

Техногенная сейсмичность в районе Ленинского каменноугольного месторождения

С.С. Парамонов✉, Д.З. Каппушев, Т.А. Манукян, Х.Ю. Евлоев, Е.А. Барсегян

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация
✉ paramonov.ss@misis.ru

Резюме: Представлен анализ сеймотектонических условий района Ленинского каменноугольного месторождения (Кузбасс). Ленинский район территориально относится к зоне покрытия сейсмической сетью Алтае-Саянского региона. Были рассмотрены результаты исследований сейсмической активизации в районе Кузбасса с использованием локальных сейсмологических сетей. В ходе сейсмологических наблюдений на территории Кемеровской области были выделены четыре сейсмически активные зоны, опоясывающие крупнейшие промышленные мегаполисы Кузбасса, которые ответственны за 90% очагов землетрясений. По распределению эпицентров сейсмических событий район Ленинского каменноугольного месторождения относится к одной из сейсмических зон с самой активно развивающейся природно-техногенной сейсмической активностью, выделяемой по исследованиям. В исследованиях отмечается, что наведенная сейсмичность в Кузбассе доминирует над природной сейсмичностью.

Ключевые слова: сейсмическая активность, механизм землетрясений, сейсмическая опасность, сейсмическое событие, сейсмическая активизация, магнитуда, техногенная сейсмичность, безопасность

Для цитирования: Парамонов С.С., Каппушев Д.З., Манукян Т.А., Евлоев Х.Ю., Барсегян Е.А. Техногенная сейсмичность в районе Ленинского каменноугольного месторождения. *Горная промышленность*. 2022;(6):131–136. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-6-131-136>

Man-made seismicity in the area of the Leninskoye coal deposit

S.S. Paramonov✉, D.Z. Kappushev, T.A. Manukyan, Kh.Yu.Evloyev, E.A. Barseghyan

National Research Technical University "MISIS", Moscow, Russian Federation
✉ paramonov.ss@misis.ru

Abstract: The paper presents an analysis of seismotectonic conditions in the area of the Leninskoye coal deposit (Kuzbass). The territory of the Leninskiy district is belongs to the coverage zone of the Altai-Sayan regional seismic stations network. The results of research into intensification of seismic activity in the Kuzbass region using the local networks of seismic stations are considered. In the course of seismic observations in the territory of the Kemerovo region four seismically active zones been identified that encircle the largest industrial megacities of Kuzbass and that are responsible for 90% of the earthquake foci. According to the distribution of epicenters of the seismic events, the area of the Leninskoe coal deposit belongs to one of the seismic zones with the most actively developing natural and man-made seismic activity identified within the research. The research indicates that the induced seismic activity in Kuzbass prevails over the natural seismicity.

Keywords: seismic activity, earthquake mechanism, seismic hazard, seismic event, seismic activation, magnitude, man-made seismicity, safety

For citation: Paramonov S.S., Kappushev D.Z., Manukyan T.A., Evloyev Kh.Yu., Barseghyan E.A. Man-made seismicity in the area of the Leninskoye coal deposit. *Russian Mining Industry*. 2022;(6):131–136. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-6-131-136>

Введение

Проявление индуцированной ведением горных работ сейсмической активности при разработке угля подземным способом известно на многих месторождениях Индии, США, России, Китая и других угледобывающих стран [1–4]. Последовательная отработка угольных пластов влияет на перераспределение полей механических напряжений геологической среды и продуцирует сейсмические явления.

Добыча угля в Кузнецком угольном бассейне (Кузбасс) оказывает сильнейшее техногенное воздействие на земную кору и вызывает крупномасштабную индуцированную сейсмичность в этом регионе. В отношении современной геодинамической активности региона она выражается в росте новейших поднятий за счет сокращения впадин, что обусловлено общим поднятием территории [5]. Это подтверждают геоморфологические данные, результаты

повторного нивелирования, данные GPS-наблюдений, самопроизвольное газовыделение на территории ЛКМ [5].

Ленинское каменноугольное месторождение (ЛКМ) территориально принадлежит к северо-западной части Кузнецкого угольного бассейна, тяготея к Кузнецкому Алатау. Масштабная отработка угольных пластов Ленинского каменноугольного месторождения в совокупности с особенностями тектонического строения вызывает массивное антропогенное изменение полей механических напряжений в геологической среде, что сказывается на сейсмологическом режиме района ЛКМ. За долгое время эксплуатации ЛКМ было накоплено большое количество сейсмологических и геолого-тектонических данных о состоянии данного района [5–7].

