



УДК 699.841

П. А. ХАЗОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; **Л. Ю. ТЯГУНОВА**, ст. преп. кафедры оснований, фундаментов и инженерной геологии; **А. М. ГОРДЕЕВЦЕВА**, магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; **Н. М. ДЕУЛИНА**, магистрант кафедры теории сооружений и технической механики

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕОБЛАДАЮЩИХ ЧАСТОТ И АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96,
+7 (951) 919-0-919; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru, tyagunovaly@yandex.ru

Ключевые слова: землетрясения, сейсмические колебания, собственная частота, амплитуда ускорений, сейсмическая нагрузка, магнитуда землетрясения.

Приводится обзор самых сильных землетрясений XXI века, сравнительный анализ характеристик землетрясений на основании реальных акселерограмм. Вычислены максимальные и минимальные амплитуды ускорений и соответствующие им частоты колебаний. Рассмотрен пример землетрясения, превышающего значения, установленные картами ОСР-2015-А. Сделан вывод о соответствии карт ОСР и реальной сейсмической активности на территории России.

Изучению землетрясений и теориям их расчета за последнее время посвящено множество различных научных работ [1–4]. Большая часть территорий Российской Федерации подвержена сейсмическим воздействиям. По статистике, ежедневно хотя бы в одном из сейсмически опасных районов России происходит землетрясение [5].

В табл. 1 приведены самые сильные землетрясения, произошедшие на территории России в XXI веке.

Таблица 1

Обзор землетрясений XXI века

Дата	Общая информация о землетрясении/ [Источник]	Магнитуда/ балл
27 сентября 2003 г.	<i>Чуйское землетрясение. Алтай</i> Вызвало повреждения высотных сооружений в Алтайском крае Затронуло Казахстан и Китай Практически полностью был разрушен поселок Бельтир Вызвало после себя порядка 140 афтершоков в последующие три дня / [6, 7]	7,3/ 10
21 апреля 2006 г.	<i>Олюторское землетрясение. Корякский автономный округ</i> Превышена предполагаемая норма баллов по землетрясениям в этом районе Разрушен поселок Тилички До октября 2006 произошло 193 афтершока, вызванных землетрясением / [7, 8]	7,6/ 9



Продолжение табл. 1

Дата	Общая информация о землетрясении/ [Источник]	Магнитуда/ балл
15 ноября 2006 г.	<i>Первое Симуширское землетрясение.</i> Курильские острова Землетрясение вызвало цунами высотой 20 м / [7, 8]	8,3/ 11
13 января 2007 г.	<i>Второе Симуширское землетрясение</i> Центральная часть Курильской гряды Эпицентр находился в 100 км от Симуширского землетрясения / [7, 8]	8,2/ 11
2 августа 2007 г.	<i>Западное побережье острова Сахалин</i> Эпицентр землетрясения находился в аква- тории Татарского пролива Основной удар землетрясения пришелся на город Невельск и южную часть острова Сахалин / [7, 8]	6,2/ 7
27 августа 2008 г.	<i>Култукское землетрясение</i> Эпицентр толчков располагался на дне озера Байкала на глубине 16 км в 30 км от Байкальска, в 65 км к югу от Иркутска Подземные толчки ощущались по всей Восточной Сибири / [7, 8]	6,2/ 8
11 октября 2008 г.	<i>Чеченская республика</i> Толчки ощущались на Северном Кавказе и в Закавказье / [6, 7]	5,6/ 6
10 февраля 2011 г.	<i>Республика Хакасия</i> Сильные толчки ощущались по всему югу Сибири и в Монголии / [7]	6,7/ 8
27 декабря 2011 г.	<i>Тувинское землетрясение</i> Эпицентр находился примерно в 100 ки- лометрах к востоку от Кызыла на глубине 10–15 км Толчки ощущались в Хакасии, Красноярском крае, Иркутской, Новосибирской областях, Республике Алтай, Алтайском крае и т. д. / [7]	6,7/ 8
26 февраля 2012 г.	Эпицентр землетрясения находился в 101 километре восточнее Кызыла. В зону землетрясения попали свыше 1000 населенных пунктов Считается завершением развития сейс- мической активности в районе Кызыла, которое началось 27 декабря 2011 года / [7]	6,9/ 8,5
18 июня 2013 г.	<i>Кемеровская область</i> Ощущалось в Новосибирской области, Томской области, Алтайском крае Зафиксировано 25 афтершоков после зем- летрясения / [7, 8]	5,2/ 7



