

УДК.550.343.4

DOI [10.37153/2618-9283-2024-1-22-30](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2024-1-22-30)

Техническое регулирование и развитие норм проектирования

Проверка нормативных формул оценки уровня ускорений в СП 286.1325800.2016 «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования» на реальных данных

Елена Владимировна Дещеревская¹, Ольга Витальевна Павленко¹

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

Москва, Российская Федерация

Аннотация: Нормативные формулы СП 286.1325800.2016 оценки пиковых ускорений при землетрясениях проверялись на записях, полученных в приразломных зонах сильных землетрясений ($M_S \sim 6.9 \div 7.15$) Японии станциями K-NET и KiK-net. Получено, что зарегистрированные значения пиковых ускорений имеют довольно большой разброс даже в выбранном узком диапазоне магнитуд, очевидно связанный с локальными эффектами землетрясений (откликом грунта, топографическими эффектами и т.п.), а также с различиями характеристик очагов и среды распространения сейсмических волн. Расчеты по нормативным формулам оказались вблизи нижней границы зарегистрированных пиковых ускорений, и вблизи очага они заметно недооценивают пиковые ускорения. В целом, формулы СП 286.1325800.2016 дают лишь довольно приблизительные оценки, и поэтому необходимо разработать более надежные методы оценки пиковых ускорений и других параметров сейсмических воздействий, очевидно с учетом грунтовых условий и региональных особенностей, с компонентами вероятностного анализа.

Ключевые слова: пиковые ускорения, нормативные формулы детального сейсмического районирования, локальные эффекты землетрясений, отклик грунта

Для цитирования: Дещеревская Е.В., Павленко О.В. Проверка нормативных формул оценки уровня ускорений в СП 286.1325800.2016 «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования» на реальных данных // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2024. № 1. С.22–30.

DOI [10.37153/2618-9283-2024-1-22-30](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2024-1-22-30)

Technical regulation and design standards development

Verification of regulatory formulas for assessing the level of accelerations in SP 286.1325800.2016 "Construction facilities of increased responsibility. Rules of detailed seismic zonation" based on real data

Elena V. Deshcherevskaya¹, Olga V. Pavlenko¹

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences.

Moscow, Russian Federation

@ Deshcherevskaya E.V., Pavlenko O.V., 2024

Abstract: The normative formulas of SP 286.1325800.2016 for estimation of peak ground accelerations in earthquakes were checked on records obtained in the near-fault zones of strong earthquakes ($M_S \sim 6.9 \div 7.15$) of Japan made by K-NET and KiK-net stations. It was found that the recorded values of peak accelerations have a fairly large scattering even in the selected narrow range of magnitudes, which is obviously due to local site effects (soil response, topographic effects, etc.), as well as to differences in the characteristics of the earthquake sources and the paths of seismic wave propagation. Calculations by the normative formulas produced estimates that are near the lower limit of the recorded peak accelerations, and in the near-source zones, they noticeably underestimate the recorded peak accelerations. In general, the formulas of SP 286.1325800.2016 give us only approximate estimates, and therefore, it is necessary to develop more reliable methods for estimating peak accelerations and other parameters of seismic motion, taking into account soil conditions and regional characteristics, with components of probabilistic analysis.

Keywords: peak accelerations, normative formulas of the detailed seismic zonation, local site effects, soil response

For citation: Deshcherevskaya E.V., Pavlenko O.V. Verification of regulatory formulas for assessing the level of accelerations in SP 286.1325800.2016 "Construction facilities of increased responsibility. Rules of detailed seismic zonation" based on real data. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2024, no. 1, pp. 22–30.

DOI [10.37153/2618-9283-2024-1-22-30](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2024-1-22-30)

Введение

Свод правил «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования» СП 286.1325800.2016 [2] введены в действие с середины 2017 г. Приказом Минстроя от 16 декабря 2016 г. Раздел 8 СП посвящен расчету прогнозных сейсмических воздействий, и в параграфе 8.3 представлены нормативные формулы, по которым следует оценивать уровень ускорений на поверхности грунта при сильных движениях.

