., Мосейкин В. В. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы восстановления нарушенных земель при отвалообразовании на открытой угледобыче в Кузбассе // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2022. — № 5. — С. 5–24. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_5.
15. Татаринцов В. Н., Морозов В. Н., Камнев Е. Н., Маневич А. И. Геодинамические аспекты захоронения высокоактивных радиационных отходов (Нижнекамский массив) // *Горный журнал*. — 2021. — № 3. — С. 108–112. DOI: 10.17580/gzh.2021.03.05.
16. Мохов А. В. О растекании шахтных вод из затопленных угольных шахт в недрах // *Доклады Академии наук*. — 2011. — Т. 438. — № 2. — С. 494–496. DOI: 10.1134/S1028334X11060092.
17. Rong H., Yu S., Zhang H., Liang B., Han J., Lan T., Yang Z. Determination of critical depth in rockburst mine based on the energy of coal-rock dynamic system. Meitan Xuebao //

Journal of the China Coal Society. 2021, vol. 46, no. 4, pp. 1263–1270. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2020.0118.

18. Zhou J., Li X., Mitri H. S. Classification of rockburst in underground projects: Comparison of ten supervised learning methods // *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2016, vol. 30, no. 5. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000553.

19. Рассказов И. Ю., Федотова Ю. В., Сидляр А. В., Потапчук М. И. Анализ проявлений техногенной сейсмичности в удароопасном массиве пород Николаевского месторождения // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 11. — С. 46–56. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-46-56.

20. Петухов И. М., Батугина И. М. Геодинамика недр. — М.: Недра коммуникэйшенз, 1999. — 288 с.

21. Batugin A. S. A proposed classification of the Earth's crustal areas by the level of geodynamic threat // *Geodesy and Geodynamics*. 2021, vol. 12, no. 1, pp. 21–30. DOI: 10.1016/j.geog.2020.10.002.

22. Адушкин В. В. Развитие техногенно-тектонической сейсмичности в Кузбассе // *Геология и геофизика*. — 2018. — Т. 59. — № 5. — С. 709–724. — DOI: 10.15372/GiG20180510.

23. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В. Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с $M_L = 6.1$, $I_0 = 7$ (Кузбасс) // *Российский сейсмологический журнал*. — 2020. — Т. 2. — № 1. — С. 48–61. DOI: 10.35540/2686-7907.2020.1.05.

24. Батугин С. А., Шаманская А. Т. Исследование напряженного состояния массива горных пород методом разгрузки в условиях Таштагольского железорудного месторождения // *ФТПРПИ*. — 1965. — № 2. — С. 28–33.

25. Фатеев А. В., Еманов А. Ф., Подкорытова В. Г., Лескова Е. В. Землетрясения России в 2010 году. — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2012. — 208 с.

26. Батугина И. М., Петухов И. М. Геодинамическое районирование месторождений при строительстве и эксплуатации рудников. — М.: Недра, 1988. — 166 с.

27. Юзвицкий А. З. Тектоника и глубинное строение Кузбасса // *Советская геология*. — 1982. — № 12. — С. 6–10.

28. Шаров Г. Н., Черных А. Е. Особенности глубинного строения Кузнецкой впадины в связи с нефтегазо- и рудоносностью // *Актуальные проблемы рудообразования и металлогении*. — Новосибирск: Гео, 2006. — С. 243–245.

29. Екимов А. И., Цирель С. В. Особенности проявлений тектонической и сейсмической активности в Кузбассе // *Записки Горного института*. — 2010. — Т. 188. — С. 79–81. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Yakovlev D. V., Lazarevich T. I., Tsirel' S. V. Natural and induced seismic activity in Kuzbass. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2013, no. 6, pp. 20–34. [In Russ].

2. Foulger G. R., Wilson M. P., Gluyas J. G., Julian B. R., Davies R. J. Global review of human-induced earthquakes. *Earth-Science Reviews*. 2018, vol. 178, pp. 438–514.

