

СТАТЬИ

УДК 502.35

DOI 10.17513/use.38394

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЮЖНОГО ЗАУРАЛЬЯ
В РАЙОНАХ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ****Галеева Э.Р., Нестеренко М.Ю., Белов В.С., Соломатин Н.В.***ФГБУН Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения
Российской академии наук, Оренбург, e-mail: n_mu@mail.ru*

Данное исследование проводилось с целью выявления наиболее сейсмоактивных участков Южного Зауралья и проведения геоэкологического районирования Ясненского района по степени сейсмической опасности и возможных рисков. В основу анализа сейсмической активности Южного Зауралья положены данные инструментальных наблюдений Казахстанского национального центра данных и данных сейсмологической сети Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук с 2006 по 2024 г. Исследуемая территория асейсмична, но при этом регистрируются сильные землетрясения, превышающие порог сейсмической безопасности по картам общего сейсмического районирования 2015 г. по шкале Медведева – Шпонхойера – Карника в Ясненском районе. Южное Зауралье богато твердыми полезными ископаемыми. При их добыче применяются буровзрывные работы, которые приводят к увеличению сейсмичности из-за импульсных нагрузок на геологическую среду. Были выявлены наиболее сейсмоактивные участки Южного Зауралья и проведено геоэкологическое районирование Ясненского района Оренбургской области по степени сейсмической опасности. Выявлено, что в зону повышенной сейсмической активности, превышающей прогнозную по карте общего сейсмического районирования (2015), попадают жилые, общественно-деловые, производственные зоны, а также зоны сельскохозяйственного использования и лесного фонда, которые подвержены геоэкологическому риску. Для обеспечения геоэкологической безопасности Южного Зауралья необходимо создание сети сейсмических станций для полного и точного анализа влияния буровзрывных работ на геодинамичность территории.

Ключевые слова: геодинамика, техногенно-тектоническая сейсмичность, техногенные землетрясения, геоэкологическое районирование, Южное Зауралье

**GEOECOLOGICAL ZONING OF THE SOUTHERN URALS
IN SUBSURFACE USE AREAS****Galeeva E.R., Nesterenko M.Yu., Belov V.S., Solomatina N.V.***Orenburg Federal Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
(department of Geoecology), Orenburg, e-mail: n_mu@mail.ru*

This study was conducted in order to identify the most seismically active areas of the Southern Trans-Urals and conduct geoecological zoning of the Yasnensky district according to the degree of seismic hazard and possible risks. The analysis of seismic activity in the Southern Trans-Urals is based on instrumental observations from the Kazakhstan National Data Center and data from the Seismological Network of the Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences from 2006 to 2024. The studied area is aseismic, but at the same time, strong earthquakes exceeding the seismic safety threshold are recorded according to the maps of the general seismic zoning of 2015 on the Medvedev–Sponheuer–Karnik scale in the Yasnensky district. The Southern Trans-Urals is rich in solid minerals. Drilling and blasting operations are used in their extraction, which lead to an increase in seismicity due to impulse loads on the geological environment. The most seismically active areas of the Southern Trans-Urals were identified and geoecological zoning of the Yasnensky district of the Orenburg region was carried out according to the degree of seismic hazard. It has been revealed that residential, public-business, industrial zones, as well as areas of agricultural use and forestry, which are subject to geoecological risk, fall into the zone of increased seismic activity exceeding the forecast according to the map of general seismic zoning (2015). To ensure the geo-ecological safety of the Southern Trans-Urals, it is necessary to create a network of seismic stations for a complete and accurate analysis of the impact of drilling and blasting operations on the geodynamics of the territory.

Keywords: geodynamics, technogenic-tectonic seismicity, man-made earthquakes, geoecological zoning, Southern Trans-Urals

Введение

Восточная часть Оренбургской области (Южное Зауралье) – одна из ведущих областей страны по добыче твердых полезных ископаемых (ТПИ) с возросшей сейсмической активностью территории [1, 2]. На площади выявлены проявления минерализации, относящиеся к семейству колчеданных формаций (медь, цинк, свинец); известны проявления и пункты минерализации других

цветных металлов (никеля, кобальта, молибдена, вольфрама, алюминия, висмута), черных металлов, редкоземельных элементов иттриевой и цериевой группы. Благородные металлы представлены мелкими золоторудными объектами различного генезиса.