Наш интерес к данному СП связан, в частности, с тем, что наша научная группа участвовала в работах по оценке сейсмической опасности на трассе Северомуйского тоннеля, наряду с коллегами из Института земной коры СО РАН, г. Иркутск, и наши оценки уровня пиковых ускорений, сделанные на основе анализа записей местных землетрясений, с учетом региональных особенностей излучения и распространения сейсмических волн в Байкальской рифтовой зоне, отличались от оценок коллег из Института земной коры, которые были взяты непосредственно из СП 286.1325800.2016 и составляли постоянную величину 5 м/с^2 .

К настоящему времени в мировой базе данных по сильным движениям накоплен представительный материал, показывающий существенные региональные различия характеристик сейсмических очагов и среды распространения сейсмических волн. Землетрясения, различающиеся по типам – субдукционные, коровые землетрясения и землетрясения стабильных континентальных плит – имеют существенно различные значения сброшенных напряжений, что напрямую связано с уровнем пиковых ускорений на поверхности; в разных регионах различны и характеристики среды распространения сейсмических волн, которые определяются частотно-зависимой добротностью среды и параметром каппа, описывающим затухание волн на высоких частотах, что также определяет уровень пиковых ускорений в пунктах регистрации.

Между тем, согласно СП 286.1325800.2016, пиковое ускорение грунта PGA зависит лишь от магнитуды, типа подвижки по разлому и расстояния между поверхностью разрыва и точкой наблюдения. Не предполагается зависимости уровня пиковых ускорений ни от региона, ни от периода повторяемости землетрясений.

В настоящей работе выполнялась проверка нормативных формул СП 286.1325800.2016 по реальным сейсмическим данным. В качестве таких данных взяты записи сетей сильных движений Японии K-NET и KiK-net, которые накапливаются с момента установки сетей в 1996 году и на сегодняшний день представляют собой наиболее полную базу данных по сильным движениям в мире.

Данные и методы исследования

Для анализа выбраны записи сильных коровых землетрясений Японии с глубинами очагов до 20 км и с магнитудами $M_{JMA} \sim 6.8 \div 7.0$ (где M_{JMA} – магнитуды, используемые в Японии – Японского Метеорологического Агентства), записанные японскими сейсмическими сетями вертикальных групп акселерометров KiK-net и поверхностных акселерометров K-NET.

Пиковые ускорения, зарегистрированные на поверхности, на горизонтальных компонентах в приразломных зонах (на гипоцентральных расстояниях ≤ 70 км) сравнивались с пиковыми ускорениями, рассчитанными для таких землетрясений по формулам СП 286.1325800.2016. Шкала магнитуд M_{JMA} , используемая в Японии, отличается от шкалы магнитуд M_s по поверхностным волнам, используемой в России и в СП 286.1325800.2016. Для перевода магнитуд M_{JMA} в используемые в России магнитуды M_s применены соотношения, описанные в работе [1]; в этой работе магнитуде M_s (СП 286.1325800.2016) соответствует магнитуда M_s^{OB} (г. Обнинска, где располагается центральный офис Геофизической Службы РАН). Эта магнитуда может иметь и другое обозначение – M_{LH} (это та же магнитуда M_s [3]).

В работе [1] магнитуда M_s^{OB} определяется как магнитуда, для расчетов которой использована «пражская формула» – максимум отношения A/T на региональных расстояниях от 2° [4], а в работе [5] поясняется, что магнитуда, для расчета которой используется «пражская формула», имеет в современной символике обозначение $M_s(BB)$ и является стандартом в мировой и российской сейсмологии; она использовалась в СССР – России с момента ее создания. Соотношение магнитуд M_s и M_{JMA} , согласно работе [1], представлено на рис. 1.