Окончание табл. 1

Дата	Общая информация о землетрясении/ [Источник]	Магнитуда/ балл
24 мая 2013 г.	<i>Охотоморское землетрясение</i> Эпицентр располагался в акватории Охотского моря у западного побережья полуострова Камчатка Толчки ощущались по всей территории Камчатки около 5 минут. Отголоски земле- трясения ощущались в Нижнем Новгороде и Москве. Ощутимые колебания были зафиксированы в ННГАСУ в 5-м и 6-м корпусах, землетрясение соответствовало 5–6 баллам / [7, 8, 9]	8,3/ 11
22 сентября 2020 г.	<i>Иркутская область</i> Эпицентр на расстоянии 21 километра к северо-западу от поселка Култук на глуби- не 10 километров / [7, 10]	5,5/ 8
10 декабря 2020 г.	Эпицентр располагался на расстоянии 41 километра севернее села Кабанск <i>Республики Бурятия</i> / [7, 10]	5,4/ 7,6

Примечания:

- 1) магнитуда указана по 9-балльной шкале Рихтера, измеряется в условных единицах;
- 2) баллы указаны по 12-балльной шкале интенсивности землетрясений MSK-64.

За 2021 год на территории России произошло порядка 550 землетрясений, однако они не были достаточно сильными, чтобы можно было сравнить их по интенсивности хотя бы с одним из вышеперечисленных. Два наиболее сильных землетрясения 2021 года произошли в Усть-Камчатске (16 марта) и в Северо-Курильске (24 августа) с магнитудами 6,6 и 6 единиц соответственно. Оба эти землетрясения в ближайших населенных пунктах по шкале Рихтера достигли лишь 3 баллов и не принесли больших разрушений вблизи их распространения [10].

На рис. 1 и 2 цв. вклейки показано, что наиболее часто землетрясения на территории РФ за последнее время возникали вблизи Охотского моря. Землетрясения с менее высокой магнитудой также происходили в районах Чеченской и Дагестанской республик, однако, в этих областях магнитуда редко превышала значения 4 единиц [10].

Данные показатели соответствуют информации, которую диктует свод правил [11]. В [11] приводятся карты сейсмического районирования России, на основании которых проектируют здания и сооружения в сейсмоопасных районах строительства.

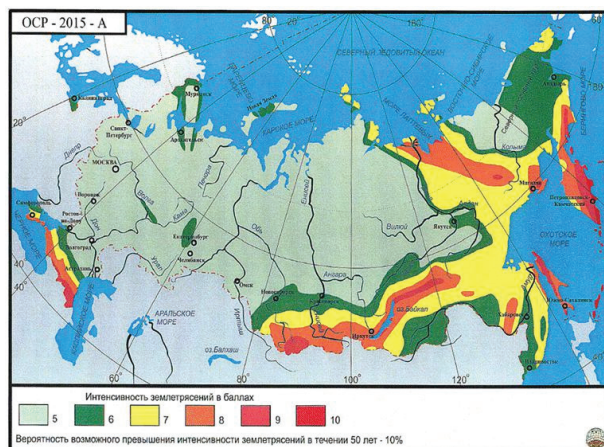
Карты сейсмического районирования (рис. 3 цв. вклейки) указывают на наибольшую сейсмическую активность на Дальнем Востоке вблизи Охотского моря. Большая часть сильных землетрясений XXI века произошла именно в этой области (табл. 1). Кроме того, общее количество землетрясений в этом районе за последние годы превышает количество землетрясений в других частях России.

Однако интенсивность Олюторского землетрясения превысила значение, предполагаемое картой ОСР-2015-А, которую чаще всего используют при проектировании зданий и сооружений нормального и пониженного уровня ответ-

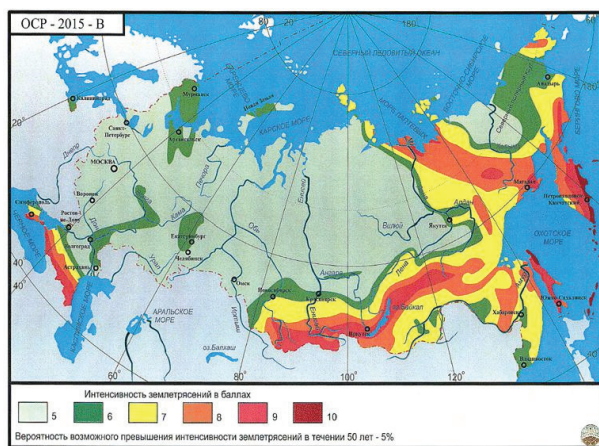
The map shows the Sea of Okhotsk and surrounding landmasses. Red pins indicate sampling locations. Green circles with numbers 2 and 3 indicate specific areas of interest. The map includes a scale bar (500 km, 300 mi) and a legend for the map controls.