Важнейшими месторождениями Южного Зауралья являются:

– по запасам меди и цинка – Гайское, Джусинское, Весеннее, Осеннее (колчедан-

ные объекты с сопутствующими свинцом и золотом);

- по запасам асбеста – Кiemбаевское;
- по запасам золота – Южно-Кировское, Белозерское.

Месторождения отрабатываются карьерами (Весеннее, Осеннее, Кiemбаевское, Южно-Кировское, Белозерское) и шахтами (Гайское, Джусинское).

На всех предприятиях по добыче ТПИ применяются буровзрывные работы (БВР) для наиболее эффективного и быстрого извлечения горных пород.

Разработка месторождений ТПИ нарушает природное напряженно-деформированное равновесие в массиве пород [3–5]. Происходит постоянное перераспределение гравитационно-тектонических напряжений в массиве горных пород, что в свою очередь усиливает сейсмичность [6–8]. Горные работы влияют на сейсмическую активность не только самой зоны ведения работ, но и более обширных областей [9, 10].

При активном ведении взрывных работ происходит перераспределение напряжений в массиве таким образом, что часть массива разгружается вследствие взрывов и формирования трещиноватости, а в некоторых частях массива могут происходить сильные сейсмические события [11]. Местоположение таких участков характеризует отклик массива на взрывное воздействие и зависит от поля напряжений, которое формируют различные природно-техногенные факторы (тектонические напряжения, геологическое строение массива, технические и технологические характеристики БВР и др.) [12].

Цель исследования – выявить наиболее сейсмоактивные участки Южного Зауралья и провести геоэкологическое районирование Ясненского района по степени сейсмической опасности и возможных рисков.

Материалы и методы исследования

Место проведения исследования – восточная часть Оренбургской области (Южное Зауралье). В основу анализа сейсмической активности Южного Зауралья положены данные инструментальных наблюдений Казахстанского национального центра данных (КНЦД) и данных сейсмологической сети Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ОФИЦ УрО РАН) с 2006 по 2024 г. [13, 14]. Для уточнения сейсмичности в с.Еленовка Ясненского района была установлена сейсмостанция

«ELN-Еленовка». Все зарегистрированные сейсмические события собраны в электронный каталог. Работа с пространственными данными осуществлялась в программах ArcGIS и Mapinfo. Статистический анализ экспериментальных данных был проведен с применением эмпирической модели Шебалина – Блейка.

Результаты исследования и их обсуждение

Возросшая техногенная нагрузка на сейсмичность в Южном Зауралье при проведении БВР при добыче ТПИ отмечена в работах [1, 2, 13].

Сейсмические события в Южном Зауралье фиксируются на территории неравномерно. Схема распределения зарегистрированных сейсмических событий, полученных КНЦД и ОФИЦ УрО РАН за 2006–2024 гг. представлена на рис. 1. Преимущественно события тяготеют к промышленным площадкам по добыче ТПИ [1, 2, 13].

Карта плотности сейсмических событий на 1 км² за 2006–2004 гг. построена на основании зарегистрированных сейсмических событий при помощи программы ArcGIS (инструмент «плотность точек») и показывает участки сгущения событий. Сгущение происходит у Кiemбаевского карьера, Осеннего, Весеннего, а также Джусинского и Гайского горно-обогатительного комбината. Самыми сейсмоактивными областями по плотности сейсмических событий являются Ясненский и Домбаровский районы, а также Гайский район, южная часть Орского района, северная часть Новоорского района и центральная и западная часть Адамовского района (рис. 2).

В Ясненском районе располагается Кiemбаевский рудник, активно ведущий промышленную деятельность по добыче полезных ископаемых, соответственно, с проведением сопутствующих БВР. Область, попадающая под самую сейсмоактивную, приходится на окружность радиусом от 10 до 25 км. Также здесь располагаются Осенний и Весенний рудники на территории Домбаровского района.

