УДК 550.34+550.834.01 EDN AOWVVW
DOI 10.29003/m4184.0514-7468.2023_46_3/290-297

СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЛНОВОГО ПОЛЯ НА 32-м ЭТАЖЕ ГЛАВНОГО ЗДАНИЯ МГУ

А.В. Кошурников, И.П. Башилов, С.Ю. Червинчук, В.Е. Гагарин, Д.М. Фролов, А.Р. Шустов *

В работе представлены результаты проводившихся в 2020–2024 гг. в Музее землеведения на 32-м этаже Главного здания МГУ сейсмических наблюдений, в ходе которых удалось зафиксировать период собственных колебаний Главного здания, оценить его «здоровье» и рассматривать его как объект (антенну?) для обнаружения откликов дальних землетрясений.

Ключевые слова: *сейсмические наблюдения, собственные колебания здания, приходящие отклики землетрясений.*

Ссылка для цитирования: *Кошурников А.В., Башилов И.П., Червинчук С.Ю., Гагарин В.Е., Фролов Д.М., Шустов А.Р.* Сейсмические наблюдения для оценки микросейсмического волнового поля на 32-м этаже Главного здания МГУ // Жизнь Земли. Т. 46, № 3. С. 290–297. DOI: 10.29003/m4184.0514-7468.2023_46_3/290-297.

Поступила 13.06.2024 / Принята к публикации 28.08.2024

SEISMIC MONITORING FOR MICROSEISMIC WAVE FLOW ASSESSMENT ON THE 32nd FLOOR OF THE MAIN BUILDING OF LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY

A.V. Koshurnikov[1], I.P. Bashilov[2], S.Y. Chervinchuk[2], V.E. Gagarin[1], D.M. Frolov[1], and A.R. Shustov[1]

[1] Lomonosov Moscow State University
[2] Institute of Earth' physics, Russian Academy of Sciences

The article presents the results of our seismic measurements carried out in the Earth Science Museum on the 32nd floor of the main building of MSU in 2020-2024, during which it was possible to record the period of natural vibrations of the main building, to assess its "health", and to consider it as a tool for detecting the responses of distant earthquakes.

Keywords: *seismic measurements, natural building vibrations, incoming earthquake responses.*

For citation: Koshurnikov, A.V., Bashilov, I.P., Chervinchuk, S.Yu., Gagarin, V.E., Frolov, D.M., Shustov, A.R., "Seismic monitoring for microseismic wave flow assessment on the 32nd floor of the main building of Lomonosov Moscow State University", *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] **46**, no 3, 290–297 (2024) (in Russ., abstr. in Engl.). DOI: 10.29003/m4184.0514-7468.2023_46_3/290-297.

Введение. Состояние главного здания МГУ не оставит равнодушным как сотрудников МГУ, работающих в нём, так и любого гражданина России. Ранее наблюдения осуществлялись сотрудниками физического факультета МГУ, специализирующимися

* Кошурников Андрей Викторович – д.г.-м.н., вед.н.с. геологического факультета МГУ, ORCID: 0000-0001-6160-7795, *koshurnikov@msu-geophysics.ru*; Башилов Игорь Порфирьевич – д.т.н., гл.н.с., ORCID: 0009-0006-5032-2181, *chervinchuk@mail.ru*; Червинчук Сергей Юрьевич – к.т.н., с.н.с., Институт физики Земли РАН, ORCID: 0009-0009-7464-8428, *chervinchuk@mail.ru*; Гагарин Владимир Евгеньевич – к.г.-м.н., с.н.с. геологического факультета МГУ, ORCID: 0000-0001-8100-4000, *gagar88@yandex.ru*; Фролов Денис Максимович – н.с. географического факультета МГУ, ORCID: 0000-0002-0307-8175, *denisfrolovm@mail.ru*; Шустов Артур Русланович – магистр 2 курса геологического факультета МГУ, *ahurammfk@gmail.com*.

