



НАВЕДЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ В КУЗБАССЕ И ГОРНОЙ ШОРИИ

А. А. Еманов^{1,2}, А. Ф. Еманов¹, А. В. Фатеев^{1,2}, Е. В. Шевкунова¹, В. Г. Подкорытова¹

¹*Алтае-Саянский филиал исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”,
E-mail: alex@gs.nsc.ru, emanov@gs.nsc.ru, fateev@gs.nsc.ru, elenash@gs.nsc.ru, podk@gs.nsc.ru,
пр. ак. Коптюга 3, г. Новосибирск 630090, Россия*

²*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
пр. ак. Коптюга, 3, г. Новосибирск 630090, Россия*

По результатам мониторинга сейсмичности в Кузбассе установлено, что наиболее сильные сейсмические активизации недр в районе угольных выработок протекают как кратковременные активизации длительностью один–два месяца. Следующие подобные активизации происходят чаще на других объектах. Рассмотрена наведенная сейсмичность около железнорудных шахт. Обнаружен эффект частичной синхронизации развития сейсмичности на рудниках “Казский”, “Шерегешский” и “Таштагольский”, отстоящих друг от друга на удаленностях в сотни километров. На угольных разрезах и шахтах такой синхронизации не наблюдается.

Сейсмология, наведенная сейсмичность, Кузбасс, Горная Шория, рудники, шахты

INDUCED SEISMICITY IN KUZBASS AND MOUNTAIN SHORIYA

A. A. Emanov^{1,2}, A. F. Emanov¹, A. V. Fateev^{1,2}, E. V. Shevkunova¹, and V. G. Podkorytova¹

¹*Altay-Sayan Branch of the United Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
E-mail: alex@gs.nsc.ru, emanov@gs.nsc.ru, fateev@gs.nsc.ru, elenash@gs.nsc.ru, podk@gs.nsc.ru,
pr. ak. Koptyuga 3, Novosibirsk 630090, Russia*

²*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
pr. ak. Koptyuga 3, Novosibirsk 630090, Russia*

According to the results of seismicity monitoring in Kuzbass, it is determined that the strongest seismic activations of the subsoil in the area of coal workings occur as short-term activations lasting one to two months. Similar activations occur more frequently at other objects. Induced seismicity in Mountain Shoriya is considered. The effect of partial synchronization of seismicity development was discovered at Kazsky, Sheregeshsky, and Tashtagolsky, mines located hundreds kilometers apart. No such synchronization is observed at open-pit and underground coal mines.

Seismology, induced seismicity, Kuzbass, Mountain Shoriya, underground mines, open-pit mines

В XXI в. увеличение объема добычи угля и железной руды в Кемеровской области сопровождается ростом сейсмичности [1, 2]. С целью более детального изучения сейсмичности Кузбасса и контроля сейсмического воздействия промышленных взрывов в регионе развернута сеть из семнадцати стационарных сейсмических станций [3] и в ряде случаев сеть дополнялась временными станциями. Благодаря конфигурации сейсмической сети на территории Кемеровской области нижний порог представительности для энергетического класса составляет $K_p = 5$, магнитуды $M_L = 1.5$. Ощутимые землетрясения в Кузбассе известны и до начала крупномасштабной добычи полезных ископаемых [4]. Природная сейсмичность в данном регионе локализуется в горном обрамлении впадин, сами впадины асейсмичны, поэтому в Кузбассе большая часть сети, расположенная во впадине около угольных разрезов, способствует более точному контролю техногенной сейсмичности. В предыдущих исследованиях доказано отсутствие однозначной связи наведенной сейсмичности с разломами [5].

Задачей в данной работе является оценка возникновения и развития фаз активизаций наведенной сейсмичности в Кузбассе и Горной Шории, исключая самую крупную активизацию за последнее столетие, связанную с Бачатским землетрясением 18.06.2013 г. с $M_L = 6.1$. Этот сейсмический процесс детально описан в работах [6–9].

Эволюция наведенной сейсмичности в Кузбассе. С 2014 по 2020 г. идет плавное увеличение количества взрывов в Кемеровской области от 5868 в 2014 г. до 9314 в 2019 г. Изменение числа взрывов и землетрясений после Бачатского землетрясения 2013 г. показано на рис. 1.