Наиболее точной характеристикой сейсмических воздействий является сейсмическая интенсивность, поскольку она напрямую связана с повреждаемостью строительных объектов. Необходимо отметить, что действующая шкала ГОСТ Р 57546-2017 [15] однозначно связывает баллы шкалы сейсмической интенсивности со степенями повреждений различных типов зданий.

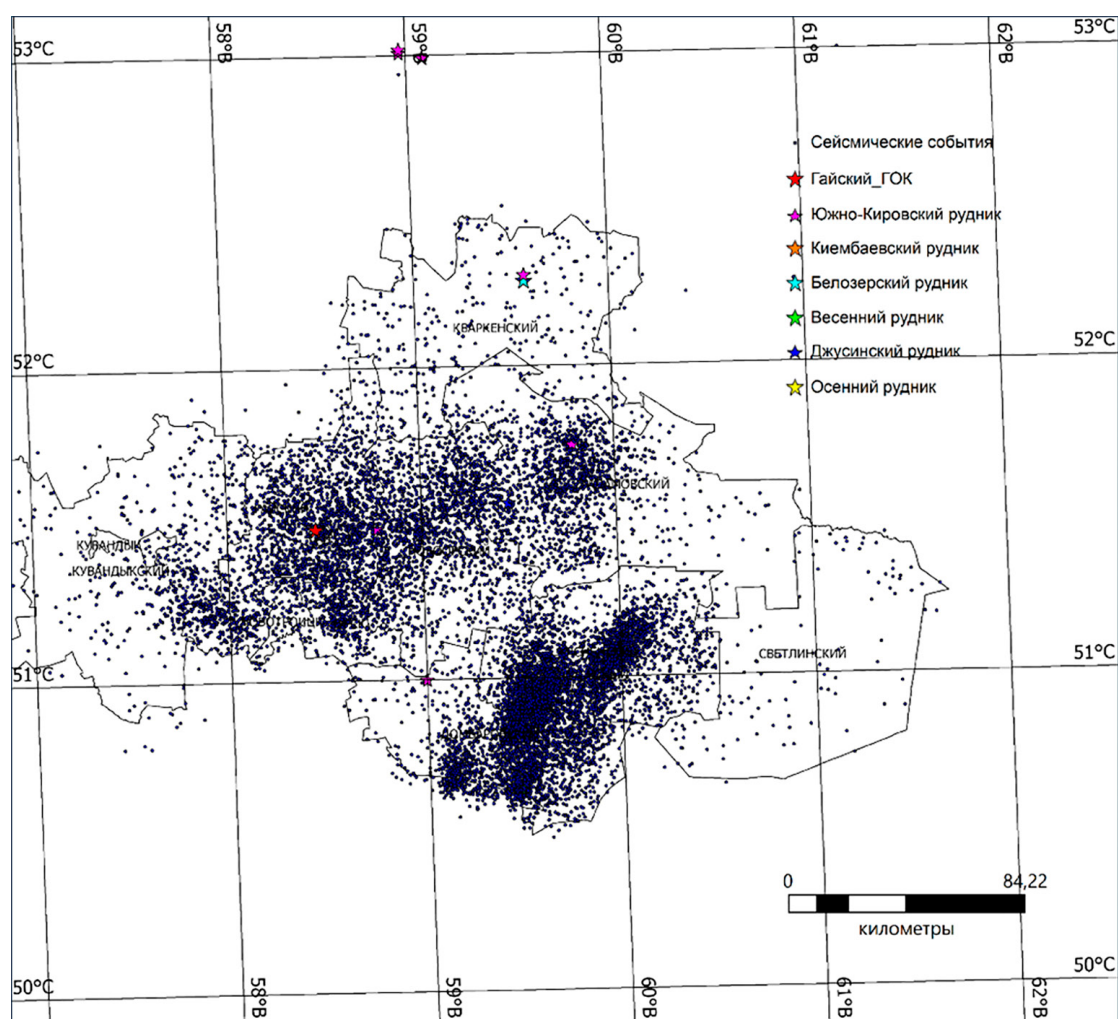


Рис. 1. Схема распределения эпицентров сейсмических событий, произошедших с 2006 по 2024 г. в Южном Зауралье
 Источник: составлено авторами на основании собственных данных, полученных в ходе данного исследования

В то же время повреждаемость объектов определяется не только параметрами сейсмических или динамических воздействий, но и геологическим или геоэкологическим состоянием исследуемой территории.