The map displays the geographical context of the study, covering parts of China, Mongolia, and the Sea of Okhotsk. Sampling sites are marked with numbered green circles, indicating the number of samples collected at each location. The sites are distributed across the border region, with a higher concentration in the eastern part of the study area. A scale bar indicates distances up to 500 km. Major cities like Harbin, Changchun, Shenyang, and Beijing are labeled in China, while Urumqi and Baotou are also marked. The Sea of Okhotsk is labeled in the eastern part of the map.

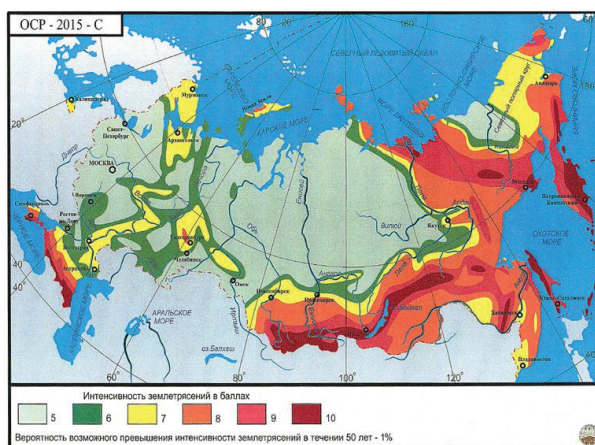
Рис. 2. Карта расположения землетрясений, произошедших на территории РФ за 2020–2021 годы с магнитудой свыше 5,0 [5]



a



б



в

Рис. 3. Карта сейсмического районирования России: *a* – ОСР-2015-А; *б* – ОСР-2015-В; *в* – ОСР-2015-С [11]



ственности [7, 11]. Интенсивность данного землетрясения соответствует картам ОСР-2015-В и ОСР-2015-С, которые обычно используются при проектировании сооружений повышенной ответственности.

Известно, что интенсивность землетрясения зависит от его магнитуды и глубины расположения очага землетрясения. Чем меньше магнитуда и глубже расположен очаг землетрясения, тем, соответственно, ниже его интенсивность. Значения магнитуд и интенсивностей землетрясений приведены в табл. 1. Поскольку магнитуда оценивается по 9-балльной шкале, а интенсивность по 12-балльной, обычно значения интенсивности в эпицентре выше, чем значение магнитуды.

В табл. 2 приводится сравнительный анализ характеристик некоторых землетрясений. Основные характеристики землетрясений приведены в табл. 2, акселерограммы – на рис. 1–6.

Таблица 2

Основные характеристики землетрясений

Дата, землетрясение	Интенсивность, балл	Длительность землетрясения, мин	Амплитуда ускорений, м/с^2 $\frac{\text{max}}{\text{min}}$	Частота, Гц	Акселерограмма
1	2	3	4	5	6
21 апреля 2006 г. Олюторское землетрясение	9	26	$\frac{3,16}{0,505}$	$\frac{0,046}{0,051}$	рис. 1
13 января 2007 г. Второе Симуширское землетрясение	8	22	$\frac{1,47}{0,212}$	$\frac{0,048}{0,037}$	рис. 2
2 августа 2007 г. Землетрясение на западном побережье острова Сахалин	7	25	$\frac{0,68}{0,097}$	$\frac{0,059}{0,070}$	рис. 3
27 августа 2008 г. Култукское землетрясение	8	16	$\frac{1,47}{0,268}$	$\frac{0,086}{0,085}$	рис. 4
11 октября 2008 г. Землетрясение в Чеченской республике	6	7	$\frac{0,32}{0,046}$	$\frac{0,144}{0,085}$	рис. 5
24 мая 2013 г. Охотоморское землетрясение	5	6	$\frac{0,15}{0,026}$	$\frac{0,040}{0,055}$	рис. 6

Примечания:

- 1) значение частот в столбце 5 указаны соответствующие значениям амплитуд из 4 столбца;
- 2) над чертой указаны частоты, соответствующие максимальным значениям амплитуд ускорений, под чертой – минимальным значениям.