Вопросы сейсмической безопасности ведения подземных разработок угольных месторождений и изменения сейсмического режима района месторождения в целом сложный и многофакторный вопрос [8]. Целью настоящего исследования является совместный сбор и анализ тектонических, а также сейсмологических данных Ленинского каменноугольного месторождения.

Анализ сейсмотектонических условий района Ленинского каменноугольного месторождения

Ленинское каменноугольное месторождение находится в северо-западной части Ленинского геолого-экономического района. В стратиграфическом отношении в районе распространены девонские, каменноугольные, пермские, триасовые, юрские, покровные, неоген-четвертичные отложения и мел-палеогеновые образования коры выветривания. Ленинское месторождение находится в пределах распространения отложений Кольчугинской серии, которая представлена Ильинской и Ерунаковской подсериями, а также Красноярской толщей и Кузнецкой надсерией. Она сложена чередованием песчаников – 33%, алевролитов – 55%, аргиллитов – 5%, углистых аргиллитов – 0,4% и углей – 6,7% [6].

В геологическом отношении ЛКМ находится в сложной геодинамической обстановке. Одна из наиболее характерных особенностей района – повсеместное проявление складчатости и четко выраженной вертикальной и латеральной тектонической зональности. Тектоническую структуру угленосных отложений составляют комплексы чередующихся синклиналильных и антиклиналильных складок, разделенные крупноамплитудными взбросо-надвигами на узкие чешуеобразные блоки, вытянутые параллельно юго-западной границе бассейна. Наряду с крупными нарушениями в угленосной толще установлено большое количество мелких (с амплитудами от единиц до нескольких десятков и реже – сотен метров) разрывов. Месторождение расположено в пределах Ленинской синклинали, которая представляет собой широкую складку с асимметричными крыльями и пологой мульдой. Углы падения пластов изменяются от 0–10° (в центральной части) до 18° на крыльях и до 30–40° на выходе пластов под наносы. Мульда синклинали полого погружается от центральной части поля на северо-запад (2–3°) и юго-восток (3–5°). Юго-западное крыло складки осложнено Ленинской антиклиналью с углами падения крыльев от 20 до 40° [7; 9–12].

В сейсмотектоническом отношении территория Кузнецкого угольного бассейна является переходной между низкоактивной в сейсмическом отношении Западно-Сибирской платформой и высокоактивной Алтае-Саянской

сейсмотектонической провинцией. Территория бассейна характеризуется развитой системой глубинных тектонических разломов северо-западного простирания с преобладанием сдвиговой составляющей и субширотного простирания с преобладанием взбросовых и надвиговых структур [1]. С периодической активизацией этих тектонических структур и разломов связаны исторические землетрясения и происходящие техногенно-наведенные события [4].

Область Ленинского каменноугольного месторождения по результатам интерпретации морфотектонических исследований [7] относится к границе между двумя неотектоническими блоками Присалаирского и Кемеровского подрайонов. Обнаженность зон новейших нарушений обычно отсутствует, поскольку они перекрыты предгорными делювиальными шлейфами в случае дифференцированных движений по ним или аллювиальными отложениями, если отсутствуют существенные вертикальные подвижки [7]. Мощность покровного комплекса составляет 20–40 м [10]. Вместе с тем высоты соседствующих неотектонических блоков, входящих в район моделирования, сопоставимы и отличаются порядка на 20–30 м по материалам [5; 7].

В отношении сейсмологических условий породные массивы Кузбасса характеризуются собственной энергонасыщенностью, о чем свидетельствует природная сейсмоактивность региона, отмеченная еще до начала разработки месторождений [1]. Согласно СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» и комплексу карт ОСР-97 территория Ленинского месторождения относится к 6-балльной зоне интенсивности сейсмических воздействий для объектов высокой ответственности (карта А), с повторяемостью 1 раз в 500 лет (10%-ная вероятность превышения расчетной интенсивности). При оценке сейсмической опасности территории юга Кузбасса были приведены данные, что максимально наблюдаемая магнитуда землетрясения в Ленинском районе составляет 5,7, максимально возможная магнитуда землетрясения, по геологическим оценкам, может составить 6 [13]. Известны сильные землетрясения с интенсивностью 7–8 баллов, произошедшие в доиндустриальное время (Кузнецкое землетрясение 1898.06.19, MS = 5,7 и 1903.03.12, MS = 6,1) [14; 15]. С тех пор в течение всего инструментального периода измерений сейсмической активности не зарегистрировано землетрясения магнитудой больше 4,5 (до 2013 г., когда произошло Бачатское землетрясение, об этом ниже) [9]. Палеосейсмогеологические исследования района дают возможность говорить о том, что массив подвергался мощному динамическому воздействию, каким могло быть древнее землетрясение [16].