Для оценки геоэкологического риска целесообразно использовать макросейсмическую интенсивность в баллах [16].

Для определения сейсмической интенсивности в баллах (I) на территории Ясненского городского округа была применена эмпирическая модель Шебалина – Блейка, адаптированная для природно-техногенных событий в Уральском регионе [17]:

$$I = 1,5M - 3,5 \lg(r) + 3,$$

где M – магниту́да землетрясения; $r = 5$ км – гипоцентрально́е расстояние (расстояние

от очага взрыва до высотной застройки г. Ясный).

По результатам проведенных расчетов в таблице приводится итоговое количество землетрясений, совпавших со взрывами по регламентному времени и вызвавших землетрясения на территории г. Ясный.

Южное Зауралье является асейсмичным районом. Однако по результатам расчетов интенсивности по модели Шебалина – Блейка для уральского региона по шкале Медведева – Шпонхойера – Карника (MSK-64) выявлено 7 землетрясений интенсивностью 6 баллов на территории Ясненского района. Это является превышением порога сейсмической безопасности по картам общего сейсмического районирования 2015 г. (ОСР-2015) на 1 балл.

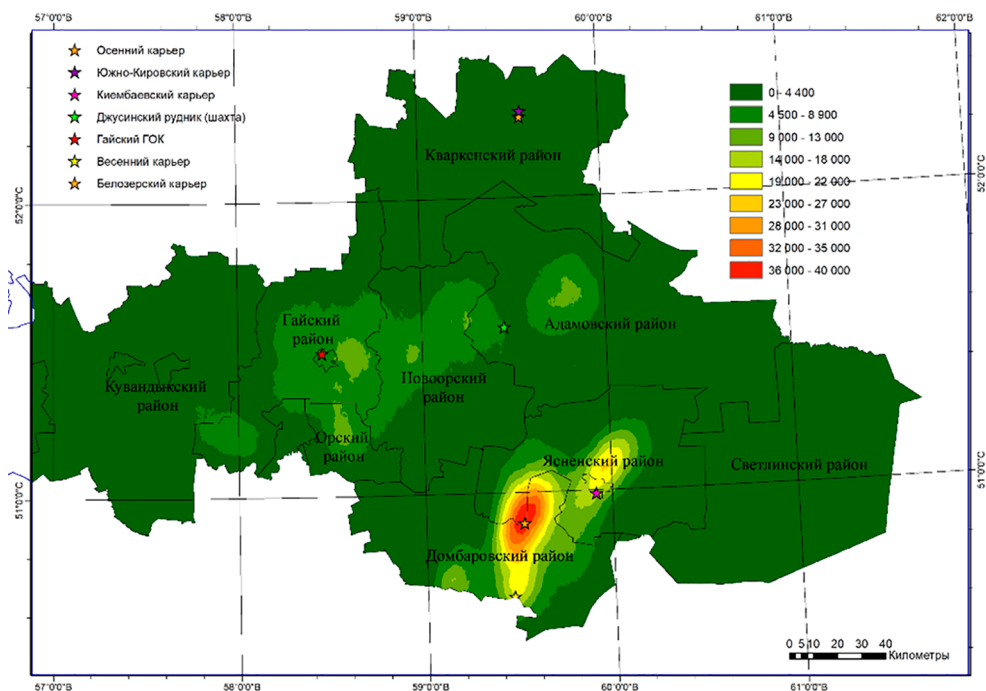


Рис. 2. Карта плотности сейсмических событий на 1 км² за период с 2006 по 2024 г.
 Источник: составлено авторами на основании собственных данных, полученных в ходе данного исследования

Итоговое количество землетрясений, совпавших со взрывами по регламентному времени и вызвавших землетрясения на территории г. Ясный

