



**ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВИЗАЦИЯ
В РАЙОНЕ ГОРЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА**

А. Ф. Еманов¹, А. А. Еманов^{1,2}, А. В. Фатеев^{1,2}, Е. В. Шевкунова¹, Е. А. Гладышев¹

¹*Алтай-Саянский филиал исследовательского центра “Единая геофизическая служба” РАН,
E-mail: emanov@gs.nsc.ru, alex@gs.nsc.ru, fateev@gs.nsc.ru, elenash@gs.nsc.ru, gladyshev@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*

Представлены результаты исследования техногенной сейсмичности, возникшей в районе добычи угля открытым способом на территории Новосибирской области. Интенсивность разработки Горловского угольного месторождения существенно выросла в последнее десятилетие, соответственно формируется сейсмическая активизация недр Горловской впадины в ответ на техногенное воздействие. Землетрясения с магнитудой 4.5, ощутимые в г. Новосибирске и его пригородах, фиксируются в районе месторождения, начиная с 2019 г.

Техногенная сейсмичность, сейсмический режим, напряженное состояние, Горловская впадина, Кольванский разрез, сейсмическая опасность

TECHNOGENIC SEISMIC ACTIVATION IN GORLOVSKY COAL BASIN AREA

A. F. Emanov¹, A. A. Emanov^{1,2}, A. V. Fateev^{1,2}, E. V. Shevkunova¹, and E. A. Gladyshev¹

¹*Altay-Sayan Branch of the United Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia;*

²*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: emanov@gs.nsc.ru, alex@gs.nsc.ru, fateev@gs.nsc.ru, elenash@gs.nsc.ru, gladyshev@gs.nsc.ru;
pr. ac. Koptuyga 3, Novosibirsk 630090, Russia*

The results of studying technogenic seismicity that arose in the area of open pit coal mining in the Novosibirsk region are presented. The mining intensity at the Gorlovskoye coal deposit increased significantly in the last decade and seismic activation of the subsoil of the Gorlovskaya depression is formed in response to the technogenic effect. Earthquakes with a magnitude of 4.5 experienced in Novosibirsk and its suburbs have been recorded in coal deposit area since 2019.

Technogenic seismicity, seismic condition, stress state, Gorlovskaya depression, Kolyvan open pit mine, seismic hazard

Ощутимые землетрясения, случающиеся в районе крупных населенных пунктов и предприятий повышенной ответственности, требуют внимательного изучения своего генезиса и создаваемой сейсмической опасности. К югу от г. Новосибирска расположены как природные сейсмоактивные зоны, так и потенциальные источники техногенной сейсмичности, связанные с добычей угля открытым способом [1]. В данной работе анализируется сейсмический режим техногенной сейсмической активизации в Горловском угольном бассейне.

Сейсмичность юго-востока Новосибирской области. Для оценки естественных источников сейсмической опасности около г. Новосибирска необходимо исследование геологии и тектоники района. В соответствии с картой тектонического районирования юго-востока Новосибирской области [2] Горловская впадина расположена между Салаирским кряжем и Томь-Кольванской складчатой зоной. Сильным землетрясением в этом районе было Бердское зем-

летрясение в 1882 г. [3] (рис. 1). Непосредственно в районе Горловской впадины до 2010 г. наблюдались единичные землетрясения с магнитудами M_L не более 3.5. Землетрясения бóльших энергий начали происходить в данном районе с 2017 г. (рис. 1). Глубина залегания гипоцентров землетрясений не превышала 15 км, более 90 % очагов фиксировались на глубинах менее 8 км.