Ленинский район территориально относится к зоне покрытия сейсмической сетью Алтае-Саянского региона. Рассмотрим результаты исследований сейсмической активизации в районе Кузбасса с использованием локальных сейсмологических сетей.

В работе [17] приводятся данные эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных в районе Прокопьевск-Киселевского разреза и г. Междуреченска на момент 1998–2000 гг. и около г. Осинники в ноябре-декабре 2005 г., приуроченных к ш. «Осинниковская». В ходе детальных исследований была развернута временная локальная сеть из одиннадцати сейсмологических станций [2]. За месячный период наблюдений было зарегистрировано 212 сейсмических событий, из которых 46 являлись

промышленными взрывами. Эпицентры сейсмических событий пространственно не коррелировали с положением шахтных полей. Землетрясения были сосредоточены в интервале глубин 0–4,5 км с максимальным количеством событий на глубинах 1–1,5 км при глубине ведения горных работ 200–300 м. Землетрясения соответствовали диапазону энергетического класса $K = 1 - 7,2$.

В августе 2007 – январе 2008 г. была зарегистрирована сейсмическая активизация в районе г. Польшаево, исследование которой представлено в работе [7]. За 6 мес наблюдений были проведены три серии экспериментов с количеством сейсмологических станций от 20 до 30. Были выявлены два типа сейсмической активизации: индуцированной добычей угля и активизации природного генезиса. Большинство событий природной сейсмичности находятся в диапазоне глубин 2–3 км, и пространственно не приурочены к горным выработкам. Индуцированные сейсмические события наиболее интенсивно проявляются в диапазоне глубин 700–900 м при глубине ведения горных работ 400–500 м [12; 18–20].

Отдельно нужно отметить Бачатское землетрясение с локальной магнитудой M_L 6,1 и глубиной очага ~ 4 км, произошедшее 18.06.2013 в Кузбассе немного юго-восточнее г. Белово [16]. За полтора года до этого была отмечена сейсмическая активизация этой области, исследование которой началось с сейсмического события с M_L 4,3, зарегистрированного 9 февраля 2012 г., попадающего на борт разреза [13]. За период работы временной сети из 25 сейсмических станций (2 марта – 14 мая 2012 г.) было зарегистрировано около 120 сейсмических событий (исключив предварительно промышленные взрывы) в районе Бачатского разреза, которые обладали диапазоном магнитуд 0,4–2 [14]. Помимо этого, 4 мая 2013 г. произошло новое ощутимое сейсмическое событие с локальной магнитудой M_L 3,9. После Бачатского землетрясения временная сеть из десяти сейсмологических станций, установленная в первый день после главного толчка, позволила зарегистрировать поток сейсмических событий за период 19 июня – 8 октября 2013 г. [2; 3]. Наиболее сильные афтершоки имели локальную магнитуду $M_L \sim 4$ [15]. В первые дни после главного толчка регистрировалось 30–70 [3] афтершоков ежедневно, но через полтора месяца уровень сейсмической активности значительно снизился – до единиц сейсмических событий в день. Большинство событий (~ 75%) были зарегистрированы в диапазоне глубин 3–4,5 км, и лишь небольшое количество ближе к поверхности, на глубине 0,5–2 км. Тип сейсмической активизации данного периода характеризуется как индуцированный ведением горных работ в районе [14].

В работе [14] рассматривается сейсмическая активизация на юге Кузбасса (около п. Малиновка) в 2016 г. В конце 2016 г. сейсмической сетью Алтае-Саянского региона было зарегистрировано увеличение количества сейсмических событий в районе Калтанского угольного разреза. Для исследования сейсмической активизации была развернута временная сейсмологическая сеть из пяти станций, которая работала в течение пяти месяцев (декабрь 2016 г. – апрель 2017 г.). Сейсмическая активизация связывается с горными работами (ш. Алардинская и Калтанский разрез). Было отмечено, что крупнейшие сейсмические события происходили в одной локальной зоне отвалообразования Осинниковского поля с локальными магнитудами $M_L > 2,5$. Другая часть землетрясений с локальными магнитудами $M_L < 2$ была сосредоточена на участке, соответствующем

