

УДК 550.34+550.341

DOI: [10.46698/VNC.2021.11.83.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.11.83.005)

Оригинальная статья

## О вероятности превышения воздействий в строительных нормах

Ф. Ф. Аптикаев 

ФБГУН Институт физики Земли РАН, Россия, 123242, Москва,  
ул. Большая Грузинская, 10, стр. 1, e-mail: felix@ifz.ru

Статья поступила: 02.07.2021, доработана: 02.08.2021, принята к публикации: 19.08.2021

**Резюме: Актуальность работы.** Во всем мире на картах сейсмической опасности приводятся наиболее вероятные значения сейсмических воздействий. В соответствии с допустимым риском эти значения могут быть увеличены. Например, в международных нормах для расчета сейсмостойкости радиационно-опасных объектов наиболее вероятные значения ускорений увеличиваются на величину стандартного отклонения. В отечественных строительных нормах предполагается использование наиболее вероятных значений. Считается, что вследствие различных факторов расчеты воздействий сопровождаются некоторыми погрешностями, вследствие чего оценки воздействий могут быть завышены на 10, 5 и 1% для карт ОСР А, В и С соответственно. Эти оценки были существенно увеличены при округлении оценок интенсивности до целочисленных значений баллов. Однако в пояснительной записке это не было отражено. Поэтому вместо 10, 5 и 1% для карт ОСР А, В и С следуют значения 50, 45 и 41% соответственно. Поскольку баллы нельзя непосредственно использовать в инженерных расчетах, согласно строительным нормам, производится пересчет баллов в ускорения по шкале MSK-64. Однако, еще создатели шкалы MSK-64 в карт ОСР и шкалы MSK-64 указывали, что шкала занижает оценки ускорений примерно в полтора раза. Причина – в шкале MSK-64 приводятся не реальные, а фильтрованные значения. Во время создания этой шкалы основная масса зданий имела не более 5 этажей. Фильтрацией удалялись низкочастотные составляющие, неопасные для существующих зданий. **Цель работы** – оценить реальную вероятность превышения уровня воздействий при расчетах сейсмостойкости зданий и сооружений. **Методы исследования** – анализ процедур оценки расчетных воздействий с использованием карт ОСР и строительных норм. **Результаты работы** – показано, что нормативный уровень ускорений при расчетах сейсмостойкости более, чем в два раза ниже реальных значений.

**Ключевые слова.** Строительные нормы, сейсмические воздействия, карты ОСР, шкала MSK-64, вероятность превышения уровня расчетных воздействий.

**Для цитирования:** Аптикаев Ф. Ф. О вероятности превышения воздействий в строительных нормах. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (3): 55 – 62. DOI: [10.46698/VNC.2021.11.83.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.11.83.005).

[DOI: 10.46698/VNC.2021.11.83.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.11.83.005)

Original paper

## An exceedance probability of the influence in the Building Code

F. F. Aptikaev 

Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 10/1  
Bolshaya Gruzinskaya, Moscow 123242, Russian Federation, e-mail: felix@ifz.ru

Received: 02.07.2021, revised: 02.08.2021, accepted: 19.08.2021

**Abstract: Relevance.** All over the world, the most probable values of seismic impacts are shown on seismic hazard maps. According to the acceptable risk, these values can be increased. In domestic building codes, it is customary to use the most likely values. It is believed that due to various factors, the impact calculations are accompanied by some errors, as a result of which the impact estimates may be overstated by 10, 5 and 1% for the general SRF maps A, B and C, respectively. However, these estimates were significantly increased when rounding the intensity estimates to integer values of the scores. However, this was not reflected in the explanatory note. Since the points cannot be directly used in engineering calculations, according to the building codes, the points are converted into accelerations on the MSK-64 scale. However, even the creators of the OSR maps and the MSK-64 scale indicated that the scale underestimates the acceleration estimates by about one and a half times. **The Aim of the work** is to assess the real probability of exceeding the impact level when calculating the seismic resistance of buildings and structures. **Research methods** – analysis of procedures for assessing calculated impacts using SRF maps and building codes. **Results of the work** – it is shown that the standard level of accelerations in the calculations of seismic resistance is more than twice lower than the real values.

**Keywords:** Building codes, seismic impacts, OSR maps, MSK-64 scale, probability of exceeding the level of calculated impacts.

**For citation:** Aptikaev F.F. An exceedance probability of the influence in the Building Code. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (3): 55 – 62. DOI: 10.46698/VNC.2021.11.83.005.