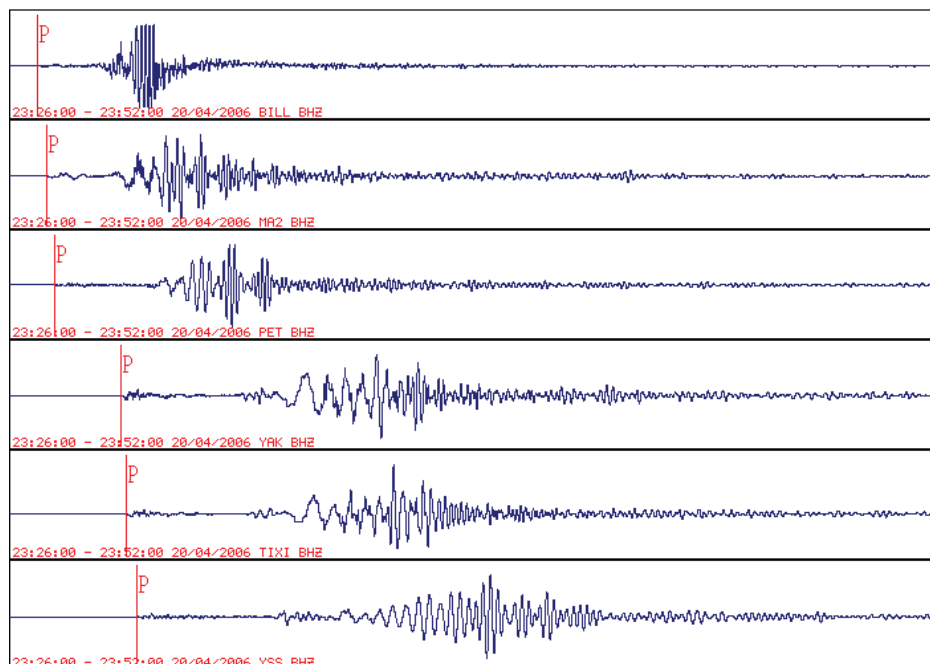


Рис. 1. Акселерограмма Олюторского землетрясения, 21 апреля 2006 г. [8]

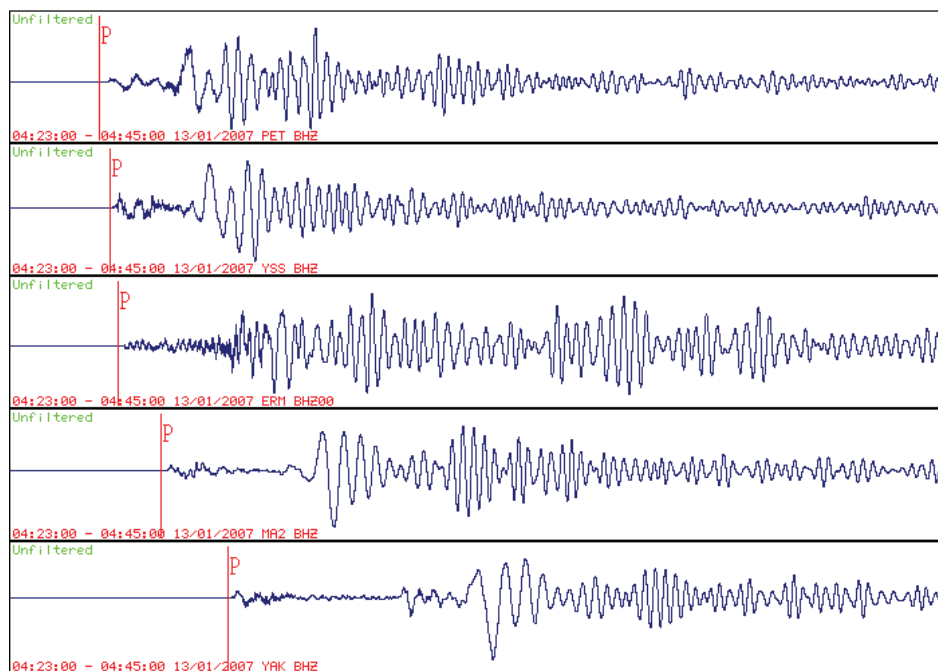


Рис. 2. Акселерограмма второго Симуширского землетрясения, 13 января 2007 г. [8]

