



Исследование геодинамических рисков масштабного освоения Кузбасса

Д.В. Яковлев✉, Т.И. Лазаревич, А.В. Бондарев

Институт горной геомеханики и геофизики – Межотраслевой научный центр GEOMEH
✉ post@geomeh.ru

Резюме: Исследования природы геодинамических рисков при освоении месторождений полезных ископаемых позволят кардинально изменить стратегию развития горнодобывающей отрасли и ее промышленной безопасности. Техногенная геодинамическая и сейсмическая активность приобретает наибольшее развитие в сейсмически активных регионах, где природные и техногенные динамические процессы, влияя друг на друга, приобретают характер природно-техногенного сейсмического процесса, представляющего опасность для ведения горных работ, гражданских и промышленных объектов на поверхности, качества жизни населения горнодобывающих провинций. Многочисленные наблюдения показывают существенное развитие природно-техногенной сейсмичности в «старых» горнодобывающих регионах, с огромным оборотом извлеченной горной массы, для которых характерна природная сейсмическая активность. Особую актуальность детального изучения этой проблемы придают планы масштабного освоения новых месторождений в сейсмоопасных регионах России – Тыве, Забайкалье, Дальнем Востоке, Восточной Якутии, Сахалине и др.

Ключевые слова: Кузбасс, угольное месторождение, геодинамический мониторинг, сейсмическая активность, техногенная сейсмичность, формы рисков

Для цитирования: Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Бондарев А.В. Исследование геодинамических рисков масштабного освоения Кузбасса. *Горная промышленность*. 2023;(S1):48–54. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-48-54>

Study of geodynamic risks of large-scale mining in Kuzbass

D.V. Yakovlev ✉, T.I. Lazarevich, A.V. Bondarev

Institute of mining geomechanics and geophysics – Interdisciplinary research center GEOMEH, St. Petersburg, Russian Federation
✉ post@geomeh.ru

Abstract: Studies of the nature of geodynamic risks in mining of mineral deposits will radically change the strategy for the development of the mining industry and its industrial safety.

Man-caused geodynamic and seismic activities become most developed in seismically active regions, where natural and man-caused dynamic processes that influence each other acquire the character of a natural-and-man-caused seismic process that poses a danger to mining operations, civil and industrial facilities on the surface, and the quality of life of the population in the mining provinces.

Numerous observations show a significant development of natural and man-caused seismicity in the «old» mining regions, with a huge volume of extracted rock masses, which are characterized by natural seismic activity. The plans of large-scale mining of new deposits in the earthquake-prone regions of Russia, e.g. Tyva, Transbaikalia, the Far East, Eastern Yakutia, Sakhalin, etc., give special relevance to the detailed study of this problem.

Keywords: Kuzbass, coal deposit, geodynamic monitoring, seismic activity, technogenic seismicity, forms of risks

For citation: Yakovlev D.V., Lazarevich T.I., Bondarev A.V. Study of geodynamic risks of large-scale mining in Kuzbass. *Russian Mining Industry*. 2023;(1 Suppl.):48–54. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-48-54>



Введение

Комплексное воздействие подземных и открытых горных работ, отвалы, водопонижение и т.д. ведут к расширению области сейсмической активности, перестройке её зонального распределения в «старых» горнодобывающих регионах, и в целом – к повышению, вплоть до появления землетрясений большой магнитуды (Бачатское землетрясение 2013 г.). Кроме этого, техногенное воздействие вызывает множество новых форм сейсмических явлений, прежде всего роевых мелкофокусных землетрясений, весьма опасных для жилых строений.

Более всего в России техногенная сейсмичность сказалась на Кольском полуострове и в Кузнецком угольном бассейне. На Кольском полуострове сейсмическая активность прежде всего возросла на тех участках Хибинского массива, где ведутся горные работы по добыче апатит-нефелиновых руд, затем – на территории всего Хибинского массива, а в настоящее время охватила весь Кольский полуостров. Но наиболее тяжелая ситуация сложилась в Кузбассе, где формируются сложные связи между шахтной сейсмической активностью, природно-техногенной районной (весь Кузбасс) и активностью Алтае-Саянского сейсмического региона, к краевой части которого относится Кузнецкий бассейн. В результате возросшая сейсмическая активность Кузбасса стала представлять серьезную проблему как для ведения горных работ, так и для безопасности проживания людей и ведения промышленной деятельности, развития инфраструктуры и др. на многих участках Кузбасса, прилегающих к зонам концентрации горных работ.