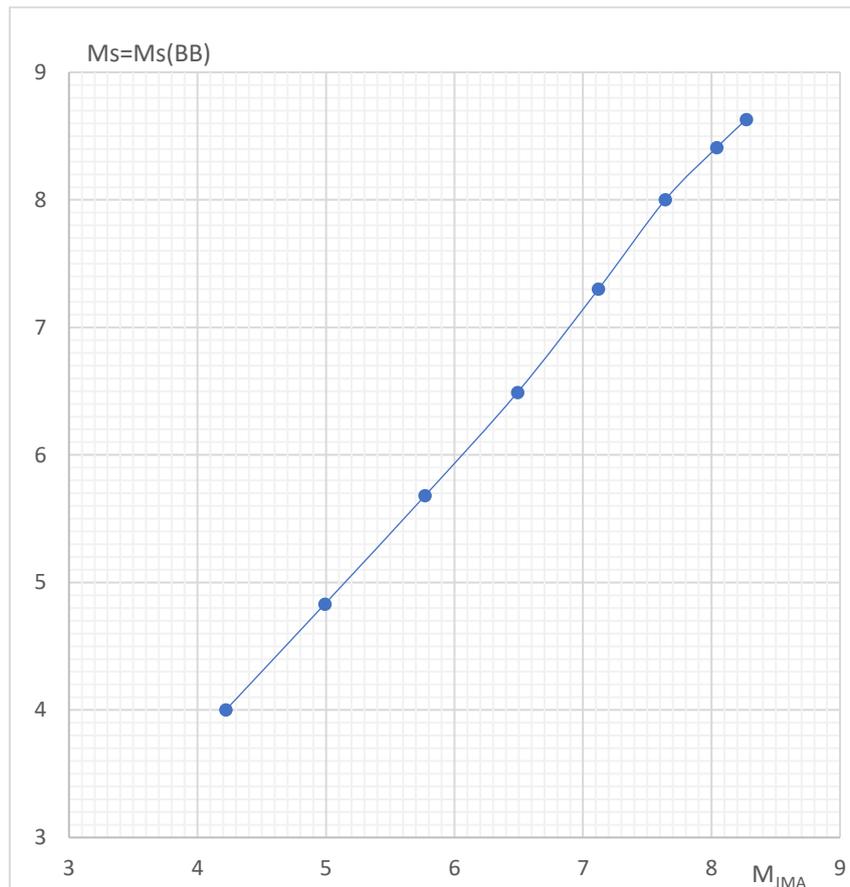


Рисунок 1 – Соотношение магнитуд M_s и M_{JMA} , согласно работе [1]

Figure 1 – The ratio of magnitudes M_s and M_{JMA} , according to [1]

В таблице 1 представлен каталог изучаемых в настоящей работе землетрясений, а на рис. 2 указаны положения эпицентров землетрясений. Магнитуда M_{JMA} в каталогах KiK-net и K-NET дается с точностью 0.1, и в двух последних столбцах таблицы 2 указаны магнитуды M_{JMA} и соответствующие им магнитуды M_s . Таким образом, в настоящей работе изучаются записи землетрясений в диапазоне магнитуд $M_s \sim 6.9 \div 7.15$.

Таблица 1 – Каталог изучаемых землетрясений

Table 1 – Catalog of the studied earthquakes

Дата, время	Координаты очага		Глубина очага, км	Магнитуда	
	с.ш., °	в.д., °		M_{JMA}	M_s
23/10/2004 17:56	37.291	138.867	13	6.8	6.9
20/03/2005 10:53	33.738	130.175	9	7	7.15
25/03/2007 09:42	37.22	136.685	11	6.9	7.0
16/07/2007 10:13	37.557	138.608	17	6.8	6.9
11/04/2011 17:16	36.945	140.672	6	7	7.15