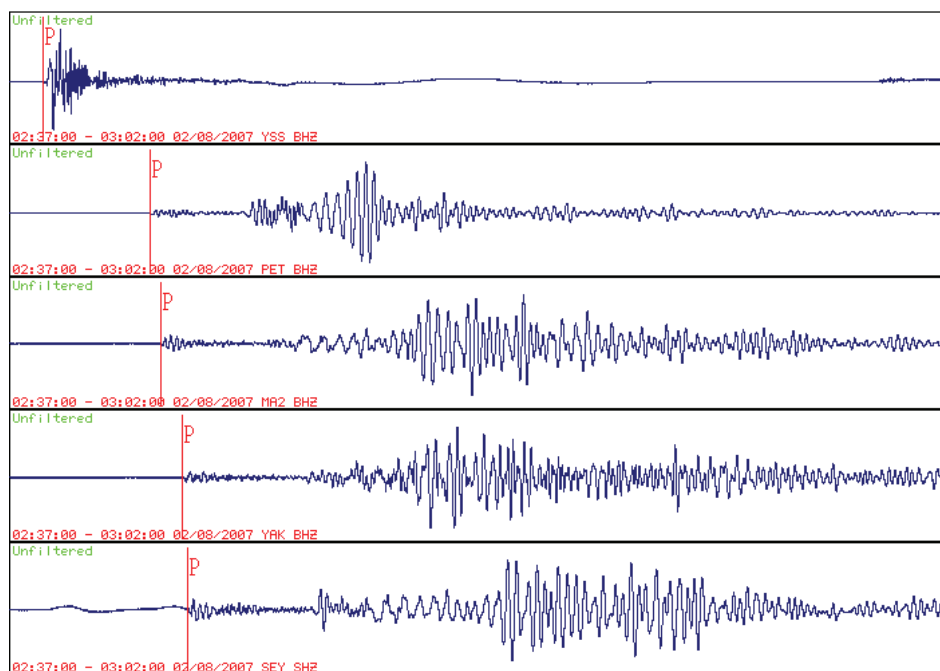


Рис. 3. Акселерограмма землетрясения на западном побережье острова Сахалин, 2 августа 2007 г. [8]

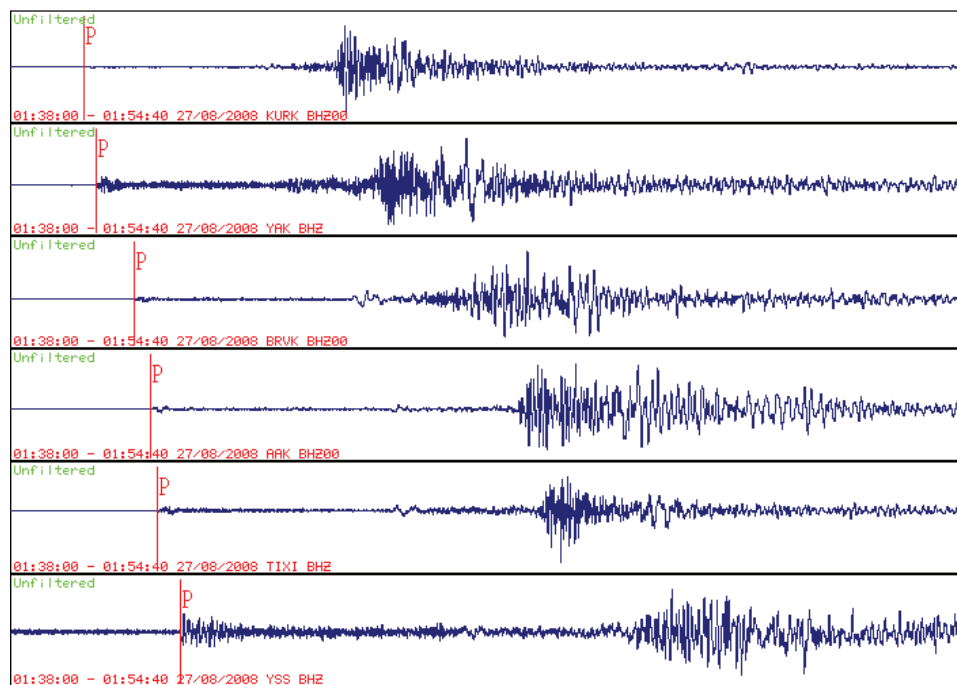


Рис. 4. Акселерограмма Културского землетрясения, 27 августа 2008 г. [8]