В сценариях развития кризисных процессов в большинстве случаев можно выделить конкретные пространственные и временные границы, т.н. «фазы» формирования очаговых зон, назревающих негативных (кризисных) явлений. Их подготовка сопровождается образованием активно взаимодействующих областей массива – непосредственно очаговой зоны и окружающей её и энергетически подпитывающей «индукторной» области. Вокруг этих областей размещается внешняя по отношению к ним и практически не оказывающая влияния на сценарий развития кризисных процессов среда. Все это формирует масштабную область исследований и развитие концепции создания региональной геодинамической модели Кузбасса.

В сформулированном виде программа исследований этой глобальной проблемы (процессов) должна включать следующие направления.

Анализ современных тенденций нарастания природно-техногенной сейсмичности в регионах с длительным ведением горных работ, большими объемами извлеченной горной массы и большими нагрузками на природные экосистемы. Необходимость обусловлена трендами последних десятилетий – в результате массового крупномасштабного воздействия горнодобывающих предприятий на недра Кузбасса произошло «оживление» древних геологических структур земной коры и зарождение новых, имеющих единые «корни» с планетарными разломами Алтае-Саянской сейсмоактивной зоны. В результате произошла резкая активизация сейсмической активности недр региона, принявшая форму природной и природно-техногенной сейсмичности. Наиболее активно геодинамические структуры стали проявлять себя в последние 20 лет, откликаясь на движения крупных Алтае-Саянских мегасистем слабыми и среднеэнергетическими сейсмическими явлениями [1]. Несмотря на невысокую их энергетику, происходящие в Кузбассе землетрясения оказывают

вредное влияние не только на жилые и промышленные строения, но и на подземные разработки, повышают риски аварий в близко расположенных к очагам землетрясений шахтах, провоцируют проявления горных ударов и внезапных выбросов.

По мере развития сейсмических процессов в недрах Кузбасса скопления очагов формируют более сложную конфигурацию сейсмогенных структур (рис. 1) в рамках тех же зональных групп группирования очагов событий. Сеть очагов приобретает специфическую «клавишную» конфигурацию с наличием признаков надвиговых перемещений разделенных сегментами блоков (или шарьяжей) в северо-восточном направлении в сторону Кузнецкого Алатау.

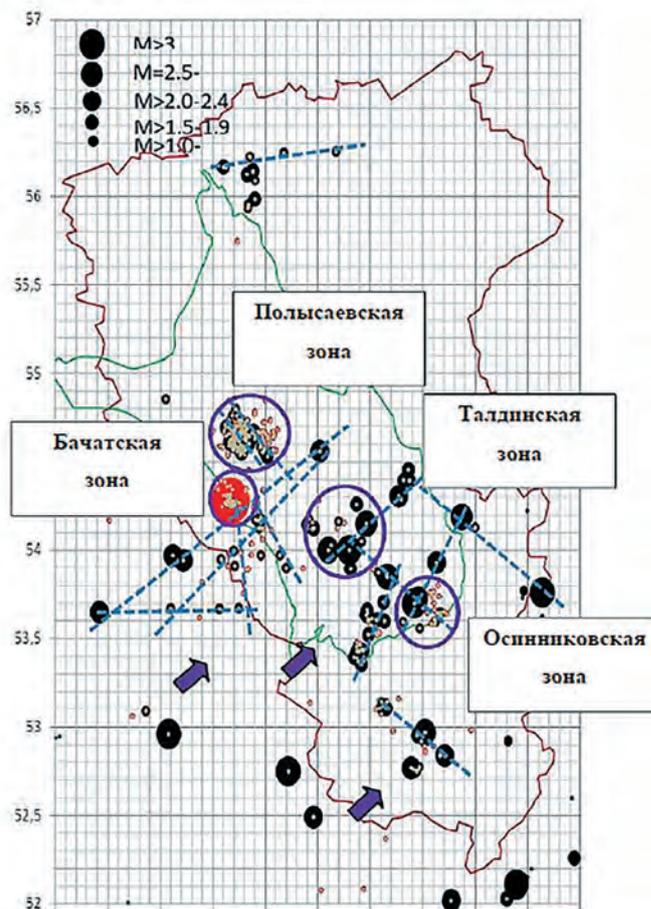


Рис. 1
Группирование очагов землетрясений, произошедших на территории Кемеровской области в период 2003–2016 гг.