ш. Алардинская. По своим характеристикам сейсмические явления, приуроченные к шахтным полям ш. Алардинская, отличаются от общего фона индуцированной горными работами сейсмичности около п. Малиновка, т.к. включают землетрясения с локальной магнитудой $M_L < 2$. По сути техногенная сейсмическая активизация, приуроченная к Калтанскому разрезу, является триггером для сейсмической активизации на ш. Алардинская [14]. Обнаружено, что сейсмическая активизация, связанная с открытыми горными работами, смещается к району, приуроченному к ш. Алардинская [14].

Рассмотрим более обобщенные данные о сейсмических явлениях в районе Ленинского каменноугольного месторождения. За последние 25 лет Единой геофизической службой РАН [15] в исследуемом районе (в радиусе 200 км от Ленинск-Кузнецка) зарегистрировано 18 землетрясений с магнитудой 3–5,2 (включая Бачатское землетрясение 2013 г.), табл. 1. Гипоцентры землетрясений однозначно разграничены по интервалам: 30–35 км (2 землетрясения) и 10–15 км (13 землетрясений).

В исследованиях [14; 15; 17] отмечается рост количества сейсмических событий, начиная с 1960-х годов. Энергетический класс землетрясений был небольшим ($K < 8-9$), однако с 1980 г. начинают встречаться сейсмические события 9-го энергетического класса, а количество природно-техногенных землетрясений превысило количество естественных сейсмических событий по результатам анализа их графиков повторяемости [14]. За период 1998–2016 гг. на территории Кузбасса произошло более 100 землетрясений техногенно-тектонического характера с региональной магнитудой $M_b > 3$ [17]. Таким образом, делается вывод, что природно-техногенная сейсмичность Кузбасса достигла в своем развитии новой фазы: появляются рои сейсмических событий, приуроченные к горным работам, и мощные, относительно неглубокие землетрясения.

В ходе сейсмологических наблюдений на территории Кемеровской области были выделены четыре сейсмически активные зоны, опоясывающие крупнейшие промышленные мегаполисы Кузбасса [6; 17], которые ответственны за 90% очагов землетрясений. По распределению эпицентров сейсмических событий район Ленинского каменноугольного месторождения относится к одной из сейсмических зон с самой активно развивающейся природно-техногенной сейсмической активностью, выделяемой по исследованиям [17] (рис. 1). На рис. 1 схематично вынесены основные результаты сейсмического мониторинга Кузбасса: сейсмические активизации, рассмотренные выше; сильные сейсмические события, определенные разными исследователями; сейсмически активные зоны; тектонические разломы.

В итоге для районов Кузбасса отмечается сейсмичность, индуцированная ведением горных работ, что подтверждается исследованиями с использованием временных локальных сейсмологических сетей. В исследованиях [13–16] отмечается, что наведенная сейсмичность в Кузбассе доминирует над природной сейсмичностью. Природная сейсмичность приурочена преимущественно к горному обрамлению Кузнецкой котловины, в то время как наведенная сейсмичность – к местам добычи угля, то есть к самой впадине [17]. Резюмируя:

- По разнообразным сейсмологическим данным отмечаются прирост сейсмической активности, особенно сейсмических явлений с малыми магнитудами и энергетическим классом, и отдельные сильные

Таблица 1
Землетрясения, зарегистрированные в районе г. Ленинск-Кузнецке (радиус 200 км), по данным Геофизической службы РАН

Table 1
Earthquakes registered in the area of Leninsk-Kuznetsk (200 km in radius) based on the data of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences

Дата	Широта, град	Долгота, град	Глубина, км	M_s	M_b	I_0
2022-07-05	53,80	88,09	5	–	4,3	–
2021-08-12	54,28	87,04	10	–	5,0	–
2020-10-17	54,10	86,29	10	–	4,6	–
2017-01-12	52,94	87,78	10	–	3,7	2–2,5
2016-11-24	53,17	87,26	10	–	3,7	2–2,5
2016-11-08	53,48	87,27	10	–	3,7	2–2,5
2016-11-04	53,08	87,38	10	–	3,6	2–2,5
2016-10-24	53,40	87,38	10	–	4,3	3,5–4
2016-07-03	55,19	88,05	10	–	4,3	3,5–4
2014-09-21	54,23	86,17	10	–	3,8	2,5–3
2013-06-26	54,20	85,69	10	–	3,8	2,5–3
2013-06-18	54,24	86,15	10	5,2	5,8	7–7,5
2012-01-09	53,64	87,74	10	–	3,7	2–2,5
2011-11-22	52,75	86,95	15	–	3,8	–
2007-06-22	53,76	87,39	15	3,0	–	3–3,5
2007-05-15	53,90	88,26	15	–	4,3	3–3,5
2006-08-08	53,78	87,80	15	3,1	3,7	3,5
2005-09-13	54,45	87,29	0	–	3,8	–
2000-03-14	54,68	86,31	33	3,5	3,5	2,5–3
1998-08-05	53,75	86,63	15	3,2	–	3,5–4
1995-09-14	54,51	85,97	33	4,5	–	4–5

Примечание. M_s – магнитуда по поверхностной волне; M_b – магнитуда по объемной волне; I_0 – интенсивность землетрясения
 Note. M_s – surface wave magnitude; M_b – body wave magnitude; I_0 – earthquake intensity

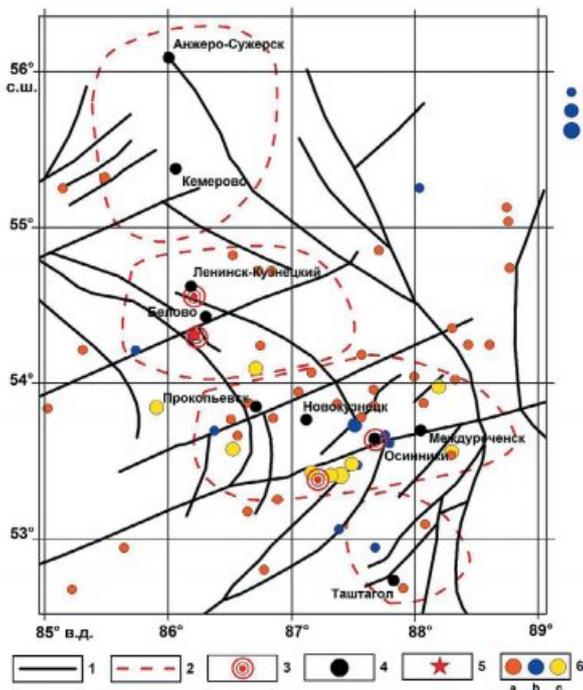


Рис. 1
Результаты сейсмического мониторинга исследуемого района с использованием материалов [13–20]:
 1 – разломы [20]; 2 – области основных сейсмически активных зон [17]; 3 – исследованные сейсмические активизации [12]; 4 – города; 5 – Бачатское землетрясение 18.06.2013; 6 – эпицентры землетрясений: а – эпицентры крупных сейсмических событий (отсутствуют данные о магнитуде) в период 2000–2009 гг., по данным [10]; б – эпицентры землетрясений магнитудой $M_b > 3$ в период 1998–2017 гг., по данным [15]; с – техногенно-тектонические землетрясения магнитудой $M_b > 4,5$ в период 1962–2016 гг., по данным [17]

Fig. 1
Results of seismic monitoring of the surveyed area using the materials in [13–20]:
 1 – faults [20]; 2 – areas of the main seismically active zones [17]; 3 – studied intensifications of the seismic activity [12]; 4 – cities; 5 – the Bachat earthquake on 18.06.2013; 6 – earthquake epicenters: a – epicenters of large-scale seismic events (no magnitude data available) during 2000–2009 according to [10], b – epicenters of earthquakes with magnitude $M_b > 3$ during 1998–2017, according to [15], c – man-made tectonic earthquakes with magnitude $M_b > 4,5$ during 1962–2016 according to [17]

землетрясения природно-техногенного характера (например, Бачатское землетрясение 18.06.2013) с относительно небольшой глубиной гипоцентров и приуроченные к местам ведения горных работ;

- Регистрируются фазы резкой сейсмической активизации недр, наблюдавшиеся около г. Осинники – г. Междуреченск, г. Польшаево, г. Белово, п. Малиновка, приуроченные к местам ведения открытых

и подземных горных работ в 2005, 2007, 2012–2013, 2016–2022 гг. Эти явления носили форму роевых (близко расположенных друг к другу) сейсмических событий низкого энергетического класса и имели малую глубину гипоцентров. Вследствие малой глубины эти события даже при небольшой мощности создали ощутимые для земной поверхности колебания в эпицентральных областях;

- Регистрируется прирост количества сильных землетрясений природно-техногенного характера по отношению к фоновой техногенной сейсмичности с региональной магнитудой $M_b > 4$ и глубиной гипоцентра 2–5 км;
- Учитывая данные о гипоцентрах землетрясений, можно предположить, что сейсмогенерирующий слой индуцированной сейсмичности расположен в диапазоне 1,5–3 км для условий рассматриваемого района.