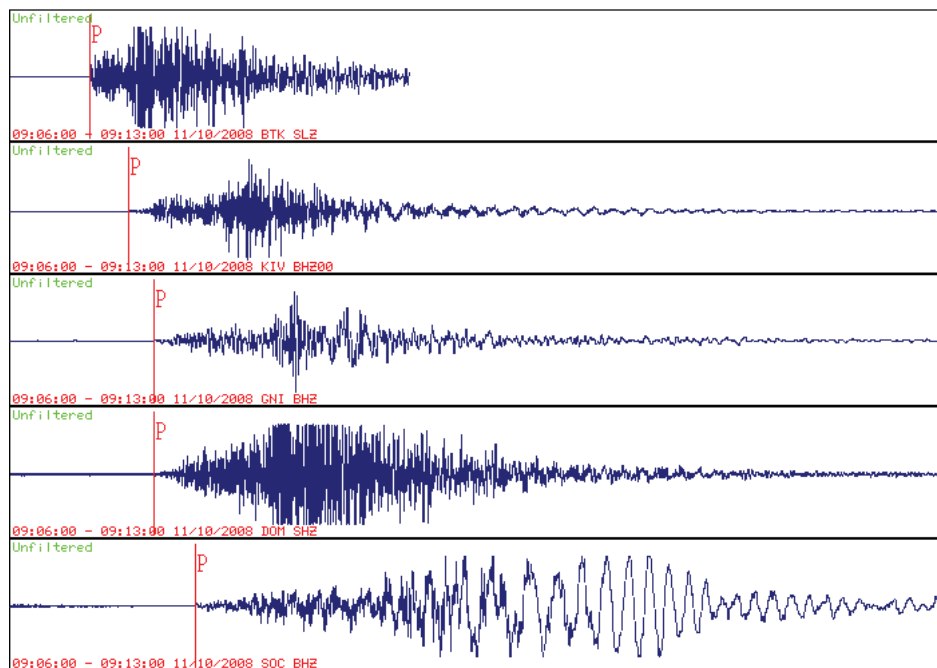


Рис. 5. Акселерограмма землетрясения в Чеченской республике, 11 октября 2008 г. [8]

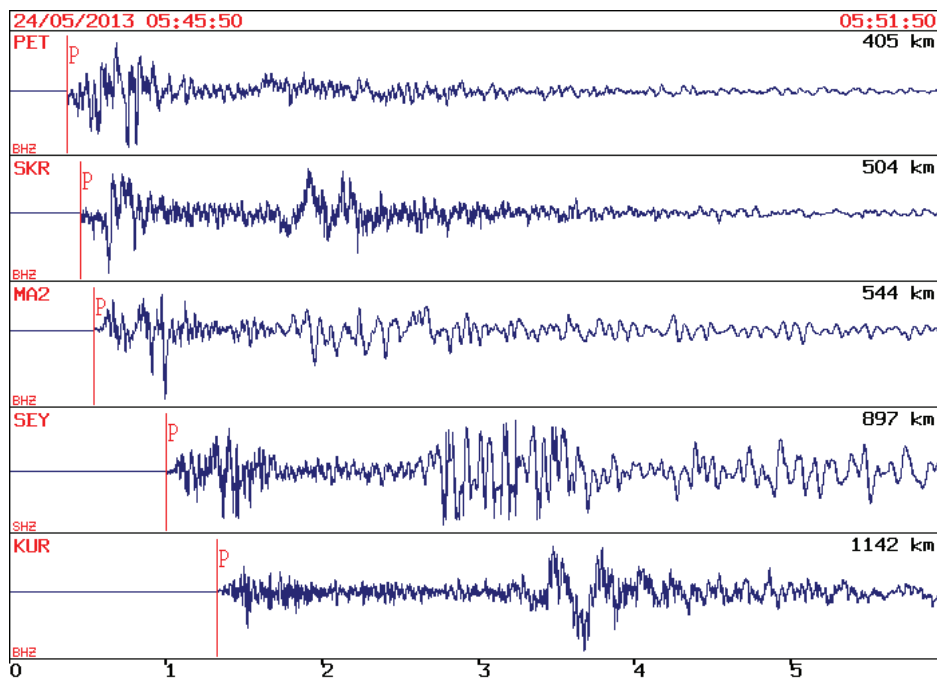


Рис. 6. Акселерограмма Охотоморского землетрясения, 24 мая 2013 г. [8]