Fig. 1
Grouping of earthquake foci that occurred on the territory of the Kemerovo region in the period of 2003–2016

Сейсмический режим большинства территорий угольных шахт и разрезов Кузбасса характеризуется не только проявлениями среднеэнергетических, ощутимых землетрясений, но и постоянным потоком слабых сейсмических событий с энергетическим классом $K = 1,5-7,5$ (1,0–1,5 балла по шкале MSK-64¹). Нижний энергетический порог регистрации этих событий определяется зоной охвата и чувствительностью локальной сети, ввиду чего и ниже этого порога предполагается наличие интенсивного потока генерации низкоэнергетических событий.

1 Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 57546-2017 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности».



Таким образом, из-за низкой разрешающей способности задачи, например, горного сейсмического мониторинга в масштабах отдельных шахтных полей и месторождений, вокруг которых формируются аномальные «сейсмогенные» зоны, невозможно достичь. Поэтому своевременным является вопрос **постановки комплексных сейсмо-геодинамических наблюдений за проявлениями техногенной и естественной сейсмической активности** на ведущих горнодобывающих объектах Кузбасса с оснащением и актуализацией функций действующих в этих регионах геодинамических полигонов на основе использования систем и средств:

- деформационного мониторинга с использованием режимных GPS-наблюдений;
- непрерывных сейсмических наблюдений с возможностью локации координат очагов происходящих землетрясений с точностью не ниже 50–100 м и приближенной оценки глубины гипоцентров;
- геофизических исследований природных и наведенных электромагнитных полей в очаговых зонах техногенной сейсмичности;
- гидрогеологических наблюдений в оснащенных датчиками порового давления скважинах;
- контроля процессов эманации из очаговых зон техногенной сейсмической активизации радиоактивных газов-идентификаторов геодинамических процессов (радо-на, торона);
- проведения магнитотеллурического зондирования зон повышенной сейсмической активности;
- исследования зон повышенной сейсмической активности методами сейсморазведки и мюонной радиографии.

Определенные исследования и режимные наблюдения реализованы авторами в разные годы [2–4] на различных объектах угледобычи Кузбасса. Но бесспорной остается необходимость расширения инструментария и объектов контроля (исследований). Комплексные исследования позволяют идентифицировать **различные формы природно-техногенной сейсмичности – от роевых потоков мелких сейсмических событий до крупных землетрясений**. Установлено, что происходящие в последние десятилетия в Кузбассе сейсмические процессы в основном приобрели такие формы:

- местные природные землетрясения;
- локальные сейсмические активизации на территориях интенсивно осваиваемых площадей угледобычи с высокими природными нагрузками;
- сейсмические «отклики» на крупные промышленные взрывы;
- единичные техногенные сейсмические явления, происходящие в окрестностях действующих угледобывающих предприятий;
- сейсмические эффекты, наблюдаемые непосредственно в зоне влияния горных работ;
- постоянно проявляющиеся слабоэнергетические события, рассеянные в ореоле действующих угледобывающих предприятий, носящие характер фоновой сейсмичности.

Каждая из указанных форм сейсмических проявлений имеет свои специфические особенности, связанные с природой и механизмом их проявления в недрах угледобывающего бассейна, среди которых следует выделить постепенное приближение эпицентров к промышленным зонам и площадям угледобычи, циклический характер активизи-

зации сейсмических процессов, заметное продвижение фронта сейсмической активности на север.

В ряду наиболее значимых провоцирующих факторов, на наш взгляд, следует выделить сейсмическое воздействие крупных промышленных взрывов, производимых на объектах открытой добычи, выемку и перемещение в пространстве огромного количества горной массы, достижение больших глубин отработки пластов, на которых недра начинают более «чутко» реагировать на все формы техногенного воздействия.

Не менее остро стоит вопрос интенсификации освоения геологических пространств. Скоростные технологии добычи качественно изменили происходящие в массиве геомеханические процессы, вызвав появление новых форм геомеханических, геодинамических и сейсмических рисков, что создает на многих шахтах условия нестабильности и аварийные ситуации. В этой связи **исследования важнейших факторов, способствующих интенсификации сейсмических процессов**, назрели и требуют в том числе совместного анализа влияния промышленных взрывов, технологий интенсивного освоения недр, возросших объемов извлечения горной массы на подземных горных работах, в карьерных выемках, увеличения объема отвалов, а также изменения гидрогеологических режимов в районах ведения горных работ, связанных с интенсивным водопонижением на действующих предприятиях, затоплением отработанных шахт и карьеров, увеличением количества гидроотвалов, а также вызванных всеми этими факторами природных геомеханических, геодинамических, геофизических и гидрогеологических процессов.