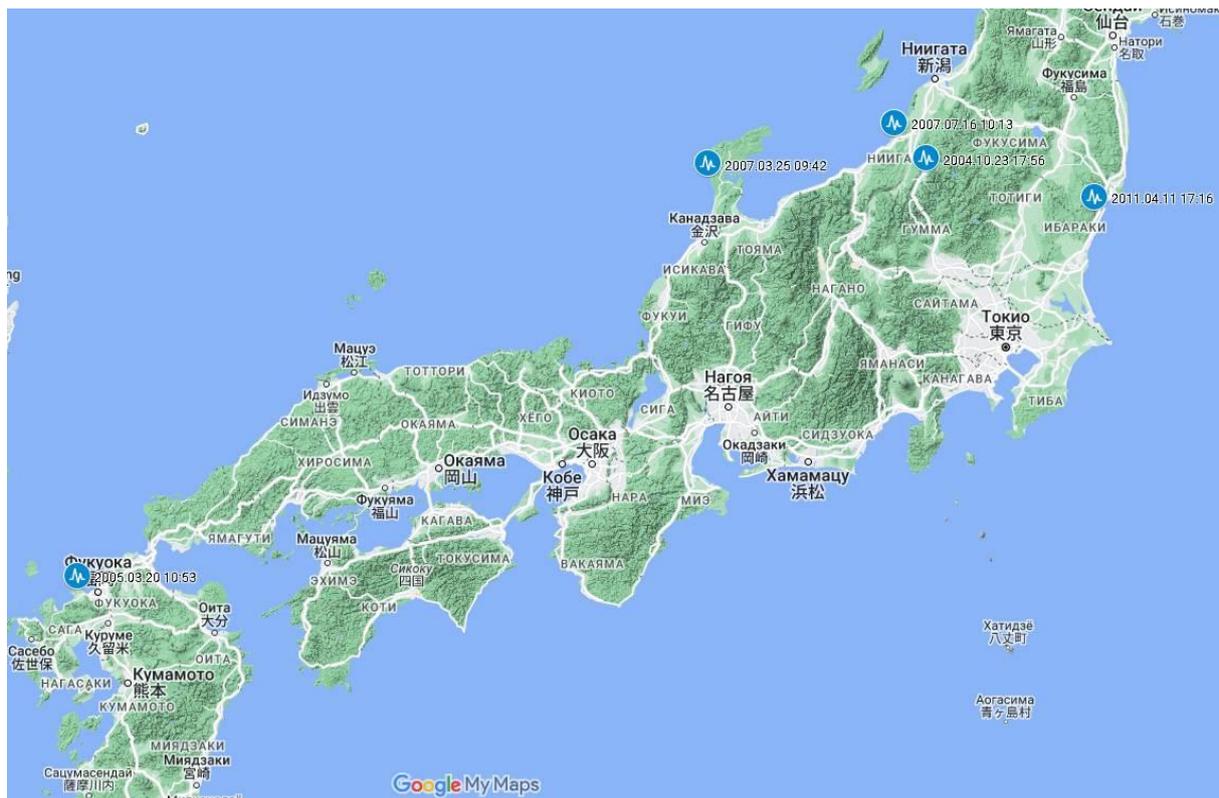


Рисунок 2 – Расположение эпицентров землетрясений, изучаемых в настоящей работе

Figure 2 – Locations of the epicenters of the studied earthquakes

Результаты и заключение

Изучаемая выборка включает 145 записей землетрясений; из них 52 трехкомпонентные записи – записи вертикальных групп акселерометров KiK-net, сделанные приборами на поверхности, и 93 записи – записи поверхностных акселерометров K-NET.