в сейсмологии с применением аппаратуры, аналогичной используемой Геофизической службой РАН на сети сейсмостанций [2]. С середины 2010-х гг. сотрудниками геологического факультета МГУ совместно с Институтом физики Земли РАН (ИФЗ РАН) и Музеем землеведения МГУ в верхней части Главного здания (ГЗ) МГУ (31–32 этажи) проводится мониторинг сейсмических колебаний. Ниже представлены результаты и обсуждение проводившихся в 2020–2024 гг. наблюдений.

Оборудование эксперимента и его характеристики. Для проведения исследований в НТЦ «Геотехфизприбор» ИФЗ РАН была специально разработана учебно-демонстрационная сейсмостанция ТС-1MR. ТС-1MR – цифровая сейсмическая станция высокого разрешения (10^{-9} м на 1 Гц) обеспечивает регистрацию сейсмических данных в частотном диапазоне 0,02–40 Гц и динамичном диапазоне не менее 120 дБ. Она разработана на базе широко известного трёхкомпонентного короткопериодного сейсмоприёмника ТС-1 (0,5–40 Гц), вертикального широкополосного сейсмоприёмника СМ-6 (0,02–40 Гц) и 24-х разрядного АЦП Z 220.

Для организации наблюдений ТС-1MR была установлена на балке силовой конструкции в Музее землеведения МГУ (**рис. 1**). Обеспечивается возможность регистрации микросейсмического волнового поля, землетрясений, собственных колебаний здания, накопления и первичного анализа данных с использованием программного обеспечения ZetLab.

Данные по четырём каналам передаются по сети WiFi на компьютер, установленный на 32 этаже ГЗ. Конструкция сейсмической станции ТС-1MR позволяет использовать её в качестве учебно-демонстрационного комплекса для обучения студентов геологического факультета МГУ.

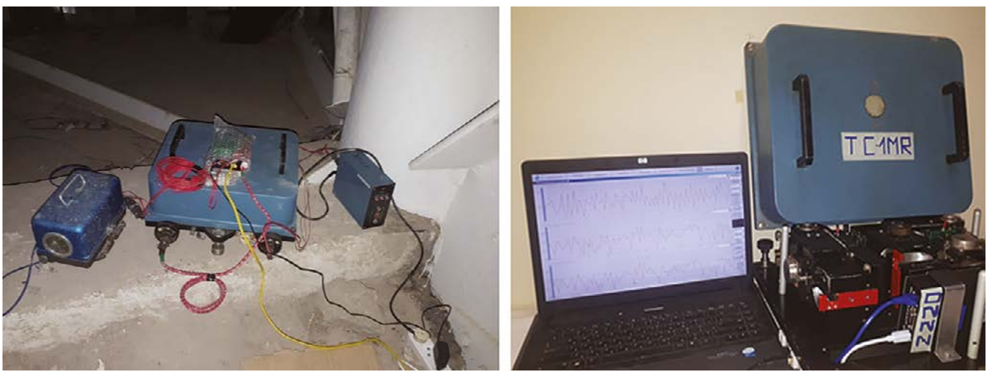


Рис. 1. Сейсмостанция ТС1-MR, установленная на балке силовой конструкции в Музее землеведения МГУ.

Fig. 1. Seismic station TC1-MR installed on a beam of a load-bearing structure in the Earth Science Museum of Moscow State University.

Результаты исследований и их обсуждение. Исследования выполняются с 10 декабря 2020 г. по настоящее время. Непрерывные наблюдения осуществляются при участии студентов геологического факультета МГУ. Данные наблюдений служат для получения детальных сведений о работе конструктивных элементов сооружения при воздействиях разных типов. Надо отметить, что в Москве ощутимые сейсмические воздействия, создаваемые землетрясениями, как правило, наблюдаются редко [3]. Поэтому любое зарегистрированное сильное землетрясение важно для детального анализа колебаний зданий и расчётов сейсмостойкости высотных сооружений. Кроме того, при регистрации волн от землетрясений появляется возможность сопоставления сейсмических воздействий с воздействиями других динамических нагрузок. 13.02.2021 в 14:07:50 по Гринвичу на Восточном побережье Хонсю, в Японии, произошло сильное землетрясение, вызвавшее заметные колебания ГЗ МГУ. Магнитуда события составила 7,1, глубина очага – 50 км. Примеры X-, Z- и Y-компонент сейсмограмм, зарегистрированных на 32-м этаже ГЗ, приведены на **рис. 2**.

