

*Е. А. Гладышев<sup>1\*</sup>, А. Ф. Еманов<sup>1</sup>, А. А. Еманов<sup>1,2</sup>, А. В. Фатеев<sup>1,2</sup>*

## **Природная и техногенная сейсмичность Новосибирской области**

<sup>1</sup> Алтай-Саянский филиал исследовательского центра «Единая геофизическая служба» РАН,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: gladyshev@gs.sbras.ru

**Аннотация.** Наблюдения за сейсмичностью районов добычи угля на территории Новосибирской области позволили зафиксировать корреляцию сейсмической активности с интенсивностью разработки угольного бассейна. Уровень добычи Горловского угольного месторождения в последние годы значительно возрос, в ответ на что наблюдается сейсмическая активизация недр Горловской впадины.

**Ключевые слова:** землетрясение, сейсмический режим, Горловская впадина, техногенная сейсмичность

*Е. А. Gladyshev<sup>1\*</sup>, А. F. Emanov<sup>1</sup>, А. А. Emanov<sup>1,2</sup>, А. V. Fateev<sup>1,2</sup>*

## **Natural and technogenic seismicity in the Novosibirsk region**

<sup>1</sup> Altay-Sayan Branch of the United Geophysical Survey RAS, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk,  
Russian Federation

\* e-mail: gladyshev@gs.sbras.ru

**Annotation.** Observations of seismicity in coal mining areas in the Novosibirsk region made it possible to record a correlation of seismic activity with the intensity of coal basin development. The level of production of the Gorlovka coal deposit has increased significantly in recent years, in response to which seismic activation of the subsoil of the Gorlovka depression has been observed.

**Keywords:** earthquake, seismic regime, Gorlovka depression, technogenic seismicity

Сейсмическая активность, возникающая в районах объектов повышенной опасности и крупных населенных пунктов, требует к себе повышенного внимания. На юго-востоке Новосибирской области находится Горловская впадина, которая, будучи зажатой между Салаирским кряжем и Колывань-Томской складчатой зоной, характеризуется высокой напряженностью тектонических деформаций. Примером крупного землетрясения является Бердское ( $M = 5,7$ ) в 1882 г. (рис. 1). Сейсмичность в районе Горловской впадины представлена редкими землетрясениями с магнитудами, не превышающими  $M_L = 3,5$ . Подавляющее большинство событий регистрировалось на глубине до 8 км. С 2017 года отмечается увеличение энергий землетрясений, происходящих в данном районе.

9 января 2019 г. в 50 км от г. Новосибирск произошло Колыванское землетрясение  $M_L = 4,3$  (рис. 2). Механизм очага этого события представлен как взброс

с минимальной сдвиговой составляющей (рис. 1), что характерно для техногенных землетрясений, приуроченных к угольным разрезам Кузбасса [1]. Такие характеристики как малая глубина, наличие некомпенсированного напряжения в недрах (перемещение больших масс горной породы), взбросовый механизм очага, высокий уровень выделившейся энергии и территориальная приуроченность к местам добычи угля открытым способом, позволяют отнести Колыванское землетрясение к разряду техногенно-тектонических [2].