Согласно СП 286.1325800.2016, пиковые ускорения на поверхности зависят лишь от магнитуды, типа подвижки по разлому и расстояния между поверхностью разрыва и точкой наблюдения. Выделяют три зоны с различным затуханием: очаговая, ближняя и дальняя; граница между очаговой и ближней зонами находится на расстоянии

$$Lg R_{o-\delta} = 0.33 M_s - 1.51, \quad (1)$$

а граница между ближней и дальней зонами находится на расстоянии

$$Lg R_{\delta-d} = 0.33 M_s - 0.61; \quad (2)$$

значение PGA на этой границе полагается равным 1.7 м/с^2 при любых условиях.

Для изучаемого диапазона магнитуд граница очаговой и ближней зон проходит на удалении $\sim 5.9\text{--}7.1$ км от очага, а граница ближней и дальней зон – на удалении $\sim 46.55\text{--}6.2$ км от очага.

В изучаемой выборке не нашлось ни одной записи в очаговой зоне; 79 записей получены в ближней зоне и 66 – в дальней зоне.

Согласно СП 286.1325800.2016, для целей детального сейсмического районирования допускается считать значения ускорений в очаговой зоне PGA_0 не

зависящими от расстояния и категории грунта, но зависящими от типа подвижки в очаге: 10 м/с² для поддвигов, 8.7 м/с² для взбросов (надвигов), 7.6 м/с² для взборо-сдвигов, 6.6 м/с² для сдвигов, 5.8 м/с² для сбросо-сдвигов и 5 м/с² для сбросов.

В ближней зоне пиковые ускорения в м/с² вычисляются по формуле

$$Lg PGA = 0.209 Ms - 0.633 lg R - 0.156, \quad (3)$$

где R – кратчайшее расстояние до поверхности разлома в километрах.

Значения ускорений в ближней зоне не должны превышать PGA_0 . В ближней зоне ускорения полагаются не зависящими ни от типа подвижки, ни от категории грунта.

Ускорения в дальней зоне вычисляются по формуле

$$Lg PGA = 0.634 Ms - 1.92 lg R - 0.94 + C, \quad (4)$$

где значения коэффициента C равны -0.17 для грунтов 1-й категории, 0.0 для грунтов 2-й категории и 0.17 для грунтов 3-й и 4-й категорий. Рекомендуется обе горизонтальные компоненты принимать равными более интенсивной.

На рис. 3 представлена зависимость пиковых ускорений, рассчитанных по формулам СП 286.1325800.2016 (3) и (4), и зарегистрированных при изучаемых землетрясениях от гипоцентральных расстояний R . Используемые в формулах СП расстояния можно с хорошей степенью точности считать близкими к гипоцентральному расстоянию для диапазона изучаемых магнитуд.