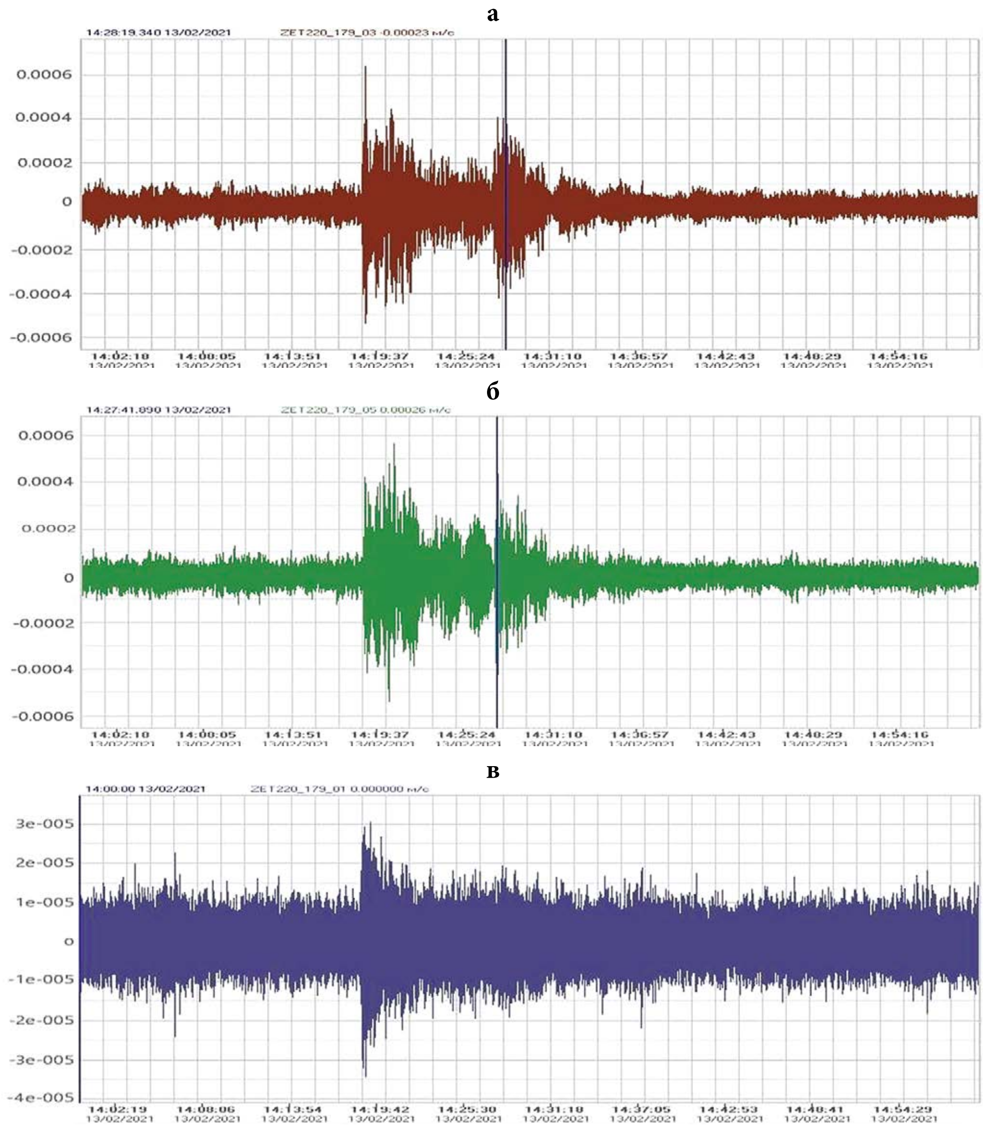
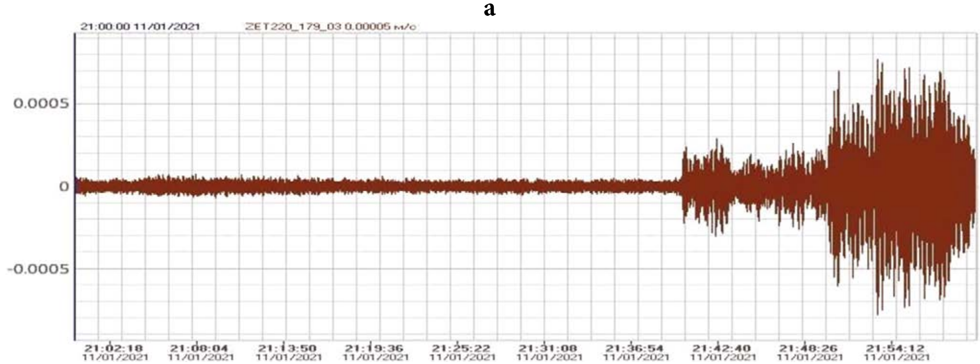