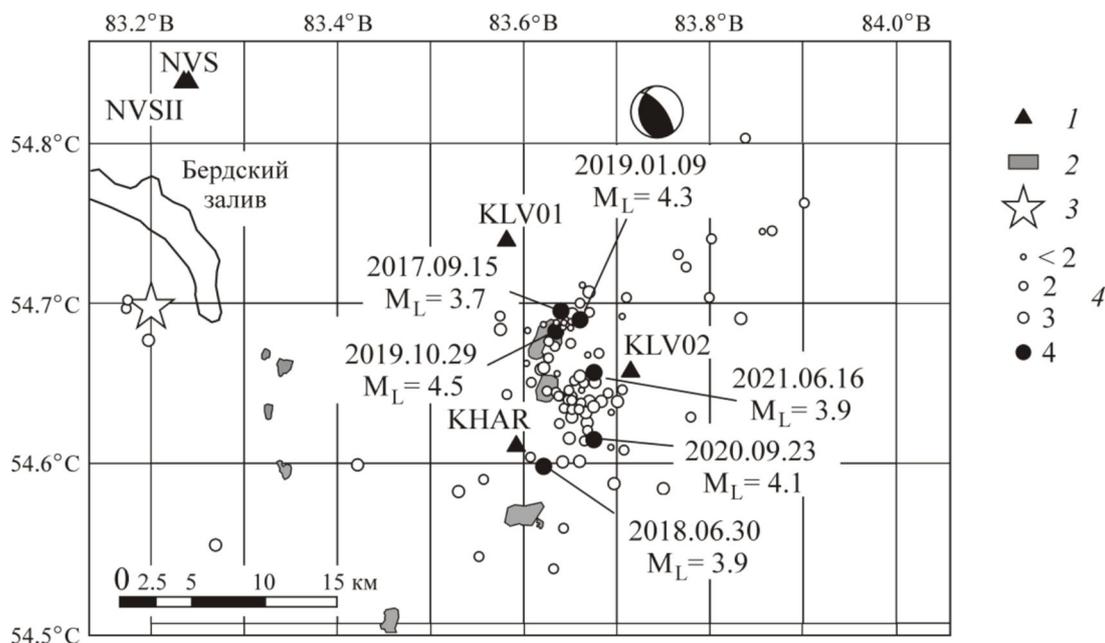


Рис. 1. Эпицентры землетрясений в районе Горловской впадины: 1 – сейсмостанции; 2 – карьеры и разрезы; 3 – эпицентр Бердского землетрясения 16.03.1882 г.,  $M = 5.7$ ; 4 – эпицентры современных землетрясений ( $M_L$ )

Параметры землетрясения были получены по данным региональных станций Алтае-саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН (табл. 1). Положение эпицентра землетрясения и его энергетических характеристик определялись при помощи программы LocSat [3] в рамках глобальной скоростной модели IASPEI91 [4]. Для уточнения положения гипоцентра применялся пакет программ HYPOINVERSE-2002 [5] с использованием локальной скоростной модели. Энергетические характеристики событий представлены в единицах локальной магнитуды  $M_L$  [6].

Станции оборудованы короткопериодными датчиками CM-3KB, СК-1П, широкополосными велосиметрами Guralp (CMG-3ESPCDE, CMG-3ESPCD, CMG-6T), акселерометрами Guralp CMG-5TM. Запись данных осуществляется при помощи регистраторов Guralp CMG-DM24, а также шестиканального – Байкал 8.1.

## Параметры землетрясений

| Код станции | Расстояние до эпицентра<br>(км) | Время регистрации события<br>(UTC) |
|-------------|---------------------------------|------------------------------------|
| KLV02       | 5.0                             | 11:01:34.3                         |
| KHAR        | 9.7                             | 11:01:35.1                         |
| NVSII       | 31.8                            | 11:01:38.7                         |
| NVS         | 31.9                            | 11:01:38.7                         |
| PHES        | 46.2                            | 11:01:41.9                         |
| BSTK        | 66.1                            | 11:01:44.5                         |
| ALXA        | 73.6                            | 11:01:46.8                         |
| SALR        | 135.3                           | 11:01:55.7                         |
| BJR1        | 161.9                           | 11:02:00.7                         |
| BJR3        | 169.6                           | 11:02:01.9                         |
| KEM         | 171.0                           | 11:02:02.6                         |
| BALAH       | 181.4                           | 11:02:03.6                         |
| POMOR       | 187.6                           | 11:02:04.0                         |
| KRBR4       | 188.4                           | 11:02:05.7                         |
| KRBR2       | 190.2                           | 11:02:06.3                         |

В макросейсмическом плане исследования показали, что в 10 км на юг от эпицентра (п. Харино) интенсивность сотрясений была максимальной – 5 баллов, а в северо-западном направлении от эпицентра (д. Калиновка, 12 км) – 0 баллов. Так же в окрестных населенных пунктах (на удалении до 20 км) были зарегистрированы землетрясения от 2 до 5 баллов. Такие значимые отличия макросейсмического уравнения от наблюдаемой интенсивности объясняются крайне неоднородным геологическим строением очаговой области и небольшой глубиной очага.