3. Batugin A., Kobylkin A., Musina V., Krasnoshtanov D. Validation of the geometrical model and boundary conditions for modeling the process of air intake into the body of a coal waste dump taking into account area geodynamics. *Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM-2018)*. 2018, vol. 18, no. 1.3, pp. 1111–1118.

4. Krause E., Pokryszka Z. Investigations on methane emission from flooded workings of closed coal mines. *Journal of Sustainable Mining*. 2013, vol. 12, no. 2, pp. 40–45. DOI: 10.7424/jsm130206.

5. Qiao Jianyong, Wang Zhiqiang, Zhao Jingli The evolution of thick coal seams mining methods in China. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 8, pp. 105–117. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-105-117.

6. Eremenko A. A., Mashukov I. V., Eremenko V. A. Geodynamic and seismic events under rockburst-hazardous block caving in Gornaya Shoria. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2017, no. 1, pp. 70 – 76. [In Russ].
7. Fedotova Y., Kozyrev A., Akkuratov M., Zhukova S. Rock mass watering impact on induced seismicity in junction zone between underground mine and open-pit mine. *32nd European Seismological Commission General Assembly (ESC 2010)*. Abstract book. 2010, 157 p.
8. Malashkina V. A. Trends toward reduction of mine methane emission in atmosphere. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 10-1, pp. 137 – 145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_137.
9. Kulikova A. A., Ovchinnikova T. I. On the issue of reducing geocological risks at mining enterprises. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 251 – 262. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262.
10. Balovtsev S. V., Skopintseva O. V., Kolikov K. S. Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 85 – 94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.
11. Kobylkin S. S., Kharisov A. R. Design features of coal mines ventilation using a room-and-pillar development system. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 245, no. 5, pp. 531 – 538. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2020.5.4.
12. Kulikova E. Y., Ivannikov A. L. The terms of soils removal from the defects of the underground structures' lining. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019, vol. 1425, no. 1, article 012062. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012062.
13. Myaskov A. V., Popov E. M., Popov S. M. Prospects for the use of mines in east donbass as underground gas storage facilities in the integral gas-supply system of Southern Russia. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no. 3, pp. 33 – 36. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.03.05.
14. Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Mukhina A. S., Moseykin V. V. Geological, geotechnical and geocological problems of reclamation of land disturbed by dumping in open pit coal mining in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5, pp. 5 – 24. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_5.
15. Tatarinov V. N., Morozov V. N., Kamnev E. N., Manevich, A. I. Geodynamic aspects of high-level radioactive waste disposal. A case-study of nizhnekansky massif. *Gornyi Zhurnal*. 2021, no. 3, pp. 108 – 112. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2021.03.05.
16. Mokhov A. V. Mine water drainage from flooded coal mines. *Doklady Akademii nauk*. 2011, vol. 438, no. 2, pp. 494 – 496. [In Russ]. DOI: 10.1134/S1028334X11060092.
17. Rong H., Yu S., Zhang H., Liang B., Han J., Lan T., Yang Z. Determination of critical depth in rockburst mine based on the energy of coal-rock dynamic system. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2021, vol. 46, no. 4, pp. 1263 – 1270. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2020.0118.
18. Zhou J., Li X., Mitri H. S. Classification of rockburst in underground projects: Comparison of ten supervised learning methods. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2016, vol. 30, no. 5. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000553.
19. Rasskazov I. Yu., Fedotova Yu. V., Sydlyar A. V., Potapchuk M. I. Analysis of induced seismic events in rockburst-hazardous Nikolaevsk deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 11, pp. 46 – 56. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-46-56.
20. Petukhov I. M., Batugin A. S. *Geodinamika nedr* [Geodynamics of subsoil], Moscow, Nedra kommunikatsionnyy tsentr, 1999, 288 p.
21. Batugin A. S. A proposed classification of the Earth's crustal areas by the level of geodynamic threat. *Geodesy and Geodynamics*. 2021, vol. 12, no. 1, pp. 21 – 30. DOI: 10.1016/j.geog.2020.10.002.
22. Adushkin V. V. Technogenic tectonic seismicity in Kuzbass. *Russian Geology and Geophysics*. 2018, vol. 59, no. 5, pp. 709 – 724. [In Russ]. DOI: 10.15372/GiG20180510.
23. Emanov A. F., Emanov A. A., Fateyev A. V. Bachatskoe technogenic earthquake 18 June 2013 with $M_L = 6.1$, $I_0 = 7$ (Kuzbass). *Russian Seismological Journal*. 2020, vol. 2, no. 1, pp. 48 – 61. [In Russ]. DOI: 10.35540/2686-7907.2020.1.05.