Рис. 2. Записи X(а)-, Y(б)- и Z(в)-компонент P- и S-волн от землетрясения на Восточном побережье Хонсю, Япония (13.02.2021), выполненные в пункте наблюдения в ГЗ МГУ.
Fig. 2. Recordings of the X (a), Y (b) and Z (c) components of the P- and S-waves from the earthquake on the eastern coast of Honshu, Japan (13.02.2021), made at the observation point in the Main Building of Moscow State University.

Время регистрации P-волны в высотном здании МГУ ~14:18, S-волны ~ 14:28, значение по оси ординат для записей X- и Y-компонент – 0,0006 м/с, Z-компоненты ~$3 \cdot 10^{-5}$ м/с (мгновенная скорость движения материи в точке регистрации). Также в результате исследования было зарегистрировано землетрясение 11.01.2021 на границе РФ–Монголия. Событие произошло в 21:33:00 по Гринвичу, магнитуда события составила 7,2, глубина очага – 20 км. Примеры X- и Y-компонент сейсмограмм, зарегистрированных на 32-м этаже ГЗ МГУ, приведены на **рис. 3**.

а



б

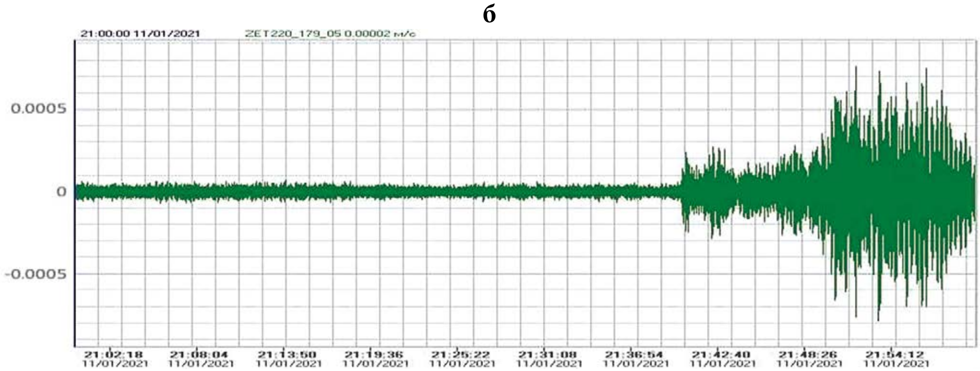


Рис. 3. Записи X(а)- и Y(б)-компонент P- и S-волн от землетрясения на границе Россия–Монголия (11.01.2021), выполненные в пункте наблюдения в ГЗ МГУ.