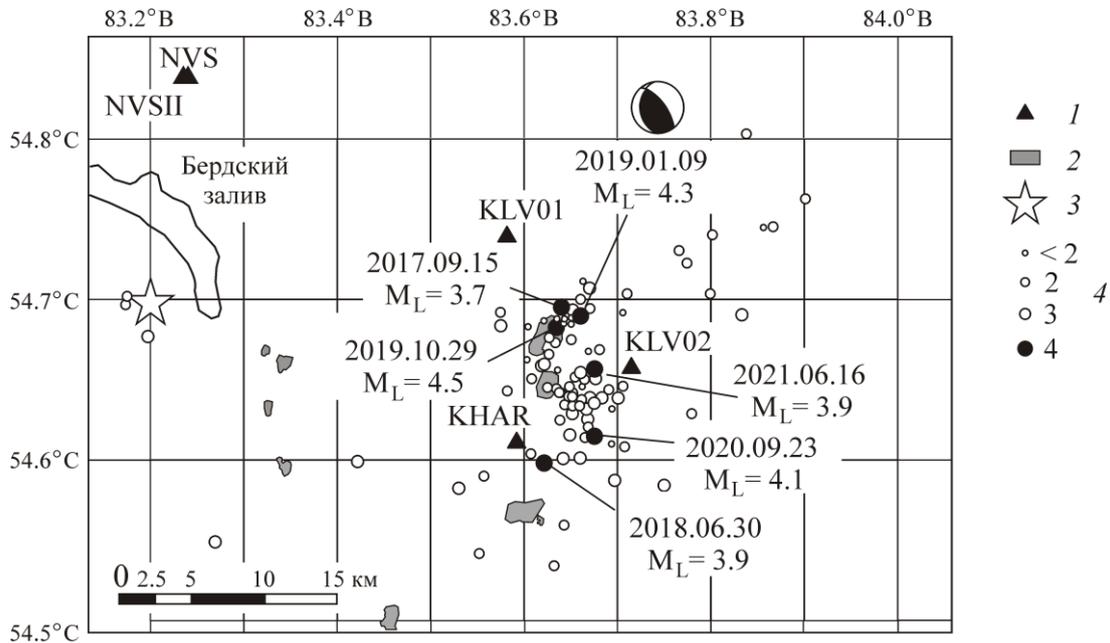


Рис. 1. Эпицентры землетрясений в районе Горловской впадины: 1 — сейсмостанции; 2 — карьеры и разрезы; 3 — эпицентр Бердского землетрясения 16.03.1882 г., $M = 5.7$; 4 — эпицентры современных землетрясений, M_L

На рис. 1 обозначены стационарные (NVS, NVSII, KHAR) и временные сейсмические станции, расположенные в районе добычи угля открытым способом для мониторинга сейсмического режима. Временные станции Елбаши (KLV01) и Усть-Чем (KLV02) работают с сентября 2017 г. Они передают информацию в режиме реального времени, дополняя данные, полученные со стационарных станций сети Алтае-Саянского региона.

Колыванское землетрясение 9 января 2019 г. с магнитудой $M_L = 4.3$., произошедшее менее чем в 50 км от г. Новосибирска, с координатами эпицентра 54.691 с.ш, 83.658 в.д. ощущалось населением [4]. Проведенное макросейсмическое обследование показало, что наибольшая интенсивность сотрясений (5 баллов) наблюдалась в п. Харино, находящемся на удалении 10 км к югу от эпицентра и на Колыванском разрезе. В других окрестных населенных пунктах на расстояниях до 20 км регистрировались землетрясения интенсивностью от 2 до 5 баллов, при этом в расположенных к северо-западу от очага п. Елбаши (5 км) и д. Калиновка (12 км) — 3 и 0 баллов соответственно. Очевидно, значительные отклонения наблюдаемой интенсивности от макросейсмического уравнения обусловлены малой глубиной очага в сочетании со сложной геологической структурой очаговой области [1, 2].

На рис. 2 приведены z-компоненты велосиметров сейсмостанций на разных удалениях. По вертикали показаны код сейсмостанции и удаление от эпицентра в км, по горизонтали — время от расчетного вступления продольной волны в секундах.

Расчитанный механизм очага представляет собой взброс с минимальной сдвиговой составляющей (рис. 1). Такой механизм характерен для техногенных землетрясений, наблюдаемых при добыче угля в Кузбассе [5]. Очевидно, процесс сейсмической активизации для этих регионов является схожим с поправкой на различия в физических свойствах пород. Колыванское

землетрясение по совокупности таких критериев как высокий уровень выделившейся энергии; малая глубина и пространственная приуроченность к району добычи угля открытым способом; триггерный характер в виде воздействия внешних техногенных источников (перемещение больших масс горной породы и вызванные этим изменения в напряженном состоянии недр); характерный для землетрясений, связанных с угольными разрезами, механизм — взброс, может быть отнесено к разряду техногенно-тектонических [6].

