

А. В. Фатеев^{1,2}, А. Ф. Еманов¹, А. А. Еманов^{1,2}, П. О. Полянский¹, Е. В. Шевкунова¹*

Воздействия крупных землетрясений Алтае-Саянского региона на объекты гидроэнергетики

¹ Алтае-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра «Единая Геофизическая служба» РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

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

* e-mail: fateev@gs.nsc.ru

Аннотация. Рассмотрены районы сейсмической активности в Западной Сибири. Проведено изучение сейсмограмм крупных землетрясений из разных эпицентральных зон природной сейсмичности, а также крупнейших техногенных землетрясений региона. Особое внимание уделено платформенным землетрясениям. Исследовались текущие спектры мощности, по которым можно определить уровень воздействия сигналов на фоне промышленных шумов и микросейсм, определен частотный состав и длительность сейсмических колебаний плотин при разных землетрясениях. Настоящее исследование – первый шаг к оценке воздействий землетрясений из наиболее активных эпицентральных зон на ГЭС Сибири с учетом реальных характеристик сигналов. Исследования нацелены на уточнение и совершенствование сейсмического районирования в районах расположения гидроэнергетических сооружений Сибири.

Ключевые слова: гидроэлектростанция, землетрясение, сейсмические воздействия, текущий спектр

A. V. Fateev^{1,2}, A. F. Emanov¹, A. A. Emanov^{1,2}, P. O. Polianskii¹, E. V. Shevkunova¹*

Impact of major earthquakes in the Altai-Sayan region on hydropower facilities

¹Altay-Sayan branch of Federal Research Center «United Geophysical Survey» RAS, Russian Federation, Novosibirsk

²Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch RAS, Russian Federation, Novosibirsk

* e-mail: fateev@gs.nsc.ru

Abstract. Areas of seismic activity in Western Siberia are considered. A study of seismograms of large earthquakes from different epicentral zones of natural seismicity, as well as the largest man-made earthquakes in the region, was carried out. Particular attention is paid to platform earthquakes. Current power spectra were studied, from which one can determine the level of influence of signals against the background of industrial noise and microseisms, and the frequency composition and duration of seismic vibrations of dams during different earthquakes were determined. This study is the first step towards assessing the impacts of earthquakes from the most active epicentral zones on hydroelectric power stations in Siberia, taking into account the real characteristics of the signals. The research is aimed at clarifying and improving seismic zoning in the areas where hydropower structures are located in Siberia.

Keywords: hydroelectric power station, earthquake, seismic impacts, current spectrum

Введение

Объекты размещения ГЭС в Западной Сибири подвержены воздействию разнообразных сейсмических воздействий. В рамках данной работы рассматривается платформенная сейсмичность Западно-Сибирской низменности и Сибирской платформы, сейсмичность районов Алтае-Саянской горной области, очаговые зоны в которых способны генерировать сильные сейсмические воздействия на ГЭС Сибири, и техногенная сейсмичность, сформировавшаяся как результат ответа недр на воздействие человека в тех же районах.

Сейсмическая обстановка в Алтае-Саянском регионе

Вопросы сейсмических воздействий на объекты гидроэнергетики Сибири рассматриваются на основе исследований с сейсмологической сетью станций Алтае-Саянского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» [1]. В рамках данной работы рассмотрен район размещения Новосибирской ГЭС (рис. 1).