Необходим анализ тесноты связи (с учетом временных лагов) возрастания и трансформации сейсмической активности с техногенными процессами и их воздействиями на природную среду. Важно отметить, что все приведенные направления исследований должны базироваться на всестороннем тщательном изучении особенностей геологического строения месторождения в разрезе всех глубин, влияния подработки и надработки. На наш взгляд, термин «углепородный массив» вообще должен быть исключен из обращения, как не отвечающий задачам исследования многофазных гетерогенных сред.

Важным будет провести **проверку гипотезы наличия природных и техногенных каналов энергообмена в геологической среде и техногенных комплексах**. Как было показано, на сейсмическую и геодинамическую активность сейсмичности Кузбасса оказывают влияние одновременно природные и техногенные факторы.

Значимым фактором является нарастающий объем извлеченной горной массы. Именно этот фактор изменил процессы энергообмена в Кузбассе. Это утверждение правомерно применимо на основании опыта Кольского полуострова [5], Южного и Среднего Урала [6].

Если в Кузбассе, на Кольском полуострове и на Урале имела место природная сейсмичность, то в другом важном горнодобывающем регионе, на Таймырском полуострове, развитие техногенной сейсмичности является сугубо следствием ведения горных работ [7].

Как показали наблюдения, прослеживается тесная связь между процессами сдвига и другими геодинамическими процессами, в том числе сейсмической активностью. По мере увеличения площади выработанного пространства начинается процесс формирования мульды сдвига и перестройки напряженно-деформированного состояния массива. Данный процесс происходит как в форме



квазистатических постепенных подвижек, так и в динамической форме, что выражается в виде сейсмической активности.

Другая особенность развития процессов сдвижения и техногенной сейсмичности заключается в появлении периодичности с характерными периодами. При развитии горных работ имеет место нарастание интенсивности энергообмена в массиве, вызванного техногенными факторами, при этом с периодами порядка 1–2 года происходит колебательный процесс, выводящий на первый план то квазистатическую, то динамическую форму энергообмена.

Теоретически возможны два основных пути (две группы путей) развития процессов энергообмена в зонах повышенной концентрации энергии:

- снижение концентрации энергии за счет крипа и релаксации напряжений, что в терминах энергообмена включает в себя несколько процессов – переход упругой энергии в тепловую (нагрев), изменение состояния горной породы, излучение в форме электромагнитной и акустической эмиссии, перераспределение энергии в пространстве;

- дальнейшая концентрация энергии, приводящая в конечном счете к динамическим формам энергообмена – горным ударам вблизи выработок и сейсмическим событиям (толчкам) в глубине массива.

В этих условиях одним из ключевых становится **исследование пространственного и временного распределений природно-техногенной сейсмичности и закономерных изменений графиков повторяемости**.

Отмечаем, что законы повторяемости природно-техногенных землетрясений в полной мере не изучены и должны являться предметом специального анализа. В частности, областями очаговых зон генерации природных землетрясений являются узлы пересечения сейсмогенных разломов (фокальные зоны, по В.И. Уломову [8]). Очаговые зоны техногенных и природно-техногенных землетрясений концентрируются вблизи объектов угледобычи и в немалой степени подчинены режиму работы самих угледобывающих предприятий, что вносит изменения в характер развития природных процессов.

На основе построенного графика повторяемости землетрясений (по закону Гуттенберга-Рихтера) установлены расчетные временные интервалы ожидаемой повторяемости землетрясений каждого энергетического класса (табл. 1), определяющие меру рисков проявления землетрясений различного энергетического уровня в указанные периоды.

Согласно проведенным расчетам (см. табл. 1) период повторяемости землетрясений 15-го, 14-го, 13-го, 12-го, 11-го, 10-го энергетических классов для исследуемой территории составил соответственно 279, 140, 93, 25, 8 и 4 года. Это значительно ниже (более чем в 10 раз), чем частота повторений сильных землетрясений в Алтае-Саянской сейсмоактивной области [9].

Кроме того, не менее важными факторами, участвующими в формировании сейсмического режима территории, являются особенности внутреннего строения недр Кузнецкого прогиба, внутренняя динамика его блоковых структур и геологических образований, осложненная интенсивной промышленной деятельностью расположенных на его территории угольных предприятий. Очаговые зоны происходящих в последние годы землетрясений все одновременно проявляют тенденции сближения с геологическими нарушениями и с горными отводами угольных шахт и разрезов.