Рис. 1. Количество взрывов и землетрясений в Кузбассе и Горной Шории с 2014 по 2020 гг. (каждая точка — количество взрывов за месяц)

За пятилетний период отмечено несколько сейсмических активизаций в Кемеровской области: первая (март 2017 г.), вторая (май 2018 г.) и третья (сентябре 2018 г.) приурочены к Калтанскому угольному разрезу и шахте “Алардинская”; четвертая (июль–август 2019 г.) — к Горной Шории (Каз, Шерегеш). Сейсмические активизации — кратковременные и доминирующие над общим фоном сейсмичности. Так как сейсмический режим претерпевает постоянные изменения, ведется ежеквартальный мониторинг (рис. 2).

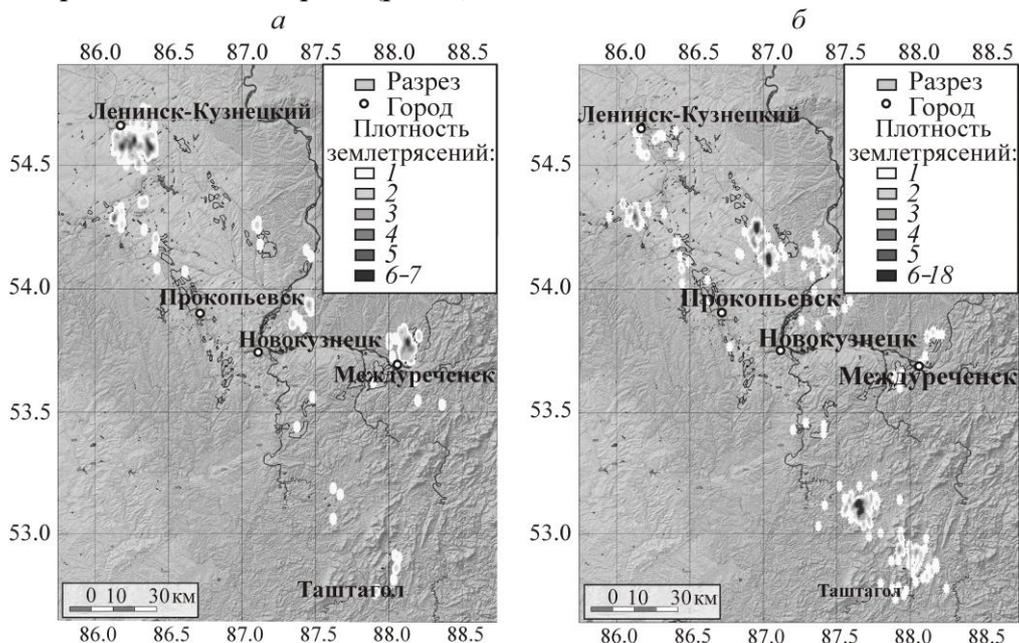


Рис. 2. Карты плотности землетрясений в Кузбассе за I (а) и III (б) кварталы 2019 г. (плотность каждой точки — количество землетрясений в круге радиусом 3 км)

Распределение плотности землетрясений в I квартале 2019 г. (рис. 2а) демонстрирует наибольшую активность около г. Полысаево и в районе шахты Распадская. В III квартале (рис. 2б) повышенной плотностью событий отмечены район Горной Шории (шахта “Казская”), район разрезов у поселков Большая и Малая Талда, Октябрьский. Изменчивость наведенной сейсмической активности наблюдается и в последующее время.

Техногенная сейсмичность является доминирующей по сравнению с природной, представленной в виде отдельных событий, в основном в горных районах Кемеровской области. В последние годы повысилась сейсмическая активность в местах расположения железорудных шахт “Казская”, “Шерегешская” и “Таштагольская”.

Развитие во времени сейсмического процесса в районе шахт представлено на рис. 3. Сейсмическая активность около шахты “Таштагольская” до 2001 г. была более выражена с пиком активизации в 1988 г. (Таштагольское землетрясение 05.02.1988 г., [10]). С 2001 по 2011 гг. землетрясения практически отсутствовали. С 2013 г. происходит нарастающее усиление сейсмичности до $M_L = 3$.