Заключение

Сейсмичность, индуцированная ведением горных работ в районе Ленинского каменноугольного месторождения, существенно влияет на безопасность эксплуатации месторождения. Исследования показывают, что она вносит вклад в сейсмическую активность района. Данный фактор необходимо учитывать при оценке сейсмической и геодинамической опасности района.

Список литературы

1. Новиков И.С., Черкас О.В., Мамедов Г.М., Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю., Наставко В.Г. Этапы активации и тектоническая делимость Кузнецкого угольного бассейна (Южная Сибирь). *Геология и геофизика*. 2013;54(3):424–437.
2. Yakovlev D.V., Lazarevich T.I., Tsirel', S.V. Natural and induced seismic activity in Kuzbass. *Journal of Mining Science*. 2013;49(6):862–872. <https://doi.org/10.1134/S1062739149060038>
3. Попов Ю.Н. Некоторые особенности тектоники шахтных полей Северо-Восточной части Ленинского района Кузбасса. *Известия Томского политехнического института*. 1976;236:119–128. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/12111>
4. Адушкин В.В. Триггерная сейсмичность Кузбасса. В кн.: Адушкин В.В., Кочарян Г.Г. (ред.) *Триггерные эффекты в геосистемах: материалы третьего Всероссийского семинара-совещания, г. Москва, 16–19 июня 2015 г.* М.: Институт динамики геосфер РАН; 2015. С. 8–28.
5. Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Новиков С.С., Мараханов А.В., Ларьков А.С., Акбиев Р.Т., Могушков И.М. Палеогеологические и тектонические исследования сеймоопасных территорий юга Кузбасса. *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2010;(6):35–45.
6. Лаврентьев А.И. О неотектонических структурах и землетрясениях района Новокузнецка. *Геология и геофизика*. 1971;12(9):117–122. Режим доступа: <http://www.ipgg.sbras.ru/ru/science/publications/materials-arzybeyskiy-terreyn-fragment-mezoproterozoyskoy-2003-022144>
7. Лазаревич Т.И., Мазикин В.П., Малый И.А., Ковалев В.А., Поляков А.Н., Харкевич А.С., Шабаров А.Н. *Геодинамическое районирование Южного Кузбасса*. Кемерово: Науч.-исслед. ин-т горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевой науч. центр ВНИМИ; 2006. 180 с.
8. Kobylkin S.S., Pugach A.S. Rock burst forecasting technique and selecting a safe coal face advance direction. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(2):126–136. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-126-136>
9. Kolikov K.S., Manevich A.I., Mazina I.E. Stress–strain analysis in coal and rock mass under traditional mining with full caving and in technology with backfilling. *Eurasian Mining*. 2018;(2):15–17. <https://doi.org/10.17580/em.2018.02.04>
10. Manevich A.I., Kolikov K.S., Egorova E.A. Geocological aspects of stress-strain state modeling results of Leninsky coal deposit (Kuzbass, Russia). *Russian Journal of Earth Sciences*. 2019;(19):ES4002. <https://doi.org/10.2205/2019ES000663>
11. Morozov V.N., Tatarinov V.N., Manevich A.I., Losev I.V. Analogy method to determine the stress-strain state of structural-tectonic blocks of the Earth's crust for the disposal of radioactive waste. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2019;(19):ES6001. <https://doi.org/10.2205/2019ES000687>
12. Морозов В.Н., Маневич А.И., Татаринев В.Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния и геодинамическое районирование в сейсмически активных районах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;(8):123–132. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-8-0-123-132>
13. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Leskova E.V., Shevkunova E.V., Podkorytova V.G. Mining-induced seismicity at open pit mines in Kuzbass (Bachatsky earthquake on June 18, 2013). *Journal of Mining Science*. 2014;50(2):224–228. <https://doi.org/10.1134/S1062739114020033>
14. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Лескова Е.В. Техногенная сейсмическая активизация на юге Кузбасса (п. Малиновка). *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2017;2(3):66–71. Режим доступа: <http://www.ipgg.sbras.ru/ru/science/publications/materials-tekhnogennaya-seysmicheskaya-aktivizatsiya-na-yuge-2017-048791>
15. Emanov A.A., Emanov A.F., Fateev A.V., Leskova E.V. Simultaneous impact of open-pit and underground mining on the subsurface and induced seismicity. *Seismic Instruments*. 2018;54(4):479–487. <https://doi.org/10.3103/S0747923918040035>
16. Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V., Fateev A.V., Semin A.Yu. Seismic activation at coal mining in Kuzbass. *Physical Mesomechanics*. 2009;12(1):37–43.
17. Adushkin V.V. Technogenic tectonic seismicity in Kuzbass. *Russian Geology and Geophysics*. 2018;59(5):571–583. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.04.010>
18. Акматов Д.Ж., Николайчук В.В., Тихонов А.А., Шевчук Р.В. Радарная интерферометрия как дополнение к классическим методам наблюдений за движением земной поверхности. *Горная промышленность*. 2020;(1):144–147. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-144-147>
19. Шевчук Р.В., Маневич А.И., Акматов Д.Ж., Урманов Д.И., Шакиров А.И. Современные методы, методики и технические средства мониторинга движений земной коры. *Горная промышленность*. 2022;(5):99–104. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-99-104>
20. Kaftan V.I., Tatarinov V.N., Shevchuk R.V. Long-term changes in crustal movements and deformations before and during the 2016 Kumamoto earthquake sequence. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022;13(1):0570. <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-1-0570>