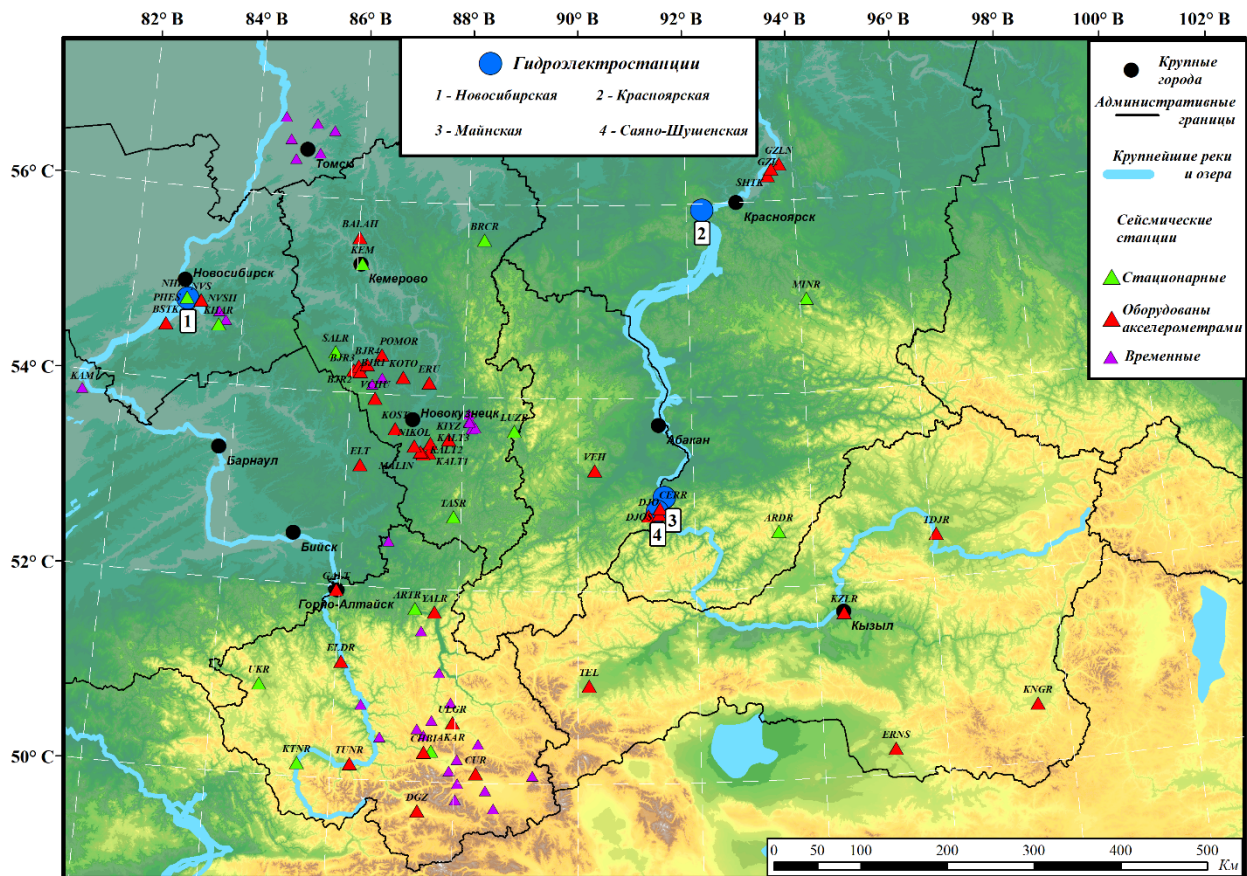


Рис. 1. Расположение сейсмологических станций и гидроэлектростанций на территории Западной Сибири

Особенностью природной сейсмичности является [2] высокий уровень энергии землетрясений (магнитуда до 8), их приуроченность к тектонически нару-

шенным зонам, расположение очагов до глубин порядка 30 км, большие интервалы времени для подготовки крупных землетрясений. Техногенная сейсмичность в Западной Сибири развивается в районах добычи полезных ископаемых как около открытых выработок [3, 4], так и около подземных [5].