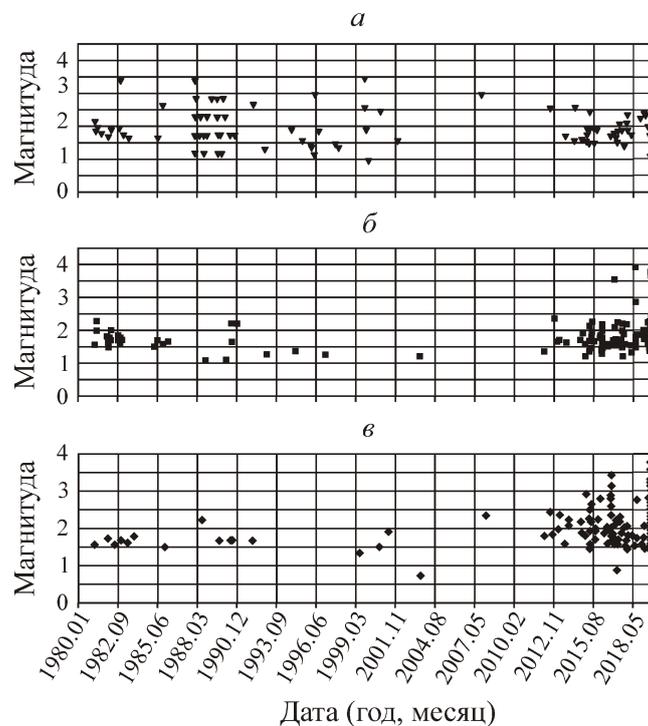


Рис. 3. Развитие во времени сейсмичности около железорудных шахт Горной Шории с 1980 по 2020 г.: а — шахта “Таштагольская”; б — шахта “Шерегешская”; в — шахта “Казская”

В районе шахт “Казская” и “Шерегешская” проявления более слабой сейсмичности наблюдались в прошлом. С 2012 г. начинается сейсмический процесс, характеризующийся событиями с магнитудами, близкими к четырем. Около шахты “Шерегешская” на фоне роста числа землетрясений возникают кратковременные активизации с большим количеством землетрясений и увеличением магнитуды максимального события при каждой последующей пульсации активности.

ВЫВОДЫ

Показано, что развитие процесса наведенной сейсмичности характерно как в Кузнецкой впадине вблизи угледобывающих предприятий, так и в Горной Шории около железорудных шахт. Нестационарность процесса наведенной сейсмичности во времени и пространстве требует постоянного контроля над регионом с целью предупреждения о местах с наибольшей сейсмической активностью.

Установлено, что активизации с повышенной энергией сейсмических событий протекают как кратковременный процесс (один – два месяца). Сейсмически активными могут быть и районы под выработками (подземными или открытыми), и отвалы горных масс. Крупные активизации в последнее десятилетие происходили и исследовались в районе разреза “Бачатский”, в районе разреза “Калтанский” с активизированной шахтой “Алардинская” и в районе шахт около г. Полысаево.