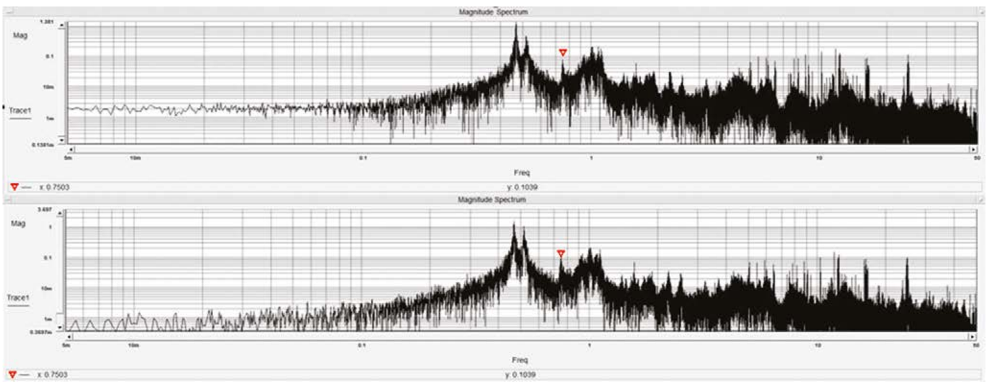
Fig. 3. Recordings of the X (a) and Y (b) components of the P- and S-waves from the earthquake on the Russian Federation–Mongolia border (11.01.2021), made at the observation point in the Main Building of Moscow State University.

Время регистрации P-волны в высотном здании МГУ ~21:40, S-волны ~21:50, значение по оси ординат для записей X и Y компонент – 0,0005 м/с. Время регистрации событий и их частотный диапазон совпадают с данными геофизической службы РАН и позволяют рассматривать ГЗ МГУ как своего рода «инструмент» для регистрации дальних землетрясений, т. е. наблюдений за сейсмической активностью планеты.

Для оценки частот собственных колебаний шпиля МГУ были использованы записи сейсмоприёмника в период с 20.12.2020 по 20.03.2022, обработанные при помощи программного обеспечения ZetLab. Время выбранных фрагментов – 3:00–4:00 и 4:00–5:00. Промежутки времени были выбраны с целью минимизации внешнего техногенного воздействия. Примеры записей X- и Z-компонент, прошедших обработку фильтром, зарегистрированных на 32-м этаже ГЗ МГУ, приведены на **рис. 4**.

Обращает на себя внимание наличие колебаний с видимой частотой 0,74–0,76 Гц (красный треугольник на рис. 4). Отметим, что эти частоты являются доминирующими в спектрах, т. е. это одна из мод собственных колебаний. В колебаниях шпиля названная частота также прослеживается; важно отметить, что значение 0,76 Гц выделяется в исследовании сотрудников физического факультета МГУ [2] как частота собственных колебаний шпиля высотного здания МГУ. Значения частоты первой моды собственных колебаний разных частей ГЗ для рассматриваемого временного интервала имеют следующие значения: тело здания – для X-компоненты f = 0,47 Гц, для Y-компоненты f = 0,52 Гц, шпиль – по обеим горизонтальным компонентам f = 0,76 Гц. Также в изученных спектрах отчётливо видны пики частот 0,45 Гц и 0,50 Гц, выделенные в вышеупомянутом исследовании как частоты собственных колебаний тела здания. Таким образом, результаты нашего исследования подтверждаются более ранними исследованиями сотрудников физического факультета МГУ [2].

а, б



в, г

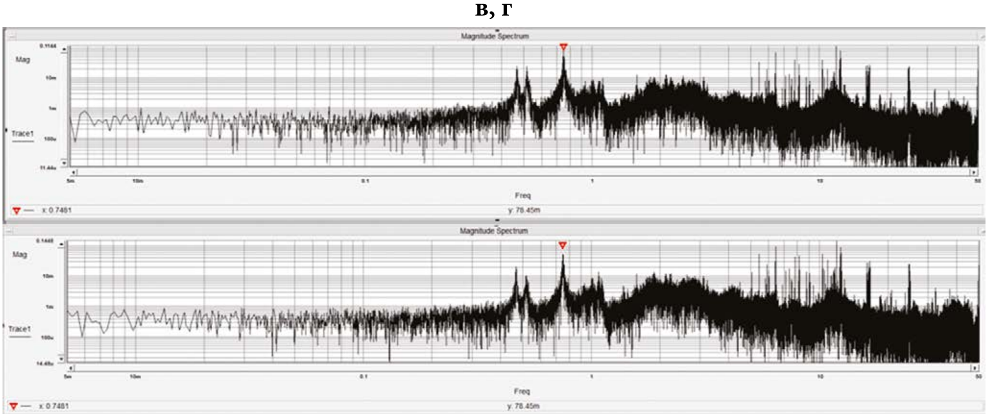


Рис. 4. Спектры X – (а, б) и Z – (в, г) компонент, обработанные фильтром 0,05–15 Гц от 20.12.2020, верхние части (а, в) – 3:00–4:00, нижние (б, г) – 4:00–5:00.