Год	Сейсмособытий за год	Из них по интенсивности:					
		1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов	6 баллов
2006	58	—	—	9	25	21	3
2007	43	—	1	8	20	12	2
2008	70	—	—	12	52	6	—
2009	69	—	—	11	52	6	—
2010	63	—	—	5	39	19	—
2011	40	—	—	1	26	12	1
2012	33	—	—	2	25	6	—
2013	40	—	—	5	23	12	—
2014	52	—	—	4	33	14	1
2015	52	—	—	5	42	5	—
2016	33	—	—	1	32	—	—
2017	62	—	—	9	50	3	—
2018	34	—	—	6	24	4	—
2019	42	—	—	4	37	1	—
2020	65	—	—	4	59	2	—
2021	48	—	—	6	36	6	—
2022	37	—	—	2	26	9	—
2023	32	—	—	—	16	16	—
Всего	873	—	1	94	617	154	7

Источник: составлено авторами на основании собственных данных, полученных в ходе данного исследования.



Рис. 3. Максимальная величина интенсивности землетрясений от технологических взрывов
 Источник: составлено авторами на основании собственных данных, полученных в ходе данного исследования

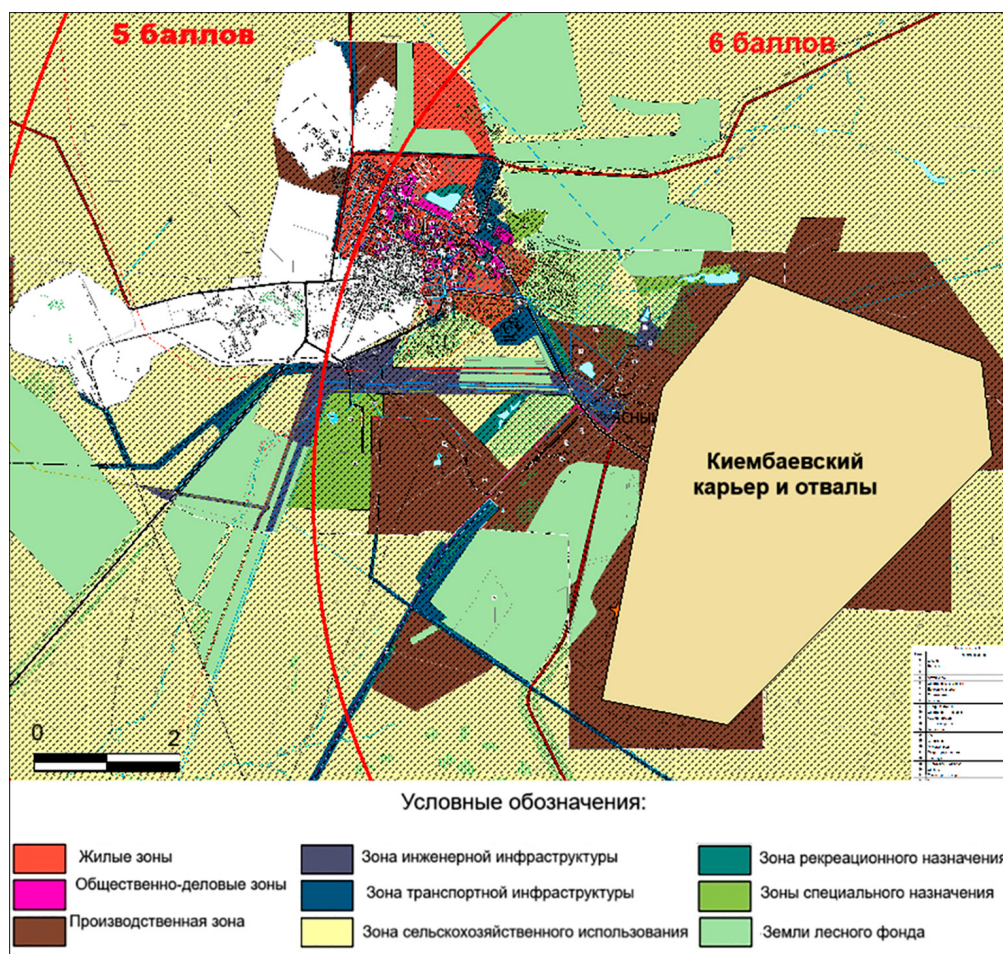


Рис. 4. Схема 6-балльной сейсмичности на территории г. НВГ Ясный
 Источник: составлено авторами на основании собственных данных, полученных в ходе данного исследования

Даже небольшие подвижки земной коры могут привести к катастрофическим экологическим последствиям и человеческим жертвам, поскольку большинство гражданских и промышленных объектов в Оренбургской области рассчитаны при строительстве лишь на 5-балльные сотрясения.