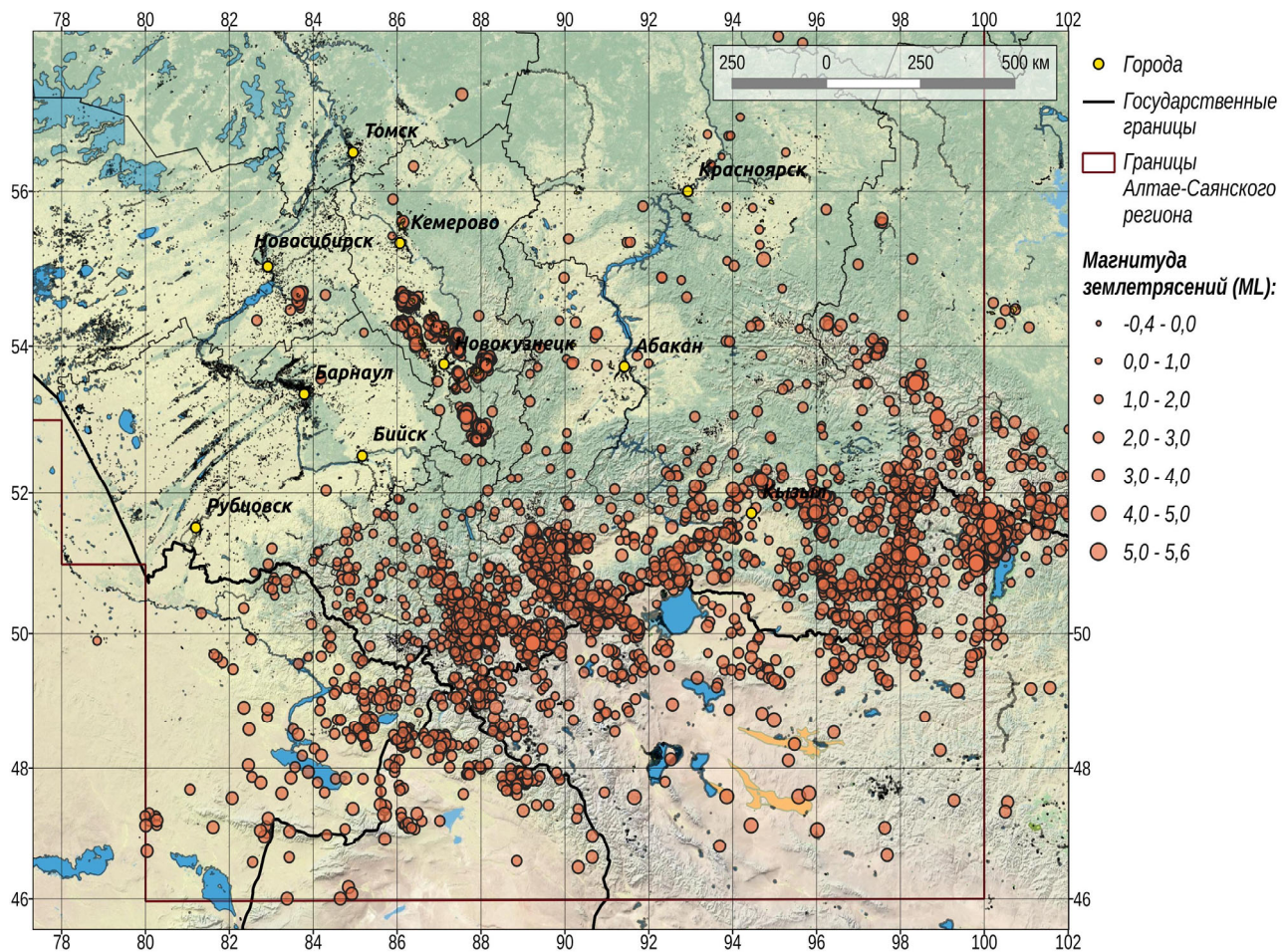


Рис. 2. Сейсмоактивные зоны Алтае-Саянского региона

На Новосибирскую ГЭС сейсмическое воздействие оказывают как природные, так и техногенные землетрясения. Наиболее сильные природные землетрясения происходили в очаговых зонах около г. Камень-на-Оби [6, 7], а в последние два десятилетия сформировалась зона платформенной сейсмичности в районе оз. Чаны на удалении около 300 км от г. Новосибирск, где за последние двадцать лет зафиксировано пять землетрясений. Примечательным является то, что в 2021 г. в этой очаговой зоне произошло землетрясение с $M_L=4.9$, а в 2022 г. – с $M_L=4.8$. Землетрясений такой магнитуды на Западно-Сибирской плите не фиксировались до данного момента. Особый уровень опасности для Новосибирской ГЭС представляют очаги техногенной сейсмичности, связанной с добычей полезных ископаемых. Согласно результатам расчётов, максимальное сейсмическое воздействие на Новосибирск сопоставимо от природных и техногенных воздействий с

той лишь разницей, что повторяемость крупных природных землетрясений значительно уступает повторяемости крупных техногенных землетрясений [3].