В свою очередь, динамические явления, например, на

Таблица 1
Средняя повторяемость землетрясений в Кузбассе

Table 1
Average frequency of earthquakes in Kuzbass

<i>K</i>	<i>N</i>	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>lgn</i>	<i>N*</i>	<i>lgn*</i>	<i>T</i>
7	89	25	3,560	0,551	0,3560	–0,449	0,28
8	73	25	2,920	0,465	0,2920	–0,535	0,34
9	23	25	0,920	–0,036	0,0920	–1,036	1,09
10	6	25	0,240	–0,620	0,0240	–1,620	4,17
11	3	25	0,120	–0,921	0,0120	–1,921	8,33
12	1	25	0,040	–1,398	0,0040	–2,398	25
13	3	279	0,011	–1,968	0,0011	–2,968	93
14	2	279	0,007	–2,145	0,0007	–3,145	139,5
15	1	279	0,004	–2,446	0,0004	–3,446	279

Примечания: *K* – энергетический класс землетрясений; *N* – количество зарегистрированных землетрясений; *t* – период наблюдений, год; *n* – число землетрясений, отнесенное к одному году; *N** – нормировочное количество землетрясений, найденное по графику повторяемости; *T* – средний интервал между землетрясениями каждого класса, год.

Note: *K* – energy class of the earthquakes; *N* – number of the recorded earthquakes; *t* – observation period, year; *n* – number of the earthquakes attributed to one year; *N** – normalized number of the earthquakes, found from the recurrence graph; *T* – average interval between the earthquakes of each class, year.

угольных шахтах вписываются в концепцию сложного и слабоизученного механизма энерго-массопереноса в недрах угледобывающих регионов, занимая связующее положение между группами природных и техногенных факторов и обладая качеством природно-техногенных явлений. В этой связи **исследования связи малой техногенной сейсмичности, непосредственно связанной с ведением горных работ, и природно-техногенной сейсмоактивности прилегающих к шахтам участков повышенной сейсмоактивности** позволяют определить изменения характера этой активности. Это связано с выявленными закономерностями проявления малой техногенной сейсмичности на объектах подземной добычи (угольных шахтах) Кузбасса, которые напрямую инициируются с формами [10] происходящих в них динамических явлений. К основным из них мы относим:

- образование зон сейсмических активизаций;
- явления динамических обрушений кровли;
- горные и горно-тектонические удары;
- сейсмические эффекты массовых посадок основной и непосредственной кровли;
- сейсмические отклики на производимые промышленные взрывы;
- динамические формы разрушений целиков, оставленных в выработанном пространстве обрабатываемых и ранее отработанных пластов;
- толчкообразные формы деформирования пластов и пород кровли (по И.М. Петухову [11]).

По каждой из перечисленных форм геодинамических явлений как источников малой техногенной сейсмичности наблюдениями на проблемных участках угледобычи



установлено наличие специфических признаков волновых форм при их регистрации в системах непрерывного сейсмического мониторинга.

На объектах открытой добычи Кузбасса знаковой является серия землетрясений на Бачатском угольном разрезе в 2013 г. Эти землетрясения оказались беспрецедентными в мировой горной практике по силе и масштабам проявления. Возникшие в районе Бачатского угольного разреза масштабные сейсмические процессы вызвали в первую очередь опасения возможности сохранения конструктивной целостности бортов и уступов разрезов. Продолжительные серии сейсмических толчков имели высокую степень сотрясаемости земной поверхности и почвы выработок на территории всей промплощадки предприятия и особенно в рабочих зонах бортов разреза.

В слабой форме эти явления продолжают до настоящего времени, поэтому постановка **исследований изменений геомеханических и гидрогеологических процессов в районах ведения горных работ (прежде всего на Бачатском разрезе и в окружающей его области) после крупного землетрясения** должна дать ответ на ряд важных вопросов.

Результаты проведенных работ [12] подтверждают природно-техногенный характер происходящих на Бачатском разрезе землетрясений. Природный характер этих явлений объясняется наличием в подстилающей геологической среде источника природной концентрации нагрузок. Техногенным является провоцирующее влияние образованной на участке открытой добычи крупнейшей в Кузбассе карьерной выемки, углубляющейся по мере развития горных работ в область повышенной концентрации природных напряжений и индуцирующей проявления сейсмических событий с энергетическим классом K от 3,4 до 8,7.

Таким образом, полученные результаты следует рассматривать как типовые ситуации воздействия сейсмических процессов на сохранение и поддержание конструктивной целостности бортов угольных разрезов Кузбасса в условиях нарастающей техногенной сейсмичности, а также как возможность укрепить знания путем постановки схожих по охвату исследований.