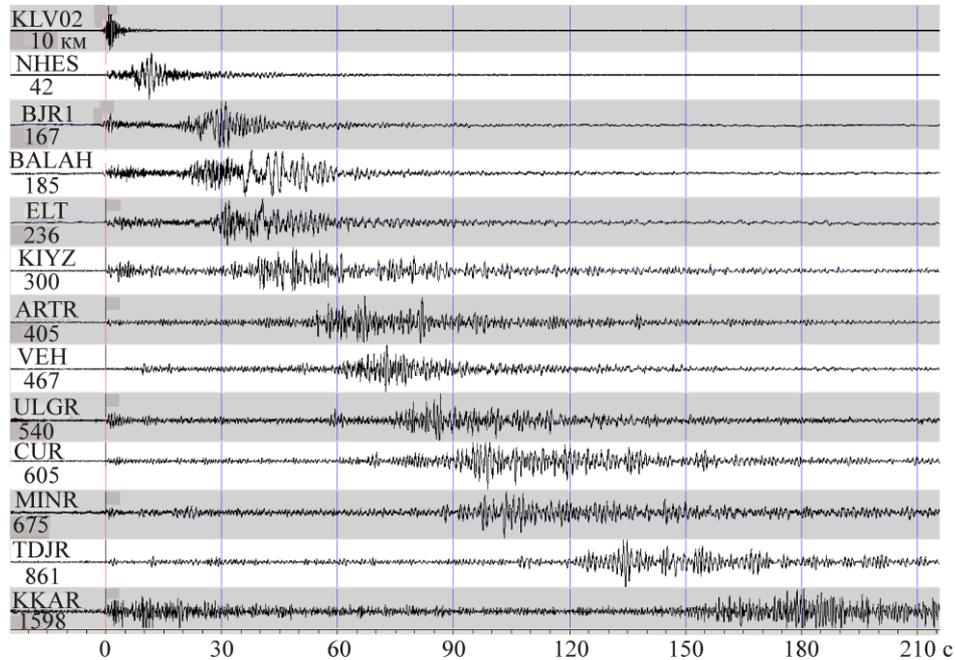


Рис. 2. Сейсмограммы Кольванского землетрясения

Сейсмический режим техногенной активизации. Развитие сейсмического процесса, приуроченного к угледобывающим разрезам Горловской впадины, показано на рис. 3. Начиная с 2017 г. наблюдается усиление сейсмической активности на уровне максимальных магнитуд регистрируемых землетрясений. Максимальное землетрясение произошло 29 октября 2019 г. и имело локальную магнитуду $M_L = 4.53$. Следует отметить, что, начиная с 2017 г. в данном районе землетрясения с M_L от 3.5 до 4.5 происходят с приблизительно равным интервалом от полугода до года (рис. 3). Отличительной особенностью этого сейсмического процесса является нехватка землетрясений малых энергий — для соблюдения закона Гутенберга–Рихтера их явно недостаточно. Обращает на себя внимание также интенсификация процесса на уровне магнитуд $M_L = 1 - 3.5$, начиная с 2019 г.

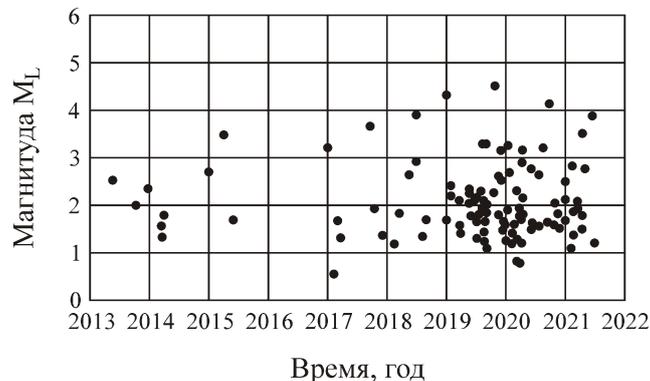


Рис. 3. Диаграмма сейсмического процесса в районе Горловской угольной впадины за период 2013–2021 гг.