Особенности воздействия крупных землетрясений на районы размещения гидроэлектростанций

Интенсивность воздействия сейсмических событий (I) измеряется в баллах по шкале ШСИ-17 [8] и вычисляется с использованием (1):

$$I=2.5\lg(PGA) + 1.25\lg(\tau) + 1.05\pm 0.35, \quad (1)$$

где PGA – значение пикового ускорения грунта, измеряемое в $\text{см}/\text{с}^2$, τ – ширина сейсмического импульса, измеряемое в секундах.

Таблица 1

Интенсивность воздействия землетрясений на плотину Новосибирской ГЭС

| <i>Землетрясение</i> | <i>Дата</i> | <i>M_L</i> | <i>Расстояние, км</i> | <i>PGA, $\text{см}/\text{с}^2$</i> | <i>τ, с</i> | <i>I, балл</i> |
|----------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Бачатское | 18.06.2013 | 6.1 | 215 | 2.08 | 18.3 | 3.4 |
| Колыванское | 09.01.2019 | 4.3 | 47 | 0.35 | 13 | 1.3 |
| Оз. Чаны | 04.11.2021 | 4.9 | 272 | 0.12 | 12.1 | <1 |
| Талдинское | 12.08.2021 | 5.6 | 270 | 0.16 | 14.7 | <1 |
| Разрез «Восточный» | 23.09.2020 | 4.1 | 49 | 0.24 | 8.9 | <1 |
| Хубсугульское | 11.01.2021 | 6.9 | 1219 | 0.45 | 38 | 2.2 |

Для определения частотного состава и природы сигналов и помех использовался анализ текущих спектров мощности (PSD - Power spectral density). Полученные преобразованием Фурье спектрограммы приводятся к единицам мощности скорости ($(\text{м}/\text{сек})^2/\text{Гц}$) путем деления на амплитудно-частотную характеристику прибора относительно скорости. Для всех PSD-спектрограмм единицы мощности указываются в дБ относительно $1 (\text{м}/\text{сек})^2/\text{Гц}$ [9, 10].

Плотина Новосибирской ГЭС используется для непрерывного движения автомобильного транспорта с берега на берег, соответственно шумовые колебания плотины как от транспорта, так и от работы гидроагрегатов высоки (рис. 3). Продольные волны для нефильтрованной записи чуть превышают уровень шумов, а поперечные волны сильно доминируют, и именно они оказали максимальное воздействие на плотину. Текущие спектры записей дают хорошее представление о частотных особенностях сейсмического воздействия на плотину. На частотах до 5 Гц сейсмическое воздействие от землетрясения превышает колебания от любых других источников, и длительность воздействия повышается с понижением частоты. В текущих спектрах амплитуда записи превышает шумы на частотах до 30 Гц. По изменению значений спектра мощности на всех частотах хорошо выражены вступления продольных и поперечных волн.