References

1. Novikov I.S., Cherkas O.V., Mamedov G.M., Simonov Y., Simonova T., Nastavko V.G. Activity stages and tectonic division in the Kuznetsk basin, southern Siberia. *Russian Geology and Geophysics*. 2013;54(3):324–334. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.02.007>
2. Yakovlev D.V., Lazarevich T.I., Tsirel', S.V. Natural and induced seismic activity in Kuzbass. *Journal of Mining Science*. 2013;49(6):862–872. <https://doi.org/10.1134/S1062739149060038>
3. Popov Yu.N. Some Peculiarities of Tectonics of Mine Fields in the North-Eastern Part of Leninsky District of Kuzbass. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 1976;236:119–128. (In Russ.) Available at: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/12111>

4. Adushkin V.V. Trigger seismicity of Kuzbass. In: Adushkin V.V., Kocharyan G.G. (eds) Trigger effects in geosystems: *Proceedings of 3rd All-Russian seminar-meeting, Moscow, June 16–19, 2015*. Moscow: Institute of Dynamics of Geospheres RAS; 2015, pp. 8–28. (In Russ.)
5. Ovsyuchenko A.N., Rogozhin Ye.A., Novikov S.S., Marakhanov A.V., Larkov A.S., Akbiyev R.T., Mogushkov I.M. Paleogeologic and tectonic studies of earthquake areas in the South Kuzbass. *Earthquake Engineering. Constructions Safety*. 2010;(6):35–45. (In Russ.)
6. Lavrentiev A.I. On neotectonic structures and earthquakes in Novokuznetsk region. *Russian Geology and Geophysics*. 1971;12(9):117–122. (In Russ.) Available at: <http://www.ipgg.sbras.ru/ru/science/publications/materials-arzybeyskiy-terreyn-fragment-mezoproterozoyskoy-2003-022144>
7. Lazarevich T.I., Mazikin V.P., Malyi I.A., Kovalev V.A., Polyakov A.N., Kharkevich A.S., Shabarov A.N. *Geodynamic zoning of Southern Kuzbass*. Kemerovo: Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying – interbranch scientific center VNII; 2006. 180 p. (In Russ.)
8. Kobylkin S.S., Pugach A.S. Rock burst forecasting technique and selecting a safe coal face advance direction. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(2):126–136. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-126-136>
9. Kolikov K.S., Manevich A.I., Mazina I.E. Stress–strain analysis in coal and rock mass under traditional mining with full caving and in technology with backfilling. *Eurasian Mining*. 2018;(2):15–17. <https://doi.org/10.17580/em.2018.02.04>
10. Manevich A.I., Kolikov K.S., Egorova E.A. Geocological aspects of stress-strain state modeling results of Leninsky coal deposit (Kuzbass, Russia). *Russian Journal of Earth Sciences*. 2019;(19):ES4002. <https://doi.org/10.2205/2019ES000663>
11. Morozov V.N., Tatarinov V.N., Manevich A.I., Losev I.V. Analogy method to determine the stress-strain state of structural-tectonic blocks of the Earth’s crust for the disposal of radioactive waste. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2019;(19):ES6001. <https://doi.org/10.2205/2019ES000687>
12. Morozov V.N., Manevich A.I., Tatarinov V.N. Stress state modeling and geodynamic zoning in seismically active regions. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018;(8):123–132. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-8-0-123-132>
13. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Leskova E.V., Shevkunova E.V., Podkorytova V.G. Mining-induced seismicity at open pit mines in Kuzbass (Bachatsky earthquake on June 18, 2013). *Journal of Mining Science*. 2014;50(2):224–228. <https://doi.org/10.1134/S1062739114020033>
14. Emanov A.A., Emanov A.F., Fateev A.V., Leskova E.V. Induced seismicity on the South Kuzbass, Malinovka village. *Interexpo GEO-Siberia*. 2017;2(3):66–71. (In Russ.) Available at: <http://www.ipgg.sbras.ru/ru/science/publications/materials-tehnogennaya-seysmicheskaya-aktivizatsiya-na-yuge-2017-048791>