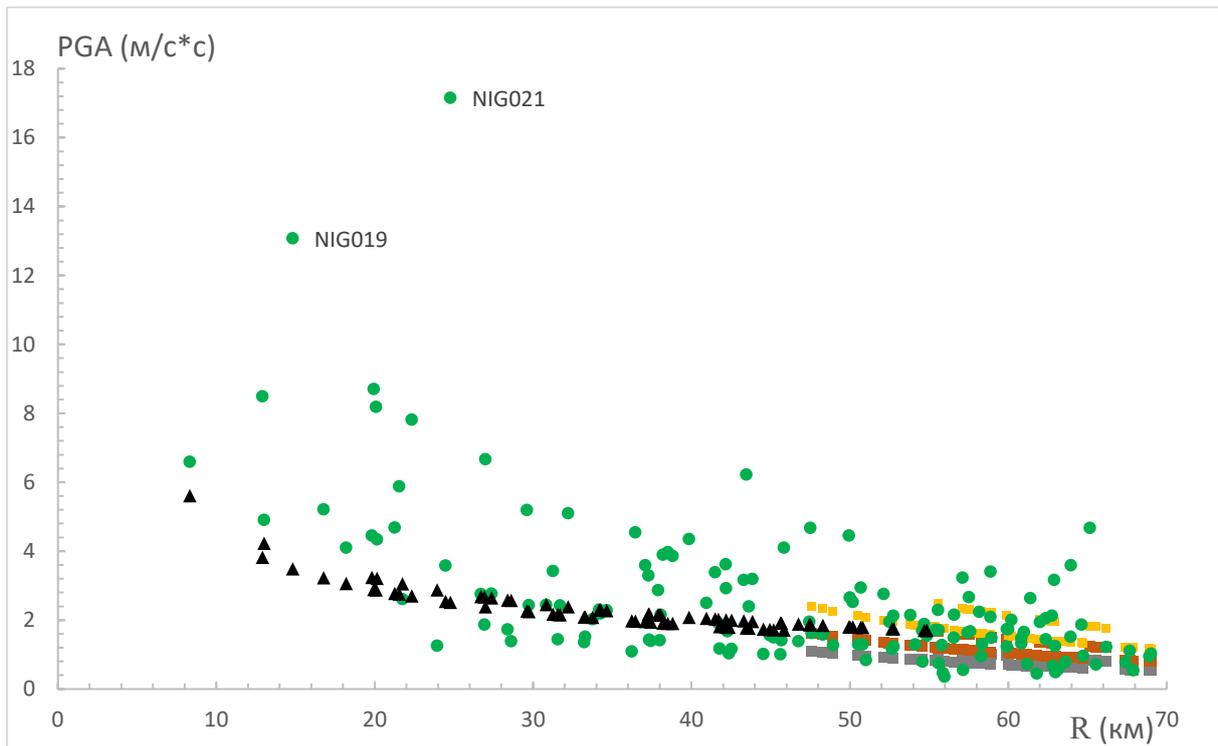


Рисунок 3 – Пиковые ускорения: зарегистрированные – зеленые кружочки, рассчитанные по формулам СП 286.1325800.2016 – черные треугольники (ближняя зона) и темно-серые, коричневые и желтые квадратики (дальняя зона) для грунтов категорий (1), (2) и (3, 4) соответственно. R – гипоцентральные расстояния (км)

Figure 3 – Peak accelerations: recorded – green circles, calculated according to the formulas of SP 286.1325800.2016 – black triangles (near-fault zone), and dark gray, brown and yellow squares (far zone) for soils of categories (1), (2) and (3, 4), respectively. R – hypocentral distances (km)

Как видно из рисунка, зарегистрированные значения пиковых ускорений имеют довольно большой разброс даже в выбранном узком диапазоне магнитуд и выбросы на отдельных станциях. Так, на станции NIG021 (K-NET) на гипоцентральных расстоянии $R = 24.7$ км (землетрясение 23/10/2004 17:56) зарегистрированное $PGA = 17.2$ м/с² почти в 7 раз превышает рассчитанное $PGA = 2.5$ м/с². При этом же землетрясении на станции NIG019 (K-NET) при гипоцентральных расстоянии $R = 14.8$ км зарегистрированное $PGA = 13.0$ м/с² также существенно превышает расчетное $PGA = 3.5$ м/с².

Существенный разброс зарегистрированных пиковых ускорений может быть связан, в первую очередь, с локальными эффектами на станциях (влиянием отклика грунта, эффектами поверхностной топографии и топографии внутренних границ и т.п.), а также с различиями характеристик очагов и среды распространения сейсмических волн.

Расчеты по нормативным формулам СП 286.1325800.2016, вообще говоря, ложатся на экспериментальные данные на гипоцентральных расстояниях больше ~ 25 км (10–20 км – это примерно половина длины разломной плоскости землетрясений выбранного диапазона магнитуд), но при этом они ближе к нижней границе зарегистрированных пиковых ускорений, а при меньших гипоцентральных расстояниях они заметно недооценивают пиковые ускорения.