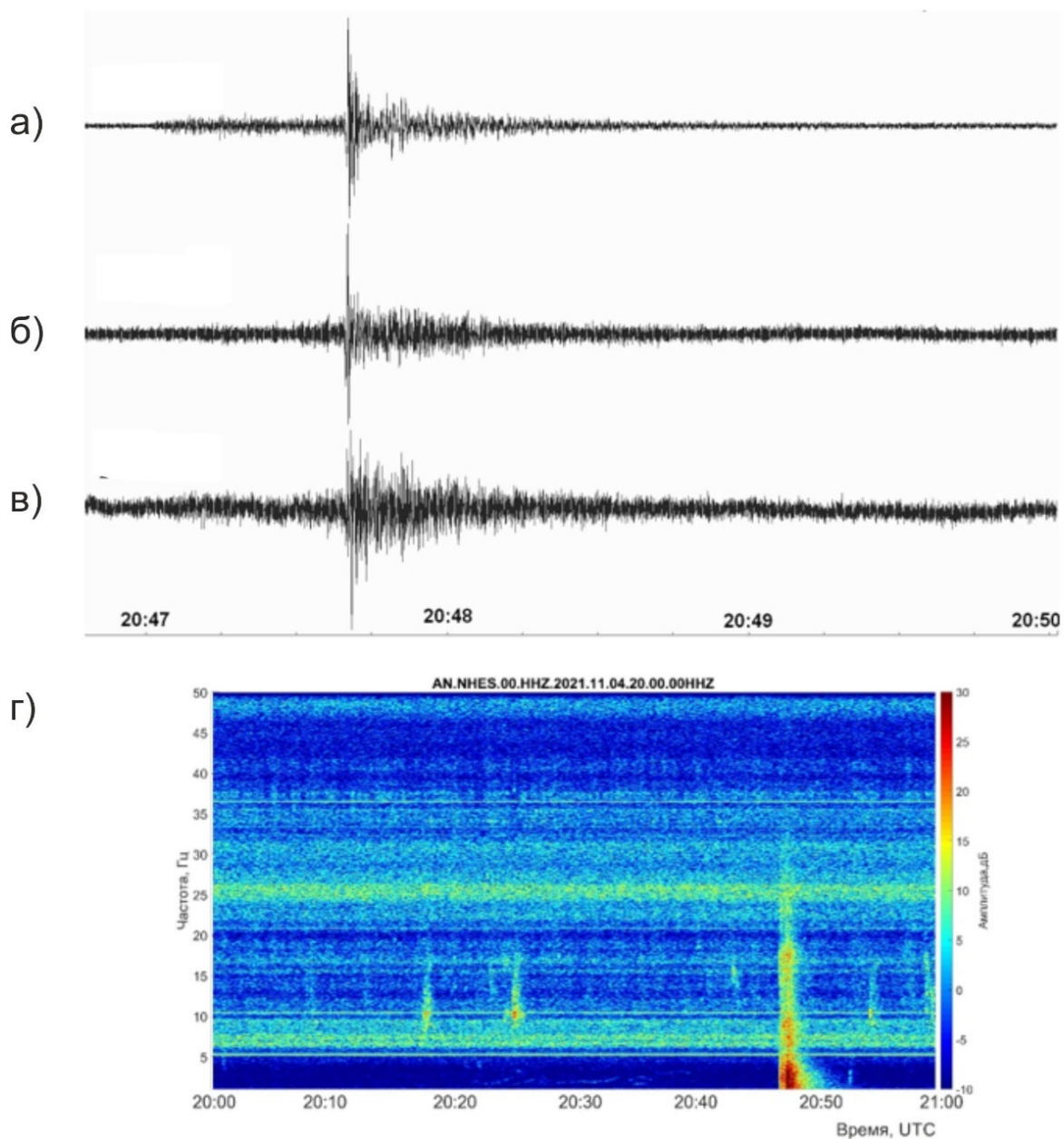


Рис. 3. Регистрация на плотине Новосибирской ГЭС землетрясения 04.11.2021 г. ($M_L=4.9$, удаление 272 км, очаговая область около оз. Чаны, длительность воздействия на частоте 1 Гц ~ 160 с).

а-в – сейсмограммы (каналы Z, N, E, соответственно), г – текущий спектр мощности часовой реализации (Z-канал).