Fig. 4. Spectra of the X (a, b) and Z (c, d) components, processed with a 0.05–15 Hz filter of 20.12.2020, upper parts (a, c) – 3:00–4:00, lower (b, d) – 4:00–5:00.

Важно отметить, что в опасном для человека частотном диапазоне 7 Гц и 15–18 Гц колебаний [1, 4] не зафиксировано.

В период с мая по июль 2021 г. на 28-м этаже Музея землеведения МГУ проводились ремонтные работы. Ремонтные работы всегда являются источником техногенного сейсмического шума: работа оборудования, шаги, механическое воздействие на стены здания – всё это создаёт вибрации, отражающиеся на сейсмограммах и меняющие картину сейсмического фона. Записи сейсмического сигнала за этот период представлены на **рис. 5, 6** и **7**, где чёрными квадратами выделены пики сейсмического сигнала, связанные с ремонтными работами.

На представленных на рис. 5–7 спектрах записей преобладают пики с частотой 0,96 Гц и 1,4 Гц, что выше выявленных частот собственных колебаний ГЗ МГУ; их появление может быть вызвано ремонтными работами, проводившимися в это время в Музее землеведения МГУ. Частота повторяемости колебаний здания в период с февраля по июнь 2021 г. представлена на **рис. 8**. Наиболее ярко проявляются собственные колебания шпиля здания на частоте 0,76 Гц.

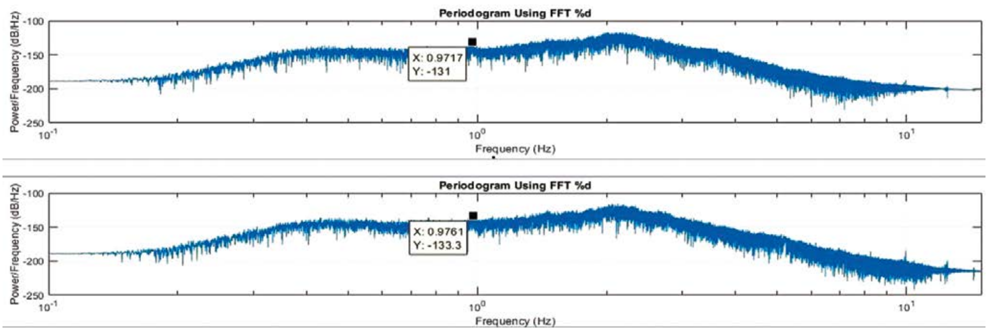


Рис. 5. Спектры X-компоненты, обработанные фильтром 0,05–15 Гц от 15.05.2021, верхняя часть 9:00–10:00, нижняя 10:00–11:00.

Fig. 5. X-component spectra processed with a 0.05–15 Hz filter of 15.05.2021, upper part 9:00–10:00, lower part 10:00–11:00.

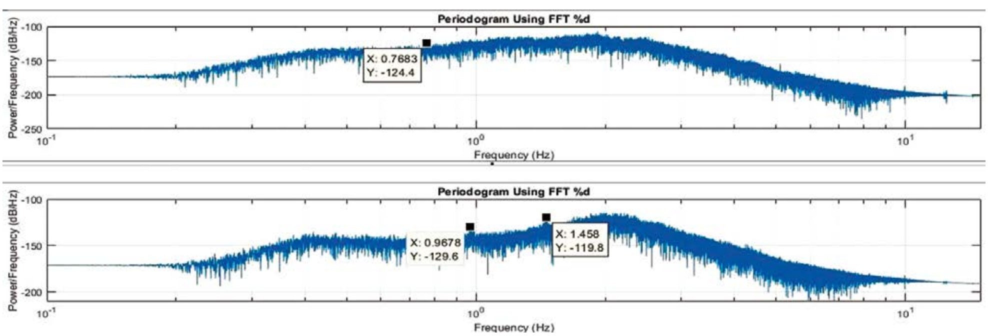


Рис. 6. Спектры X-компоненты, обработанные фильтром 0,05–15 Гц от 25.05.2020, верхняя часть 9:00–10:00, нижняя 10:00–11:00.