В целом результаты работы показывают, что нормативные формулы СП 286.1325800.2016, определяющие уровень пиковых ускорений для строительных объектов повышенной ответственности, дают лишь довольно приблизительные оценки, и поэтому необходимо разработать более надежные методы оценки пиковых ускорений и других параметров сейсмических воздействий, очевидно с учетом региональных особенностей и периодов повторяемости сильных землетрясений, с компонентами вероятностного анализа.

Список литературы

1. Гусев А.А., Мельникова В.Н. Связи между магнитудами – среднемировые и для Камчатки // *Вулканология и сейсмология*. 1990. № 6. С. 55–63.
2. СП 286.1325800.2016. Свод правил «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования». Дата введения 2017-06-17
3. Уломов В.И., Богданов М.И., Трифонов В.Г., Гусев А.А., Гусев Г.С., Акатова К.Н., Аптикаев Ф.Ф., Данилова Т.И., Кожурин А.И., Медведева Н.С., Никонов А.А., Перетокин С.А., Пустовитенко Б.Г., Стром А.Л. Пояснительная записка к комплекту карт Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-2016 // *Инженерные изыскания*. 2016. № 7. С. 49–122.
4. Ванек И., Затопек А., Карник В., Кондорская Н.В., Ризниченко Ю.В., Саваренский Е.Ф., Соловьев С.Л., Шебалин Н.В. Стандартная шкала магнитуд // *Изв. АН СССР. Сер. геофизич.* 1962. № 2. С. 153–158.
5. Чубарова О.С., Гусев А.А. Региональная шкала магнитуд по поверхностным волнам для землетрясений Дальнего Востока России // *Физика Земли*. 2017. № 1. С. 60–71. doi: 10.7868/S0002333716060028

References

1. Gusev A.A., Mel'nikova V.N. Svyazi mezhdru magnitudami – srednemirovye i dlya Kamchatki. *Vulkanologiya i sejsmologiya*. 1990, no. 6, pp. 55–63. [In Russian]
2. SP 286.1325800.2016. Svod pravil «Ob'ekty stroitel'nye povyshennoj otvetstvennosti. Pravila detal'nogo sejsmicheskogo rajonirovaniya». Data vvedeniya 2017-06-17. [In Russian]
3. Ulomov V.I., Bogdanov M.I., Trifonov V.G., Gusev A.A., Gusev G.S., Akatova K.N., Aptikaev F.F., Danilova T.I., Kozhurin A.I., Medvedeva N.S., Nikonov A.A., Peretokin S.A., Pustovitenko B.G., Strom A.L. Poyasnitel'naya zapiska k komplektu kart obshchego sejsmicheskogo rajonirovaniya territorii Rossijskoj Federatsii OSR-2016. *Inzhenernye izyskaniya*. 2016, no. 7, pp. 49–122. [In Russian]
4. Vanek I., Zatopek A., Karnik V., Kondorskaya N.V., Riznichenko Yu.V., Savarenskij E.F., Solov'ev S.L., Shebalin N.V. Standartnaya shkala magnitud. *Izv. AN SSSR. Ser. geofizich.* 1962, no. 2, pp. 153–158. [In Russian]
5. Chubarova O.S., Gusev A.A. Regional'naya shkala magnitud po poverhnostnym volnam dlya zemletryasenij Dal'nego Vostoka Rossii. *Fizika Zemli*. 2017, no. 1, pp. 60–71. doi: 10.7868/S0002333716060028 [In Russian]

Информация об авторах / Information about authors

Дещеревская Елена Владимировна, старший научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Москва, Российская Федерация
deelv@gmail.com

Elena V. Deshcherevskaya, Senior Researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Russian Federation
deelv@gmail.com

Павленко Ольга Витальевна, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией инженерной сейсмологии и интерпретации сейсмических наблюдений № 306, институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Москва, Российская Федерация
olga@ifz.ru

Olga V. Pavlenko, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Head of the Laboratory of Engineering Seismology and Interpretation of Seismic Observations No. 306, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Russian Federation
olga@ifz.ru