**Основные выводы:**

1. Наибольшая сейсмическая активность в России характерна для территорий Дальнего Востока.
2. Опыт произошедших землетрясений показывает соответствие реальных событий и карт ОСР, которые используются при проектировании зданий и сооружений в сейсмически опасных регионах строительства.
3. Строительство в наиболее сейсмоопасных регионах стоит вести по картам ОСР-2015-В или ОСР-2015-С. Охотоморское землетрясение 2013 года показало, что не всегда карты ОСР-2015-А корректно отображают реальную действительность. Интенсивность этого землетрясения и его отголоски, прошедшие через огромные территории, показали превышение параметров над картой ОСР-2015-А. При этом землетрясение соответствует картам ОСР-2015-В и ОСР-2015-С.
4. Амплитуда ускорений и интенсивность землетрясения находятся в прямой зависимости: чем больше одно значение, тем выше второе. Взаимозависимости частот колебаний от данных параметров не обнаружено.

Работа выполнена при поддержке Научно-образовательного центра Нижегородской области «Техноплатформа 2035» в рамках соглашения № 16-11-2021/55.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Динамический анализ высотного здания в г. Иркутске при ветровых и сейсмических воздействиях / П. А. Хазов, Л. Ю. Цветнова, А. М. Гордеевцева, Д. В. Сахарова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4. – С. 48–55.
2. Хазов, П. А. Динамический анализ изгибно-крутильных колебаний каркасного здания с неравномерным распределением жесткостей при сейсмических воздействиях / П. А. Хазов, Л. Ю. Цветнова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3. – С. 24–38.
3. Сравнение динамических расчетных моделей при определении частот и форм собственных колебаний большепролетной стальной фермы покрытия здания велодрома / П. А. Хазов, Н. И. Молодушная, Б. Б. Лампси, Ю. Д. Щелокова, А. М. Анущенко. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 2. – С. 16–25.
4. Теория и практика расчетов строительных сооружений на сейсмостойкость по акселерограммам / Ю. П. Назаров, Ю. Н. Жук, Е. В. Позняк, Ю. В. Панасенко, В. В. Курнавин. – Текст : непосредственный // Тезисы докладов XI Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием). – Москва. – 2015. – С. 131–132.
5. Землетрясения в России. – URL: <https://earthquaketrack.ru/country/ru/> (дата обращения: 27.12.21). – Текст : электронный.
6. Еманов, А. Ф. Чуйское землетрясение 27 сентября 2003 года с $MS=7.3$, $Kp=17$ (Горный Алтай) / А. Ф. Еманов, А. А. Еманов, Е. В. Лескова, Ю. И. Колесников, А. В. Фатеев, А. Г. Филина. – Текст : непосредственный // Сильные и ощутимые землетрясения. – Новосибирск, 2003. – С. 326–343.
7. Wikipedia : свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. (дата обращения: 27.12.21). – Текст : электронный.
8. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук». – URL: <http://www.ceme.ggras.ru/new/about.html/> (дата обращения: 27.12.21). – Текст : электронный.
9. Цветнова, Л. Ю. Способы гашений колебаний в строительных конструкциях / Л. Ю. Цветнова. – Текст : электронный // IX Всероссийский фестиваль науки : сбор-



ник докладов / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – С. 218–221. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42331111_99612405.pdf.

10. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 мая 2018 г. № 309/пр : актуализированная редакция СНиП II-7-81* дата введения 25 ноября 2018 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571>. – Текст : электронный.

KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; TYAGUNOVA Lidiya Yurevna, senior teacher of the chair of foundation and engineering geology; GORDEEVTSOVA Anastasiya Maksimovna, undergraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; DEULINA Nataliya Mikhaylovna, undergraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics

DISTRIBUTION OF PREVAILING FREQUENCIES AND ANALYSIS OF CALCULATION EARTHQUAKES IN SEISMIC REGIONS OF RUSSIA

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919; e-mail: khazov.nngasu@mail.ru, tyagunovaly@yandex.ru, nasyta98@mail.ru, nataliadeul98@gmail.com

Key words: earthquakes, seismic vibrations, natural frequency, acceleration amplitude, seismic load, magnitude of earthquake.

The article provides a review of the strongest earthquakes of the 21st century, a comparative analysis of earthquake characteristics based on real accelerograms. Maximum and minimum accelerations amplitudes and corresponding oscillation frequencies are calculated. An example of an earthquake exceeding the values set by GSZ-2015-A (general seismic zoning) maps is considered. The conclusion is made about compliance of maps of GSZ and real seismic activity in the territory of Russia.