В Горной Шории установлен факт сейсмической активизации районов шахт “Шерегешская”, “Казская” и “Таштагольская”. Нарастание сейсмичности, наблюдаемое с 2012 г., протекает с некоторой степенью синхронности для всех трех шахт, что позволяет говорить о наличии меняющегося во времени природного регионального процесса, сочетающегося с техногенным воздействием на земную кору. Такое сочетание приводит к усилению сейсмичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Adushkin V. V. and Turuntaev S. B.** Technogenic seismicity – induced and trigger, Moscow, IDG RAS, 2015, 364 pp. [Адушкин В. В., Турунтаев С. Б. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная. — М.: ИДГ РАН, 2015. — 364 с.]
2. **Yakovlev D. V., Lazarevich T. I., and Tsirel' S. V.** Natural and induced seismic activity in Kuzbass, Journal of Mining Science, 2013, vol. 49, no. 6, pp. 862–872. [Яковлев Д. В., Лазаревич Т. И., Цирель С. В. Природно-техногенная сейсмоактивность Кузбасса // ФТПРПИ. — 2013. — № 6. — С. 20–34.]
3. **Emanov A. F., Emanov A. A., Fateev A. V., Leskova E. V., Korabelschikov D. G., and Durachenko A. V.** Kuzbass induced seismicity monitoring system and trigger effects in the development of the seismic process, Trigger effects in geosystems, Materials of the III All-Russian seminar-meeting, Moscow, Publishing house GEOS 2015, pp. 190–199. (in Russia) [Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Лескова Е. В., Корабельщиков Д. Г., Дураченко А. В. Система мониторинга наведенной сейсмичности Кузбасса и триггерные эффекты в развитии сейсмического процесса // Триггерные эффекты в геосистемах: материалы III Всерос. семинара-совещания. — М.: Изд-во ГЕОС, 2015. — С. 190–199.]
4. **Lavrentiev A. I.** About neotectonic structures and earthquakes in the Novokuznetsk region, Russian Geology and Geophysics, 1971, vol. 12, no. 9, pp. 117–122. [Лаврентьев А.И. О неотектонических структурах и землетрясениях района Новокузнецка // Геология и геофизика. — 1971. — Т. 12. — № 9. — С. 117–122.]
5. **Novikov I. S., Cherkas O. V., Mamedov G. M., Simonov Yu. G., Simonova T. Yu., and Nastavko V. G.** Activity stages and tectonic division in the Kuznetsk Basin (Southern Siberia), Russian Geology and Geophysics, 2013, vol. 54, no. 3, pp. 324–334. [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. — Т. 54. — № 3. — С. 424–437.]
6. **Emanov A. F., Emanov A. A., Fateev A. V., Leskova E. V., Shevkunova E. V., and Podkorytova V. G.** Mining-induced seismicity at open pit mines in Kuzbass (Bachatsky earthquake on June 18, 2013), Journal of Mining Science, 2014, vol. 50, no. 2, pp. 224–228. [Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Лескова Е. В., Шевкунова Е. В., Подкорытова В. Г. Техногенная сейсмичность разрезов Кузбасса (Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г.) // ФТПРПИ. — 2014. — № 2. — С. 224–228.]
7. **Yakovlev D. V., Lazarevich T. I., Polyakov A. N., and Panin S. F.** Experience of monitoring of dangerous seismic and geodynamic processes on Bachatsky and Anzhero-Sudzhensky seismogeodynamic polygons in Kuzbass, Mining information and Analytical Bulletin, 2015, no. S7, pp. 482–490. [Яковлев Д. В., Лазаревич Т. И., Поляков А. Н., Панин С. Ф. Опыт мониторинга опасных сейсмических и геодинамических процессов на Бачатском и Анжеро-Судженском сейсмогеодинамических полигонах Кузбасса // ГИАБ. — 2015. — № S7. — С. 482–490.]

8. **Batugin A. S.** Bachat technogenic earthquake as the reaction of the critically stressed state of the site of the Earth crust, *Mining information and analytical bulletin*, 2018, no. S49, pp. 487–495. [**Батугин А. С.** Бачатское техногенное землетрясение как разрядка предельно напряженного состояния участка земной коры // *ГИАБ*. — 2018. — № S49. — С. 487–495.]
9. **Kocharyan G. G., Budkov A. M., Kishkina S. B., and Ivanchenko G. N.** On the genesis of the 2013 Bachat earthquake, *Geodynamics and Tectonophysics*, 2019, vol. 10, no. 3, pp. 741–759. [**Кочарян Г. Г., Будков А. М., Кишкина С. Б., Иванченко Г. Н.** О генезисе Бачатского землетрясения 2013 года // *Геодинамика и тектонофизика*. — 2019. — Т. 10. — № 3. — С. 741–759.]
10. **Dergachev A. A. and Filina A. G.** Detailed seismological observations in the epicentral zone of the Tashtagol earthquake 02.05.1988, *Research on the creation of the scientific basis for the prediction of earthquakes in Siberia*, 1990, issue 4, Irkutsk, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, pp. 3–42 (in Russia). [**Дергачев А. А., Филина А. Г.** Детальные сейсмологические наблюдения в эпицентральной зоне Таштагольского землетрясения 05.02.1988 г. // *Исследования по созданию научных основ прогноза землетрясений в Сибири*. — Иркутск: ИЗК СО РАН, 1990. — Вып. 4. — С. 37–42.]