Чтобы наглядно представить сейсмическое влияние БВР на исследуемой территории, были проведены расчеты максимальной интенсивности землетрясений по шкале MSK-64 в зависимости от гипотенузного расстояния. Изосейсты максимальной интенсивности землетрясений представлены на рис. 3. Из представленной схемы видно, что под влиянием проведения БВР на Кiemбаевском карьере попадают г. Ясный, п. Комаровский с общей численностью населения около 12 тыс.

Согласно положению о территориальном планировании Ясненского района в зону 6-балльной сейсмической активности попадают жилые, общественно-деловые, производственные зоны, а также зоны сельскохозяйственного использования и лесного фонда (рис. 4).

Невозможно точно сказать, где именно в будущем будут происходить сильные землетрясения и какое влияние окажет это воздействие на геозоологическое благополучие Южного Зауралья. Важно наиболее точно спрогнозировать те территории, которые подвержены наибольшему риску проявления сейсмической активности.

Для полного изучения уровня техногенной сейсмической активности на территории Ясненского городского округа, необходимо создание опорной сейсмологической сети, состоящей из четырех-пяти стационарных сейсмических станций. Сеть позволит с высокой точностью фиксировать сейсмические события с минимальными погрешностями. Высокая плотность населения и опасных производственных объектов повышает риск техногенных катастроф, связанных с сейсмоактивностью [18].

Заключение

Увеличение сейсмичности Южного Зауралья – важная геозоологическая проблема.

Полученные результаты исследования показывают, что текущая сейсмичность территории не соответствует установленной картами ОСР-2015. В зону 6-балльной сейсмической активности в Ясненском районе попадают жилые, общественно-деловые, производственные зоны, а также зоны сельскохозяйственного использования и лесного

фонда. Сведения о сейсмической интенсивности используются при проектировании и строительстве зданий и сооружений. Важно использовать только достоверные данные о сейсмичности территории для безопасности объектов постройки и жизни населения.

Для обеспечения геозоологической безопасности Южного Зауралья необходимо создание сети сейсмических станций для полного и точного анализа влияния БВР на геодинамичность территории.

Список литературы

1. Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М. Природно-техногенная геодинамика и сейсмическая активность восточной части Оренбургской области // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. № 4. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-4/Articles/MYN-2019-4.pdf> (дата обращения: 11.04.2025). EDN: FLNTYK.
2. Нестеренко М.Ю., Белов В.С. Сейсмическая активность в районах добычи полезных ископаемых в Восточном Оренбуржье // Эколого-экономическая безопасность горно-промышленных регионов: сборник научных статей. Екатеринбург: Институт экономики Уральского отделения РАН, 2022. С. 133–142. EDN: XRMVCR.
3. Мажитов А.М. Оценка степени техногенного преобразования участка недр при разработке месторождения с обрусением руды и вмещающих пород в восходящем порядке // Горная промышленность. 2021. № 4. С. 113–118. URL: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/16748-otsenka-stepeni-tekhnogennogo-preobrazovaniya-uchastka-ne-dri-razrabotke-mestorozhdeniya-s-obrusheniem-rudy-i-vmeshchayushchikh-porod-v-voskhodyashchem-poryadke> (дата обращения: 23.04.2025). DOI: 10.30686/1609-9192-2021-4-113-118.
4. Козырев А.А., Онуприенко В.С., Жукова С.А., Журавлева О.Г. Развитие инструментального и методического обеспечения контроля наведенной сейсмичности на Хибинских апатит-нефелиновых месторождениях // Горный журнал. 2020. № 9. С. 19–26. DOI: 10.17580/gzh.2020.09.02.
5. Жукова С.А., Журавлева О.Г., Онуприенко В.С., Стрешнев А.А. Особенности сейсмического режима массива горных пород при отработке удароопасных месторождений Хибинского массива // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 7. С. 5–17. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_7_0_5.
6. Kozzyrev A.A., Semenova I.E., Zhukova S.A., Zhuravleva O.G. Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation // Russian Mining Industry. 2022. № 6. P. 95–102. URL: <https://mining-media.ru/en/articles/original-paper/17712-factors-of-seismic-behavior-change-and-localization-of-hazardous-zones-under-a-large-scale-mining-induced-impact> (дата обращения: 06.05.2025). DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-95-102.
7. Гриб Г.В., Гриб Н.Н. Проявление техногенной сейсмичности в Южной Якутии // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 1 (3). С. 636–640. URL: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2014/2014_1_636_640.pdf. (дата обращения: 06.05.2025). EDN: SXGOHV.
8. Цирель С.В. Закономерности развития техногенной сейсмической активности при ведении горных работ // Записки Горного института. 2010. С. 58–62. URL: https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/6580?setLocale=ru_RU (дата обращения: 06.04.2025).
9. Яковлев Д.В., Цирель С.В., Мулев С.Н. Закономерности развития и методика оперативной оценки техногенной сейсмической активности на горных предприятиях и в горнодобывающих регионах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 2. С. 34–47. EDN: VWHYNN.