15. Emanov A.A., Emanov A.F., Fateev A.V., Leskova E.V. Simultaneous impact of open-pit and underground mining on the subsurface and induced seismicity. *Seismic Instruments*. 2018;54(4):479–487. <https://doi.org/10.3103/S0747923918040035>
16. Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V., Fateev A.V., Semin A.Yu. Seismic activation at coil mining in Kuzbass. *Physical Mesomechanics*. 2009;12(1):37–43.
17. Adushkin V.V. Technogenic tectonic seismicity in Kuzbass. *Russian Geology and Geophysics*. 2018;59(5):571–583. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.04.010>
18. Akmatov D.Zh., Nikolaichuk V.V., Tikhonov A.A., Shevchuk R.V. Radar interferometry as supplement to classical methods to observe earth’s surface displacement. *Russian Mining Industry*. 2020;(1):144–147. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-144-147>
19. Shevchuk R.V., Manevich A.I., Akmatov D. Zh., Urmanov D.I., Shakirov A.I. Modern methods, techniques and technical means of monitoring movements of the Earth crust. *Russian Mining Industry*. 2022;(5):99–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-99-104>
20. Kaftan V.I., Tatarinov V.N., Shevchuk R.V. Long-term changes in crustal movements and deformations before and during the 2016 Kumamoto earthquake sequence. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022;13(1):0570. <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-1-0570>

Информация об авторах

Парамонов Сергей Сергеевич – старший преподаватель кафедры геологии и маркшейдерского дела, Горный институт, НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: paramonov.ss@misis.ru

Каппушев Динислам Замирович – аспирант кафедры геотехнологий освоения недр, Горный институт, НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: kappushev@misis.ru

Манукян Тигран Арменович – аспирант кафедры геотехнологий освоения недр, Горный институт, НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: tigman96@gmail.com

Евлоев Хусейн Юсупович – аспирант кафедры геотехнологий освоения недр, Горный институт, НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: khusein.evloev@gmail.com

Барсегян Евгине Агасиевна – аспирант кафедры безопасности и экологии горного производства, Горный институт, НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: barsegian.ea@misis.ru

Information about the authors

Sergey S. Paramonov – Senior Lecturer, Department of Geology and Surveying, Mining Institute, National Research Technical University “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: paramonov.ss@misis.ru

Dinislam Z. Kappushev – Postgraduate Student, Geotechnologies of Subsoil Development Department, Mining Institute, National Research Technical University “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: kappushev@misis.ru

Tigran A. Manukyan – Postgraduate Student, Geotechnologies of Subsoil Development Department, Mining Institute, National Research Technical University “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: tigman96@gmail.com

Khusein Yu. Yevloyev – Postgraduate Student, Geotechnologies of Subsoil Development Department, Mining Institute, National Research Technical University “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: khusein.evloev@gmail.com

Evgine A. Barsegyan – Postgraduate Student, Mining Safety and Ecology Department, Mining Institute, National Research Technical University “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: barsegian.ea@misis.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 23.10.2022

Поступила после рецензирования: 15.11.2022

Принята к публикации: 17.11.2022

Article info

Received: 23.10.2022

Revised: 15.11.2022

Accepted: 17.11.2022