Fig. 6. X-component spectra processed with a 0.05–15 Hz filter of 25.05.2020, upper part 9:00–10:00, lower part 10:00–11:00.

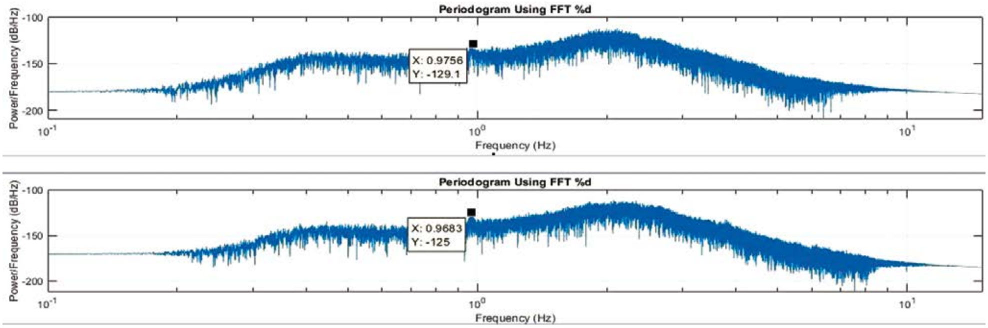


Рис. 7. Спектры X-компоненты, обработанные фильтром 0,05–15 Гц от 10.06.2020, верхняя часть 9:00–10:00, нижняя 10:00–11:00.

Fig. 7. X-component spectra processed with a 0.05–15 Hz filter of 10.06.2020, upper part 9:00–10:00, lower part 10:00–11:00.

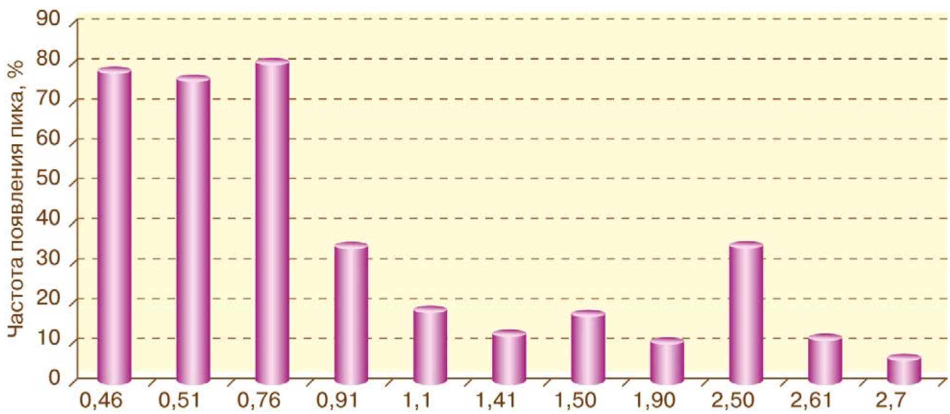


Рис. 8. Гистограмма повторяемости частотных пиков в период с февраля по июнь 2021 г.

Fig. 8. Histogram of frequency peaks in the period from February to June 2021.

Выводы. Анализ полученной информации показывает следующее.

1. В ГЗ МГУ были зафиксированы дальние землетрясения с эпицентрами в Японии 13.02.2021 и на границе РФ–Монголия 11.01.2021.

2. Зафиксированы собственные колебания ГЗ МГУ. Значения частот собственных колебаний тела здания 0,47 и 0,5 Гц. Значения частот собственных колебаний шпиля здания – 0,76 Гц. Частотный диапазон колебаний совпадает с раннее фиксированным сотрудниками физического факультета МГУ. Стабильность этих частот с течением времени говорит о стабильности и надёжности конструкции здания.