10. Беседина А.Н., Кочарян Г.Г. Новый подход к снижению риска крупных техногенных землетрясений, основанный на результатах микросейсмического мониторинга // Горная промышленность. 2023. С. 28–34. URL: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/18016-novyj-podkhod-k-snizheniyu-riska-krupnykh-tekhnogennykh-zemletryasenij-osnovannyj-na-rezultatakh-mikrosejsmicheskogo-monitoringa> (дата обращения: 06.05.2025). DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-28-34.
11. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Фидарова М.И., Шманатов Г.В. Геоэкологические аспекты формирования интенсивности землетрясения на основе инструментальных данных // Геология и геофизика Юга России. 2024. № 2. С. 45–60. URL: <https://geosouth.ru/article/view/961/764> (дата обращения: 06.04.2025). DOI: 10.46698/VNC.2024.27.90.004.
12. Жукова С.А., Журавлева О.Г., Онуприенко В.С., Стрешнев А.А. Изменение потока сейсмической энергии при переходе на глубокие горизонты (месторождение Апатитовый Цирк, Хибинский массив) // Горная промышленность. 2023. № 4. С. 110–116. URL: https://mining-media.ru/images/2023/04_2023/110-116.pdf (дата обращения: 11.04.2025). DOI: 10.30686/1609-9192-2023-4-110-116.
13. Белов В.С., Нестеренко М.Ю., Галеева Э.Р., Капустина О.А. Техногенно-тектоническая сейсмическая активность восточного Оренбуржья // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2024. № 7–1. URL: https://giab-online.ru/files/Data/2024/7/7-1_2024_93-104.pdf (дата обращения: 20.04.2025). DOI: 10.25018/0236_1493_2024_71_0_93.
14. Галеева Э.Р., Нестеренко М.Ю., Белов В.С. Статистические данные о сейсмических событиях на территории восточной части Оренбургской области // Двадцать четвертая Уральская молодежная научная школа по геофизике: сборник научных материалов научной школы. 2023. С. 43–46. EDN: GIODQZ.
15. ГОСТ Р 57546-2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. М.: Стандартинформ, 2017. 32 с.
16. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Фидарова М.И., Шманатов Г.В. Инструментальная мера сейсмической интенсивности как основа метода сейсмического микрорайонирования // Вестник Владикавказского научного центра. 2024. Т. 24. № 4. С. 29–41. DOI: 10.46698/VNC.2024.92.28.001. EDN: MMQEUD.
17. Дягилев Р.А. Макросейсмика техногенных землетрясений Урала // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 3. С. 292–304. EDN: YJUCGX.
18. Нестеренко М.Ю. Развитие сети сейсмических станций в Оренбургской области // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2024. № 1. DOI: 10.24411/2304-9081-2024-11005. EDN: NECGKA.