Возвращаясь к масштабу Кузбасса, следует обратить внимание на приуроченность крупных землетрясений последнего времени, сейсмических событий и сдвижений поверхности, отнесенных к региональным разломам [1]. **Исследование связи природно-техногенной сейсмичности с глубинными разломами, планетарными вариациями сейсмичности и скорости вращения Земли, солнечной активности, а также временными и пространственными вариациями сейсмической активности Алтае-Саянской сейсмической зоны** улучшат знания о степени влияния этих факторов на локальную геодинамическую обстановку. Поскольку одновременно крупные разломы формируют зоны повышенной геодинамической активности, а после техногенного воздействия являются активаторами негативных процессов.

Механизмы проявления активизации глубинных разломов в результате техногенных воздействий, по-видимому (дополнительно), заключаются в росте трещин, формировании зон напряжений и ослаблений и инфильтрации газообразных флюидов. В первую очередь речь идет об эманациях метана и радона, а также о поступлениях поверхностных и грунтовых вод в горные выработки. Подобные механизмы ведут к появлению зон, не только текто-

нически напряженных, но и тектонически разгруженных, существенно влияющих на безопасность ведения горных работ, а также особо подвижных или особо чувствительных блоков, способных к резонансной раскачке при сейсмических воздействиях и формированию роев мелких землетрясений. Ведение горных работ в таких зонах связано с повышенными геодинамическими рисками и должно сопровождаться геодинамическим мониторингом. Таким образом, в процессах энергообмена при формировании природно-техногенной активности триггером служат горные работы и другие техногенные процессы, а источниками энергии накопленная близи глубинных и региональных разломов упругая энергия, а также процессы движения флюидов.

В том числе в силу указанных причин при переходе от естественной к смешанной природно-техногенной сейсмичности связь сейсмического процесса в Кемеровской области с сейсмическими процессами Алтае-Саянского региона не ослабла, а в некотором смысле даже усилилась.

Современные интенсивные технологии добычи, масштабы освоения пространств требуют нового подхода и формирования комплекса первоочередных мер повышения сейсmobезопасности горных работ технологической и организационной направленности. Сформированы они могут быть после **исследований возможностей управления сейсмическими рисками на основе использования современных технических средств активного воздействия на очаговые зоны техногенной сейсмичности (взрывное воздействие, гидроразрыв, электрофизические эффекты и др.), а также научно обоснованного порядка размещения новых объектов недропользования.**

Технологические параметры подземной добычи могут оказывать лишь регулирующее влияние на сценарий развития сейсмических процессов, способствуя либо быстрой (спонтанной), либо медленной (криповой) реализации накопленного в недрах сейсмического потенциала. Однако реализация совокупности рекомендуемых мер позволит повысить сейсмическую защищенность объектов подземной и открытой добычи, снизить риски провоцирования крупных сейсмических явлений на земной поверхности.

Исходя из знаний о механизме генерации сейсмических процессов считаем целесообразным в качестве мер профилактики и управления сейсмическими рисками использовать наиболее рациональную схему организации горных работ, соблюдать планомерный порядок формирования и углубления карьерной выемки, а в условиях нарастающих сейсмических рисков – осуществлять меры управляемого воздействия на очаговую зону сейсмических проявлений.

Многие вопросы управления сейсмическими рисками должны решаться на уровне подготовки проектных решений. Совокупное рассмотрение комплекса сейсмических и динамических рисков на этой стадии позволит находить оптимальные технологические решения задач эффективной отработки пластов в условиях повышенной техногенной сейсмичности.

Заключение

В результате широкомасштабных исследований следует ожидать появления:

– **методики системного анализа данных мониторинга геологических, физических и геофизических полей;**



– **рекомендаций по минимизации негативных последствий сейсмо-геодинамических процессов;**

– **региональных моделей развития сейсмо-геодинамических и деформационных процессов и формирования очаговых зон сейсмичности** при различных сценариях повышения нагрузки на геологическую среду за счет введения в эксплуатацию новых горных предприятий, в том числе с использованием данных многопараметрического контроля горной среды с использованием, например, данных спутниковой радарной интерферометрии [13].

На современном этапе уже проведенных исследований были изложены отличия природно-техногенной сейсмичности от природной, заключающиеся в стягивании сейсмических событий к местам ведения горных работ, существенной зависимости мелких сейсмических событий ($M < 2$) от промышленных взрывов и отбойки угля, сниже-

нии наклона графика повторяемости и появлении впоследствии второй моды, а также сейсмических активизаций в виде роевых событий вблизи мест интенсивного ведения горных работ. Также установлено, что природно-техногенный характер сейсмической активности привел не к ослаблению, а к усилению связи сейсмического процесса в Кузбассе с процессами в Алтае-Саянской горной области, а также усилению связи сейсмичности с крупными региональными и особенно глубинными разломами.