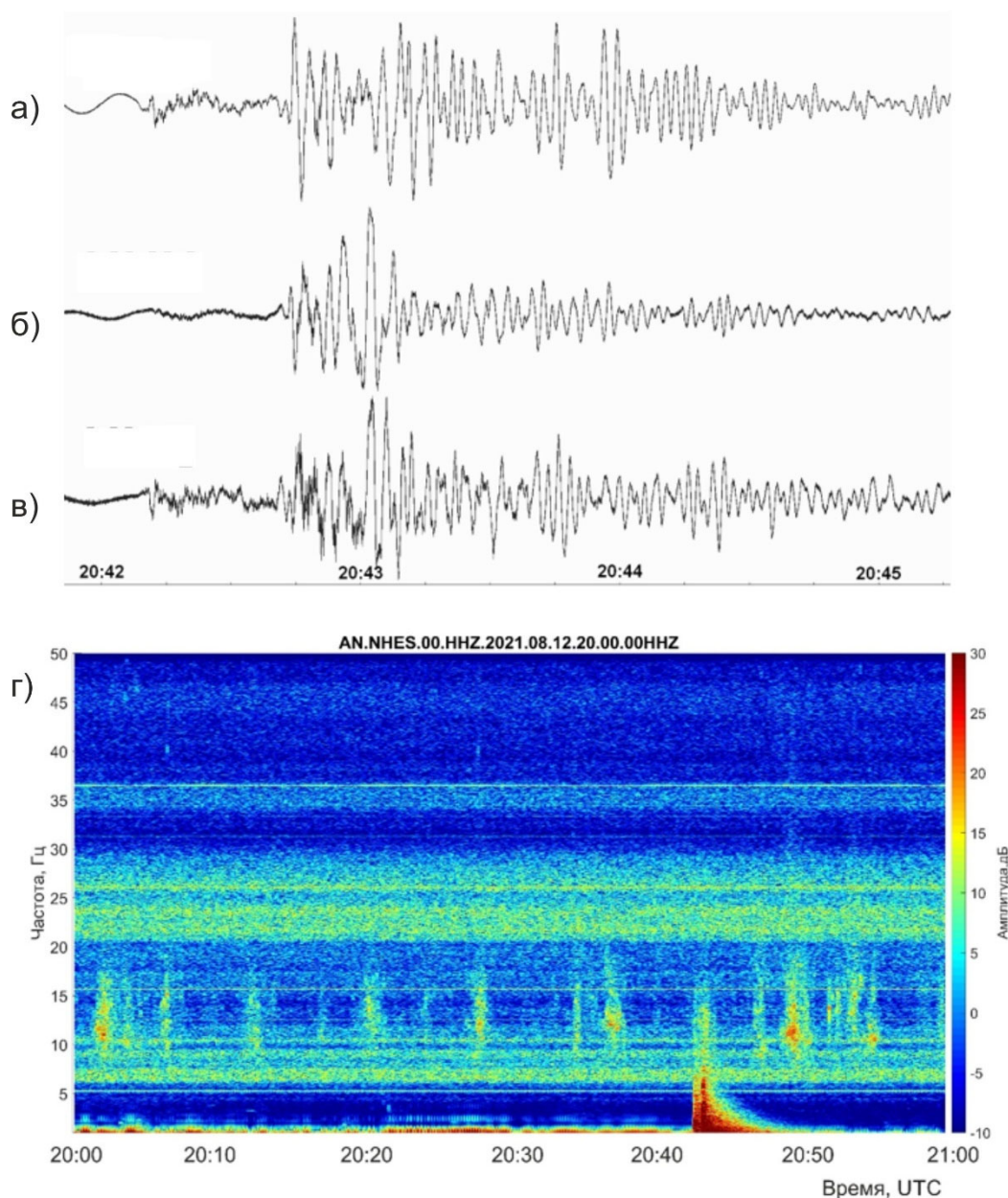


Рис. 4. Регистрация на плотине Новосибирской ГЭС техногенного землетрясения 12.08.2021 г. ($M_L=5.6$, удаление 270 км, очаговая область около разреза Талдинский, Кузбасс, длительность воздействия на частоте 1 Гц ~330 с).

а-в – сейсмограммы (каналы Z, N, E, соответственно), г – текущий спектр мощности часовой реализации (Z-канал).

На плотину Новосибирской ГЭС оказывают значимое воздействия техногенные землетрясения в Кузбассе (рис. 4). Одно из самых крупных техногенных землетрясений - Талдинское с $M_L=5.6$. Расстояние от очага до плотины у Талдинского землетрясения и землетрясения вблизи оз. Чаны (рис. 3, 4) примерно одинаковое. При этом запись Талдинского землетрясения на плотине Новосибирской ГЭС имеет существенно бóльшее соотношение сигнал/шум, чем сейсмо-

грамма природного платформенного землетрясения. На рис. 4 хорошо видны особенности сейсмического воздействия Талдинского землетрясения на плотину Новосибирской ГЭС. Спектр сейсмического воздействия более низкочастотен. Сейсмические колебания хорошо выделяются на частотах до 15 Гц. Наиболее сильными являются воздействия на частотах до 7 Гц. В текущем спектре вертикальные столбцы на частотах 6-18 Гц – это колебания, возбуждаемые движущимся по плотине автотранспортом. Горизонтальные полосы соответствуют собственным колебаниям плотины и турбогенераторов.