ВЫВОДЫ

Техногенная сейсмичность формируется как результат изменения природного напряженного состояния геосреды при антропогенном воздействии на нее. Результаты исследований показывают, что уровень техногенной сейсмичности в Горловском угольном бассейне в последнее десятилетие существенно вырос.

В районе Горловской угольной впадины с интервалом в полгода–год, начиная с 2017 г., фиксируется по одному землетрясению с магнитудой с M_L порядка 4. Эти землетрясения ощутимы населением, но как правило не способны оказывать разрушительное воздействие на здания и сооружения. При этом сильнейшее из техногенных землетрясений Кузбасса — Бачатское с $M_L = 6.1$ — привело к разрушениям. Учитывая, что масштабы добычи угля в районе Колыванского разреза сопоставимы с таковыми на Бачатском разрезе, развитие сейсмического процесса в Горловском угольном бассейне до магнитуд порядка 6 исключить нельзя. Усиление процесса воздействия на напряженное состояние, когда нагрузки на вмещающую среду, обусловленные техногенным воздействием, не успевают перераспределяться в массиве горных пород, способно вывести техногенную сейсмичность на уровень более высоких значений магнитуд, что создаст реальную опасность для зданий и сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **The coal base of Russia.** Coal basins and deposits of Western Siberia (Kuznetsky, Gorlovsky, West Siberian basins; deposits of the Altai Territory and the Altai Republic), Moscow, Geoinformcenter, 2003, vol. II, 604 pp. [Угольная база России. Том II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского Края и Республики Алтай). — М.: Геоинформцентр. — 2003. — Т. II. — 604 с.]
2. **Information resource VSEGEI:** GIS Atlas “The bowels of Russia”. URL: <https://vsegei.ru/ru/info/gisatlas>. [Информационный ресурс ВСЕГЕИ: ГИС-Атлас “Недра России”. — URL: <https://vsegei.ru/ru/info/gisatlas/>]
3. **Zhalkovskii N. D. and Moiseenko F. S.** Earthquakes in Western Siberia, Nature, 1966, no. 3, pp. 82–86. [Жалковский Н. Д., Моисеенко Ф. С. Землетрясения в Западной Сибири // Природа. — 1966. — № 3. — С. 82–86.]
4. **Emanov A. F., Emanov A. A., Pavlenko O. V., Fateev A. V., Kuprish O. V., and Podkorytova V. G.** Kolyvan earthquake of 09.01.2019 with $M_L = 4.3$ and features of induced seismicity in the conditions of the Gorlovsky coal basin, Questions of engineering seismology, 2019, vol. 46, no. 4, pp. 29–45. [Еманов А. Ф., Еманов А. А., Павленко О. В., Фатеев А. В., Куприш О. В., Подкорытова В. Г. Колыванское землетрясение 09.01.2019 г. с $M_L = 4.3$ и особенности наведенной сейсмичности в условиях Горловского угольного бассейна // Вопросы инженерной сейсмологии. — 2019. — Т. 46. — № 4. — С. 29–45.]
5. **Emanov A. F., Emanov A. A., and Fateev A. V.** Bachtatskoye technogenic earthquake on June 18, 2013 with $M_L = 6.1$, $I_0 = 7$ (Kuzbass), Russian Seismological Journal, 2020, vol. 2, no. 1, pp. 48–61. [Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В. Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с $M_L = 6.1$, $I_0 = 7$ (Кузбасс) // Российский сейсмологический журнал. — 2020. — Т. 2. — № 1. — С. 48–61.]
6. **Adushkin V. V. and Turuntaev S. B.** Technogenic seismicity – induced and trigger, Moscow, Institute of Geosphere Dynamics RAS, 2015, 364 pp. [Адушкин В. В., Турунтаев С. Б. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная. — М.: ИДГ РАН, 2015. — 364 с.]