Постановка полномасштабных исследований в предложенных направлениях дополнит имеющиеся знания в масштабе Кузбасса. Это, в свою очередь, позволит их (знания) реализовать в других угледобывающих регионах (с поправкой на специфику и уникальность), тем более что техногенное воздействие вызывает множество разных, слабо изученных в силу их новизны сейсмических явлений и форм рисков геодинамической природы.

Список литературы

1. Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Цирель С.В. Генезис и развитие природно-техногенной сейсмоактивности Кузбасса. *Уголь*. 2013;(10):53–59.
2. Лазаревич Т.И., Поляков А.Н., Панин С.Ф. Исследование природы сейсмической активности недр в окрестностях действующих угольных шахт с интенсивным режимом добычи. В кн.: *Сборник научных трудов ВНИМИ*. СПб.; 2012. С. 41–49.
3. Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Поляков А.Н. Принципы построения систем контроля состояния горного массива на основе анализа актуальных рисков осуществления подземной добычи. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(S7):471–481.
4. Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Поляков А.Н., Бондарев А.В. Мониторинг геодинамических процессов в горном массиве при подземных, открытых и совмещенных горных работах. В кн.: Яковлев Д.В. (ред.). *Горная наука: сб. науч. тр.* СПб.: ГЕОМЕХ; 2019. С. 36–43.
5. Козырев А.А., Савченко С.Н., Панин В.И., Семенова И.Э., Рыбин В.В., Федотова Ю.В., Козырев С.А. и др. *Геомеханические процессы в геологической среде горнотехнических систем и управление геодинамическими рисками*. Апатиты: КНЦ РАН; 2019. 431 с. Режим доступа: https://rio.ksc.ru/data/documents/33_geomeh_19.pdf
6. Гуляев А.Н. Геофизические поля, тектоника и сейсмичность в центральной части Уральского региона. В кн.: *Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей: материалы Пярых научных чтений памяти Ю.П. Булашевича, г. Екатеринбург, 6–10 июля 2009 г.* Екатеринбург: Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН; 2009. С. 120–123.
7. Цирель С.В., Шабаров А.Н., Мулев С.Н. Анализ развития техногенной сейсмической активности и методы управления геодинамической ситуацией на рудниках Талнахского медно-никелевого месторождений. *Российский геофизический журнал*. 2007;(45-46).
8. Уломов В.И. (ред.). *Общее сейсмическое районирование северной Евразии ОСР-97*. М.; 1997.
9. Лутиков А.И., Донцова Г.Ю., Юнга С.Л. Сейсмологические аспекты землетрясения на Горном Алтае 27.09.2003, $M_s=7,3$ (результаты предварительного анализа). *Вестник отделения наук о Земле РАН*. 2003;(1).
10. Зыков В.С., Лазаревич Т.И. Классификация динамических явлений в угольных шахтах. *Уголь*. 2016;(11):47–53. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2016-11-47-53>
11. Петухов И.М. *Горные удары на угольных шахтах*. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: ВНИМИ; 2004. 238 с.
12. Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Поляков А.Н., Панин С.Ф. Опыт мониторинга опасных сейсмических и геодинамических процессов на Бачатском и Анжеро-Судженском геодинамических полигонах Кузбасса. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(S7):482–490.
13. Исаев Ю.С., Лебедев М.О., Михайлов В.О., Смольянинова Е.И., Тимошкина Е.П., Дмитриев П.Н., Хайретдинов С.А. Определение смещений земной поверхности методами радарной спутниковой интерферометрии: опыт применения и перспективы использования. В кн.: Лебедев М.О. (ред.) *Проектирование, строительство и эксплуатация подземных сооружений транспортного назначения: сб. ст.* М.; 2021. С. 106–117.

References

1. Yakovlev D.V., Lazarevich T.I., Tsirel' S.V. Genesis and development of natural-man-induced seismic activity in Kuzbass. *Ugol'*. 2013;(10):53–59. (In Russ.)
2. Lazarevich T.I., Polyakov A.N., Panin S.F. Investigation into the nature of underground seismic activity in the vicinity of active coal mines with intensive mining operations. In: *Collection of research papers of Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying (VNIMI)*. St. Petersburg; 2012, pp. 41–49. (In Russ.)
3. Yakovlev D.V., Lazarevich T.I., Polyakov A.N. The principles of creation of monitoring systems of the condition of the massif on the