Колебания, вызванные Талдинским землетрясением, более низкочастотны, чем вызванные событием от землетрясения в Чановской эпицентральной зоне. Заметно больше длительность низкочастотного воздействия при техногенном землетрясении. Меньшая глубина техногенного землетрясения способствует возбуждению более интенсивных поверхностных волн, что и увеличивает длительность записи с повышенными амплитудами.

Результаты и выводы

Рассмотрены воздействия на крупные объекты гидроэнергетики Западной Сибири крупных землетрясений. С использованием сейсмических станций на плотинах или около них изучены спектральные характеристики сигналов землетрясений из разных эпицентральных зон. К примеру, Новосибирская ГЭС находится под воздействием как техногенной сейсмичности, так и природной. Сейсмическое воздействие на Новосибирскую ГЭС от Талдинского землетрясения $M_L=5.6$ существенно меньше, чем воздействие землетрясения в районе оз. Чаны с $M_L=4.9$ при близком эпицентральном расстоянии. В энергетическом спектре землетрясения в районе оз. Чаны значимые колебания отмечаются до частот порядка 35 Гц, а при Талдинском землетрясении – до 17 Гц. При этом энергия Талдинского землетрясения существенно больше. Различия спектрального состава сейсмических воздействий, очевидно, объясняются разным геологическим строением среды и отличающимися параметрами затухания сейсмических колебаний в геологических структурах. Новосибирская ГЭС находится на самом краю Западно-Сибирской плиты, а Чановская зона – это зона платформенной сейсмичности. В одном случае сейсмические волны распространяются в однородной геологической структуре, в другом – идут, пересекая различные блоки земной коры. На пути распространения колебаний от Талдинского землетрясения находились Кузнецкая впадина, хр. Салаир, Томь-Колыванская складчатая зона и граница с Западно-Сибирской плитой. Также существенные воздействия на Новосибирскую ГЭС оказывают техногенные землетрясения в Колыванском угольном бассейне.

Источник финансирования

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФИЦ ЕГС РАН по проекту № 075-00682-24 и с использованием данных, полученных на УНУ «Сейсмоинфраструктурный комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Соловьев В.М., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А., Антонов И.А., Корабельщиков Д.Г., Подкорытова В.Г., Янкайтис В.В., Елагин С.А., Сережников Н.А., Дураченко А.В., Артемова А.И. Сейсмологические исследования на территории Алтае-Саянской горной области // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т.3. – №2. – С. 20–51.
2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Кунгурцев Л.В., Лескова Е.В., Шейкина Ж.В., Ярыгина М.А. Пространственно-временной анализ сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны // В сборнике: Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Материалы международной конференции. – Новосибирск, 2003. – С. 73–86.
3. 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.
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013г, с $M_L=6.1$, $I_0=7$ (Кузбасс) // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т.2. – №1. – С. 48–61.
5. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Семин А.Ю. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т.12. – №1. – С.37–43.
6. Жалковский Н.Д., Цибульчик Г.М., Шебалин Н.В. Землетрясение в г. Камень-на-Оби 15 февраля 1965г. // Доклады АН СССР. Сер. Математическая физика, 1965. – Т.165, №2. – С. 37–43.
7. Бугаев Е.Г., Еманов А.Ф., Ворона У.Ю., Еманов А.А., Лескова Е.В. Изучение микросейсмичности района г. Камень-на-Оби Алтайского края и оценка сейсмической опасности // Геофизические методы исследования земной коры. Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырёва. – 2014. – С. 112–117.
8. ГОСТ Р 57546-2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. М.: Стандартинформ, 2017. – 27 с.
9. Oppenheim A.V., Schafer R.W., Buck J.R. Discrete-Time Signal Processing. Second edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
10. McNamara D.E., Buland R.P. Ambient noise levels in the continental United States // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2004. – Vol.94. – №4. – Pp. 1517–1527.

© А. В. Фатеев, А. Ф. Еманов, А. А. Еманов, П. О. Полянский, Е. В. Шевкунова, 2024