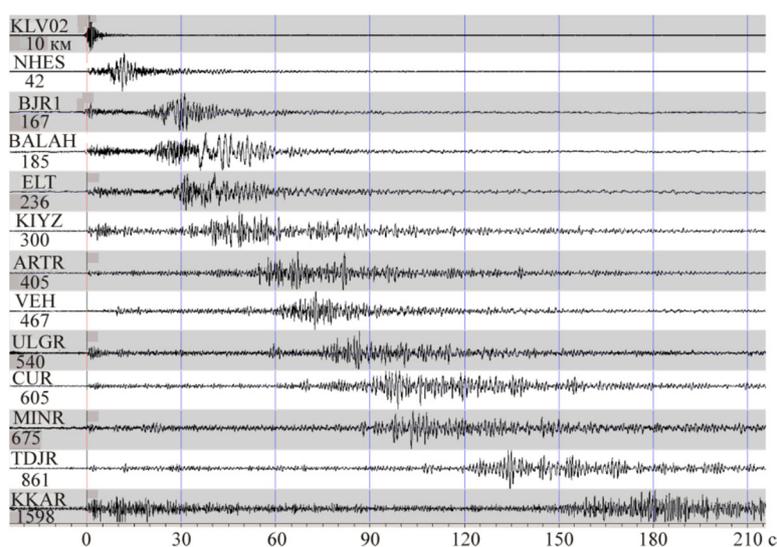


Рис. 2. Вертикальные компоненты велосиметров, установленных на сеймостанциях

В 2017 г. происходит заметное изменение сейсмического процесса, относящегося к угольным разрезам Горловской впадины, наблюдается увеличение уровня максимальных магнитуд событий (рис. 3). Наибольшее землетрясение с локальной магнитудой  $M_L=4,53$  было зарегистрировано 29 октября 2019 г. Отличительной чертой данного процесса являются близкие по продолжительности интервалы между крупными событиями ( $M_L>3,5$ ), приблизительно полгода – год. Так же нужно обратить внимание на два временных периода, где происходит значительное увеличение регистрируемых событий с магнитудами  $M_L=1 – 3,5$  с начала 2019 г. и с середины 2021 г.

О природе возникновения техногенной сейсмичности до сих пор существуют разные точки зрения [7-15]. В первом случае авторы утверждают, что вмещающая среда была готова к разрядке, а горные работы послужили только спусковым механизмом для возникновения сейсмичности [7, 8]; во втором – во главе стоит блоковое строение недр, где горнодобывающие работы приводят к смене напряженного состояния [9, 10]; в третьем авторы, в первую очередь, рассматривают близость крупных разломов, к которым в случае возникновения приурочены техногенные землетрясения [11, 12]; в четвертом случае производится изучение наведенной сейсмичности благодаря сравнению различных моделей событий с экспериментальными данными, полученными посредством наблюдения за горнодобывающими регионами с помощью сети региональных и локальных станций [1, 13, 14, 15].

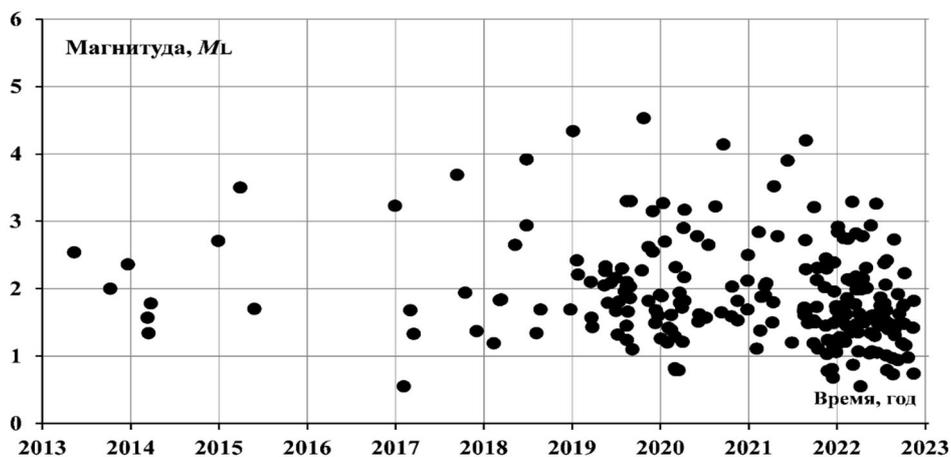


Рис. 3. Магнитуды землетрясений в пределах Горловской угольной впадины с 2013 по 2022 гг.