24. Batugin S. A., Shamanskaya A. T. Investigations of the stressed state of a rock mass by the stress-relieving method under conditions of the Tashtagol iron-ore deposit. *Fiziko-tekhnicheskiiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 1965, no. 2, pp. 28–33. [In Russ].

25. Fateev A. V., Emanov A. F., Podkorytova V. G., Leskova E. V. *Zemletryaseniya Rossii v 2010 godu* [Earthquakes in Russia in 2010], Obninsk, FITS EGS RAN, 2012, 208 p.

26. Batugina I. M., Petukhov I. M. *Geodinamicheskoe rayonirovanie mestorozhdeniy pri stroitel'stve i ekspluatatsii rudnikov* [Geodynamic zoning of deposits during construction and operation of mines], Moscow, Nedra, 1988, 166 p.

27. Yuzvitsky A.Z. Tectonics and deep structure of Kuzbass. *Sovetskaya geologiya*. 1982, no. 12, pp. 6–10. [In Russ].

28. Sharov G. N., Chernykh A. E. *Osobennosti glubinnogo stroeniya Kuznetskoy vpadiny v svyazi s neftegazo- i rudonosnost'yu. Aktual'nye problemy rudoobrazovaniya i metallogenii* [Features of the deep structure of the Kuznetsk Basin in relation to oil, gas, and ore content. Actual problems of ore formation and metallogeny], Novosibirsk, Geo, 2006, pp. 243–245.

29. Ekimov A. I., Tsirel S. V. Features of manifestations of tectonic and seismic activity in Kuzbass. *Journal of Mining Institute*. 2010, vol. 188, pp. 79–81. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Шерматова Сайёра Сидиковна*¹ – аспирантка,

e-mail: s_shermatova@inbox.ru,

*Бямбасурэн Зундуйжамц*¹ – аспирант,

e-mail: zundui.rgi@gmail.com,

*Шевчук Степан Васильевич*¹ – эксперт научного проекта,

e-mail: shevchuk.stepan@yandex.ru,

*Ромеро Барренечеа Моисес Эсау*² – канд. техн. наук,

доцент, e-mail: moises555@mail.ru,

*Доскалов Акбар Избасканович*² – аспирант,

e-mail: akbar_9595@mail.ru,

¹ ГИ НИТУ «МИСиС»,

² Российский университет дружбы народов, Инженерная академия.

Для контактов: Шерматова С.С., e-mail: s_shermatova@inbox.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*S.S. Shermatova*¹, Graduate Student,

e-mail: s_shermatova@inbox.ru,

*Z. Byambasuren*¹, Graduate Student,

e-mail: zundui.rgi@gmail.com,

*S.V. Shevchuk*¹, Scientific Project Expert,

e-mail: shevchuk.stepan@yandex.ru,

*M. Romero*², Cand. Sci. (Eng.),

Assistant Professor, e-mail: moises555@mail.ru,

*A.I. Doskalov*², Graduate Student,

e-mail: akbar_9595@mail.ru,

¹ Mining Institute, National University of Science

and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia,

² Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),

Engineering Academy, 117198, Moscow, Russia.

Corresponding author: S.S. Shermatova, e-mail: s_shermatova@inbox.ru.

Получена редакцией 05.07.2022; получена после рецензии 03.10.2022; принята к печати 10.11.2022.

Received by the editors 05.07.2022; received after the review 03.10.2022; accepted for printing 10.11.2022.