- basis of the analysis of actual risks of implementation of underground production. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(S7):471–481. (In Russ.)
4. Yakovlev D.V., Lazarevich T.I., Polyakov A.N., Bondarev A.V. Monitoring of geodynamic processes in the rock mass during underground, surface and combined mining operations. In: Yakovlev D.V. (eds). *Mining science: collection of scientific works*. St. Petersburg: GEOMEKH; 2019, pp. 36–43. (In Russ.)
 5. Kozyrev A.A., Savchenko S.N., Panin V.I., Semenova I.E., Rybin V.V., Fedotova Yu.V., Kozyrev S.A. et al. *Geomechanical processes in geological environment of mining systems and geodynamic risk management*. Apatity: Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences; 2019. 431 p. (In Russ.) Available at: https://rio.ksc.ru/data/documents/33_geomeh_19.pdf
 6. Gulyaev A.N. Geophysical fields, tectonics and seismicity in the central part of the Ural region. In: *Geodynamics. Deep structure. The Earth's thermal field. Interpretation of geophysical fields: Proceedings of the Fifth Scientific Readings in Memory of Yu.P. Bulashevich, Ekaterinburg, July 6–10 2009*. Ekaterinburg: Bulashevich Institute of Geophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 2009, pp. 120–123. (In Russ.)
 7. Tsirel S.V., Shabarov A.N., Mulev S.N. Analysis of man-induced seismic activity development and methods to manage geodynamic situation in mines of the Talnakh copper-nickel deposits. *Rossiiskii geofizicheskii zhurnal*. 2007;(45-46). (In Russ.)
 8. Ulomov V.I. (ed.). *General seismic zoning of the Northern Eurasia OSR-97*. Moscow; 1997. (In Russ.)
 9. Lutikov A.I., Dontsova G.Yu., Yunga S.L. Seismological aspects of the earthquake in Gornyy Altai on September 27, 2003, Ms=7,3 (preliminary analysis results). *Vestnik Otdelenia nauk o Zemle RAN*. 2003;(1). (In Russ.)
 10. Zykov V.S., Lazarevich T.I. Classification of dynamic phenomena in coal mines. *Ugol'*. 2016;(11):47–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2016-11-47-53>
 11. Petukhov I.M. *Rock bursts in coal mines*. 2nd ed. St. Petersburg: Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying (VNIMI); 2004. 238 p. (In Russ.)
 12. Yakovlev D.V., Lazarevich T.I., Polyakov A.N., Panin S.F. Experience of monitoring of dangerous seismic and geodynamic processes on Bachatsky and Anzhero-Sudzhensky seismogeodynamic polygons in Kuzbass. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(S7):482–490. (In Russ.)
 13. Isaev Yu.S., Lebedev M.O., Mikhailov V.O., Smol'yaninova E.I., Timoshkina E.P., Dmitriev P.N., Khairtdinov S.A. Defining the Earth surface displacements using the radar satellite interferometry methods: practical experience and application prospects. In: Lebedev M.O. (ed.) *Designing, construction and operation of underground transport facilities: collected works*. Moscow; 2021, pp. 106–117. (In Russ.)

Информация об авторах

Яковлев Дмитрий Владимирович – доктор технических наук, профессор, научный руководитель института, ООО «Институт горной геомеханики и геофизики – Межотраслевой научный центр ГЕОМЕХ» (ООО «МНЦ ГЕОМЕХ»), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: post@geomeh.ru

Лазаревич Тамара Ивановна – кандидат технических наук, директор Сибирского филиала, ООО «Институт горной геомеханики и геофизики – Межотраслевой научный центр ГЕОМЕХ», г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: ti_lazarevich@mail.ru

Бондарев Алексей Владимирович – старший научный сотрудник, заведующий лабораторией, ООО «Институт горной геомеханики и геофизики – Межотраслевой научный центр ГЕОМЕХ» (ООО «МНЦ ГЕОМЕХ»), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: alex_bondarev78@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 05.01.2023

Поступила после рецензирования: 23.01.2023

Принята к публикации: 28.01.2023

Information about the authors

Dmitrii V. Yakovlev – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Scientific Director of the Institute, LLC “Institute of mining geomechanics and geophysics – scientific center GEOMEH”, St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: post@geomeh.ru

Tamara I. Lazarevich – Cand. Sci. (Eng.), Director of the Siberian branch, LLC “Institute of mining geomechanics and geophysics – scientific center GEOMEH”, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: ti_lazarevich@mail.ru

Aleksey V. Bondarev – Senior Researcher, Head of the Laboratory, LLC “Institute of mining geomechanics and geophysics – scientific center GEOMEH”, St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: alex_bondarev78@mail.ru

Article info

Received: 05.01.2023

Revised: 23.01.2023

Accepted: 28.01.2023