Начиная с 2017 г. в пределах Горловской впадины с приблизительно равными временными промежутками происходят сейсмические события, которые не только регистрируются сейсмическими датчиками, но и ощущаются населением близлежащих населенных пунктов. До сих пор эти землетрясения не были способны оказать значительное воздействие на сооружения и здания. Однако, произошедшее 18 июня 2013 г. Бачатское техногенное землетрясение ( $M_L=6,1$ ) в

Кузбассе, повлекло образование разрывов вдоль бортов угольного разреза, а также нарушение целостности разной степени в домах ближайшей к эпицентру зоны. В связи с тем, что объемы и темпы добычи угля на Кольванском разрезе являются схожими с добычей на Бачатском разрезе, нельзя исключать возможность развития сейсмической активности до порядка магнитуд выше 6.

Техногенная сейсмичность является результатом антропогенного воздействия на толщи горных пород. Исследования последних лет показывают значительное увеличение уровня техногенной сейсмичности в пределах Горловского угольного бассейна, что в дальнейшем способно оказать воздействие на промышленные и жилые сооружения. Среди научного сообщества до сих пор нет единого мнения о причинах возникновения техногенной сейсмичности. Большое количество факторов, влияющих на процесс сейсмической активизации в промышленных районах, требует комплексного подхода в изучении. Увеличение плотности сети региональных и временных сейсмических станций позволит значительно расширить диапазон регистрируемых событий, а также поможет в изучении природы их возникновения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Адушкин В. В., Турунтаев С. Б. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная. – М. : ИДГ РАН, 2015. – 364 с.
3. Bratt S. R., Bache T. C. Locating events with a space network of regional arrays // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1988. – Vol. 78. – P. 780-798.
4. Kennett B. L. N. (Ed.). IASPEI 1991 Seismological Tables. – Australian National University : Research School of Earth Sciences, 1991. – 167 p.
5. Klein F. W. User's guide to HYPOINVERSE-2000: A Fortran program to solve for earthquake locations and magnitudes. – U.S. Geol. Surv., 2002. – 123 p.
6. Bormann P. Magnitude of seismic events // New manual of seismological observatory practice (NMSOP). IASPEI / Ed. by P. Bormann. – Potsdam, Germany : GeoForschungsZentrum, 2002. – P. 3-16–3-49.
7. 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.
8. Кишкина С. Б., Кочарян Г. Г., Будков А. М., Иванченко Г. М., Локтев Д. Н. Воздействие горных работ разрезов Горловского бассейна на очаги землетрясений значительной магнитуды // ФТПРПИ. – 2021. – № 4. – С. 11-23.
9. Батугин А. С. Общие закономерности проявления сильных горных ударов и индуцированных землетрясений на участках земной коры с предельно напряженным состоянием // Горный журнал. – 2021. – № 1. – С. 22-27.
10. Батугин А. С. Бачатское техногенное землетрясение как разрядка предельного напряженного состояния участка земной коры // ГИАБ. – 2018. – № S49. – С. 487-495.
11. 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.
12. Яковлев Д. В., Лазаревич Т. И., Цирель С. В. Природно-техногенная сейсмичность Кузбасса // ФТПРПИ. – 2013. – № 6. – С. 20-53.

13. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Шевкунова Е. В., Ворона У. Ю., Сережников Н. А. Сейсмический эффект промышленных взрывов в Западной Сибири и наведенная сейсмичность // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2018. – Т. 45. – № 4. – С. 5-24.

14. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Шевкунова Е. В., Гладышев Е. А. Техногенная сейсмическая активизация в районе Горловского угольного бассейна // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2021. – Т. 8. – № 1. – С. 207-210.

15. Еманов А. А., Еманов А. Ф., Шевкунова Е. В. и др. Объемная структура афтершоковой области Бачатского землетрясения (кузбасс) и напряженное состояние недр под разрезом // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64. – № 12. – С. 1742-1750.

© Е. А. Гладышев, А. Ф. Еманов, А. А. Еманов, А. В. Фатеев, 2024