3. Ремонтные работы в здании с мая по июль 2021 г. зафиксированы на частотах 0,96 Гц и 1,4 Гц. Этот частотный диапазон несколько выше собственных колебаний здания, возникновение резонансных колебаний в этом случае невозможно, что обеспечивает безопасное состояние здания в период ремонта.

4. Собственные колебания здания не угрожают жизни и здоровью сотрудников МГУ, т. к. они находятся гораздо ниже – в частотном диапазоне 0,5–1 Гц. В опасном для человека частотном диапазоне 7 Гц и 15–18 Гц колебаний не зафиксировано.

5. За весь период наблюдений с 2020 по 2024 г. не зафиксированы техногенные, а также периодические воздействия на здание, связанные с работой метро, автотранспорта (кроме работы лифтов здания), что говорит об удалённости этих объектов от здания и об отсутствии их техногенного влияния на ГЗ МГУ.

6. Повторяемость частотных пиков (с 2010 по 2024 г.) говорит о повторяемости реакции здания на различные по характеру воздействия при значительной продолжительности наблюдений. Их стабильность также говорит о стабильности и надёжности конструкции здания сегодня.

7. Сохранение собственных частот колебаний здания за последние 30 лет свидетельствует об отсутствии резонансных эффектов как в здании, так и в геологической среде, на которую опирается здание и которая имеет собственные колебания. Отсутствие резонансных частот пока сохраняется, несмотря на активное строительство новых корпусов МГУ за последнее время.

Таким образом, ГЗ МГУ является своего рода сейсмометрическим инструментом для регистрации дальних землетрясений на Земле. На сегодня подтверждено «здоровое» состояние как самого здания, так и геологической среды, на которую оно опирается. Для дальнейших выводов о «здоровье» здания и его основания рекомендуется продолжить наблюдения в Музее землеведения и установить вторую сейсмостанцию в подвале здания для получения большей информации о состоянии геологической среды под зданием.

Благодарности и источники финансирования. Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам Музея землеведения МГУ, и прежде всего заведующему сектором, профессору, д.б.н. В.В. Снакину и рабочим высшей квалификации А.С. Куликову и Д.А. Мадасону за постоянную помощь и взаимодействие в процессе выполнения данного исследования.

Работа выполнена в соответствии с госбюджетной темой «Теоретические основы геокриологического прогноза и картирования криолитозоны России» (АААА-А16-116033010094-4).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жигалин А.Д.* Бытовые вибрации как психоэкологический фактор // Прикладная геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг. Сб. трудов. Вып. 3. М., 1999.
2. *Марченков А.Ю., Капустян Н.К., Смирнов В.Б.* Опыт регистрации сейсмического воздействия на высотное здание МГУ // Геофизические исследования. 2015. Т. 16, № 3. С. 31–42.
3. *Николаев С.В.* Высотные здания – это комплекс профессиональных решений // Жилищное строительство. 2005. № 9. С. 2–10.
4. *Фролов К.В., Гончаревич И.Ф., Лихнов П.П.* Инфразвук, вибрация, человек. М.: Машиностроение, 1996. 368 с.

REFERENCES

1. Zhigalin, A.D., “Household vibrations as a psycho-ecological factor”, *Applied Geoecology, emergency situations, land cadastre and monitoring.* Collection of works. Issue 3 (Moscow, 1999) (in Russian).
2. Marchenkov, A.Yu., Kapustyan, N.K., Smirnov, V.B., “Experience of registration of seismic impact on the high-rise building of Moscow State University, *Geophysical research* **16** (3), 31–42 (2015) (in Russian).
3. Nikolayev, S.V., “High-rise buildings as a complex of professional solutions”, *Housing construction* **9**, 2–10 (2005) (in Russian).
4. Frolov, K.V., Goncharevich, I.F., Likhnov, P.P., *Infrasound, vibration, human* (Moscow: Mashinostroenie, 1996) (in Russian).