REFERENCES

1. Khazov P. A., Tsvetnova L. Yu., Gordeevtseva A. M., Sakharova D. V. Dinamicheskiy analiz vysotnogo zdaniya v gorode Irkutske pri vetrovykh i seysmicheskikh vozdeystviyakh [Dynamic analysis of a frame high-rise building in Irkutsk under wind and seismic impacts]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2021. № 4. P. 48–55.
2. Khazov P. A., Tsvetnova L. Yu., Dinamicheskiy analiz izgibno-krutilnykh kolebaniy karkasnogo zdaniya s neravnomernym raspredeleniem zhyostkostey pri seysmicheskikh vozdeystviyakh [Dinamic analysis of flexion-torsional vibrations of a frame building with unequal distribution of rigidity under seismic impact]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2021. № 3. P. 24–38.
3. Khazov P. A., Molodushnaya N. I., Lampsi B. B., Schyolokova Yu. D., Anuschenko A. M. Svravnenie dinamicheskikh raschyotnykh modeley pri opredelenii chastot i form sobstvennykh kolebaniy bolsheprolyotnoy stalnoy fermny pokrytiya zdaniya velodroma [Comparison of dynamic computational models in determining frequencies and forms of natural vibration of the large-span steeltruss of the velodrome building roofing]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2019. № 2. P. 16–25.
4. Nazarov Yu. P., Zhuk Yu. N., Poznyak E. V., Panasenkov Yu. V., Kurnavin V. V. Teoriya



i praktika raschyotov stroitelstva sooruzheniy na seysmostoykost po akselerogrammam [The theory and practice of calculating building structures for earthquake resistance according to accelerograms] // Tezisy dokladov XI Rossiyskoy natsionalnoy konferentsii po seysmostoykomu stroitelstvu i seysmicheskomu rayonirovaniyu (s mezhdunarodnym uchastiem) [Abstracts of the XI Russian National Conference on Earthquake Engineering and Seismic Zoning (with international participation)]. – Moscow – 2015. – P. 131–132.

5. Zemletryaseniya v Rossii [Earthquakes in Russia]. – URL: <https://earthquaketrack.ru/country/ru/>. (data obrascheniya: 27.12.21).

6. Emanov A. F., Emanov A. A., Leskova E. V., Kolesnikov Yu. I., Fateev A. V., Filina A. G. Chuyskoye zemletryasenie 27 sentyabrya 2003 goda s $MS=7.3$, $Kp=17$ (Gorny Altai) [Chui earthquake of September 27, 2003 with $MS=7.3$, $Kp=17$ (Gorny Altai) // Silnye i oschyutimye zemletryaseniya [Strong and tangible earthquakes] / Novosibirsk, 2003. – P. 326–343.

7. Wikipedia : svobodnaya entsiklopediya [Wikipedia : free encyclopedia]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. (data obrascheniya: 27.12.21).

8. Federalnoe gosudarstvennoe budzhetnoe uchrezhdenie nauki Federalny issledovatel'skiy tsentr «Edinaya geofizicheskaya sluzhba Rossiyskoy akademii nauk [Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center "Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences"]. – URL: <http://www.ceme.gras.ru/new/about.htm/>. (data obrascheniya: 27.12.21).

9. Tsvetnova L. Yu. Sposoby gasheniy kolebaniy v stroitelnykh konstruktsiyakh [Methods of vibration damping in construction structures] // IX Vserossiyskiy festival nauki. Sbornik dokladov [IX All-Russian Science Festival. Collection of reports] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2019. – P. 218–221. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42331111_99612405.pdf.

10. SP 14.13330.2018. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh [Construction in seismic areas] : svod pravil : utverzhd. prikazom Min-va stroit. i zhilishchno-kommunal. khoz-va RF ot 24 maya 2018 g. № 309/pr : aktualizirivannaya redaktsiya SNiP II-7-81*. Data vved. 25 noyabrya 2018 g. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571>.

© П. А. Хазов, Л. Ю. Тягунова, А. М. Гордеевцева, Н. М. Деулина, 2022

Получено: 27.12.2021 г.

УДК 624.07:725.826

М. А. ОКУНЕВА¹, инженер; Д. В. САХАРОВА², магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; П. А. ХАЗОВ², канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики

САМОСОГЛАСОВАННАЯ СИСТЕМА «НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ – УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ» С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ВАНТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

¹Экспертная организация ООО «Диаформ»

Россия, 603086 г. Н. Новгород, ул. Мануфактурная, д. 14. Тел.: (831) 282-06-45; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru, saharok_ook@mail.ru