### Введение

На картах ОСР (рис. 1-2) приводятся наиболее вероятные оценки ожидаемой интенсивности в баллах. Обозначим эту величину символом  $h_n$ . Для расчета сейсмостойкости объектов уровень воздействий увеличивается в соответствии с допустимым риском. Например, для радиационно-опасных объектов в международных нормах, расчетный уровень воздействий повышается на величину стандартного отклонения. Считается, что картам ОСР-А, В, С соответствуют вероятности превышения воздействий в баллах в 10, 5 и 1% соответственно (что не совпадает с оценками по правилам статистики [Аптикаев, 2020]). Обозначим величину номинальных превышений символом  $h_1$ . Проектировщики часто воспринимают это положение так, что добавка этих процентов переведет воздействия в следующий балл. Но это не так. Превышения задаются относительно средних, наиболее вероятных значений. Например, если карте А соответствует интенсивность 7 баллов, то превышение составит 60%.

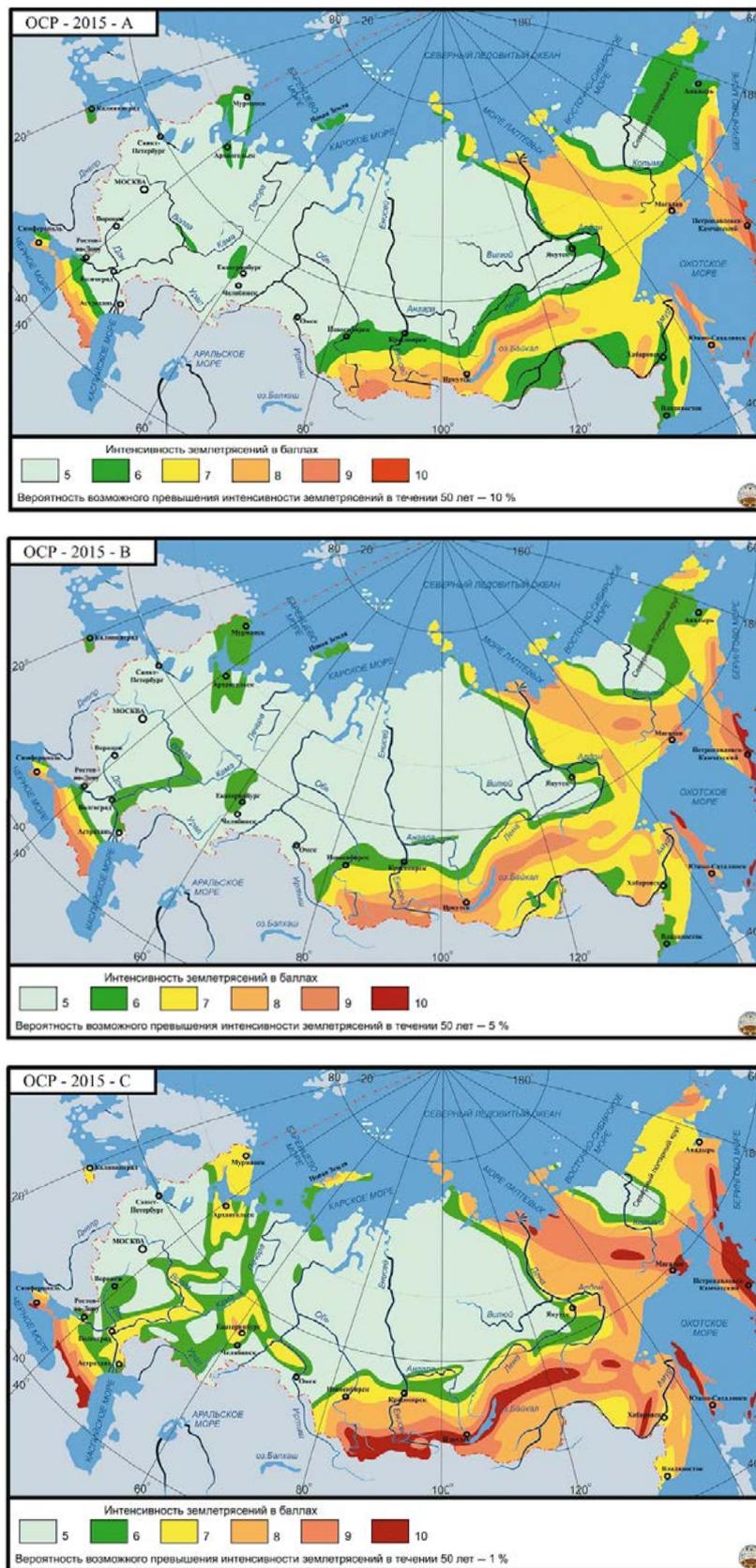


Рис. 1. Карты общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – OCP-2015 /

Fig. 1. General seismic zoning maps of the Russian Federation – GSZ-2015

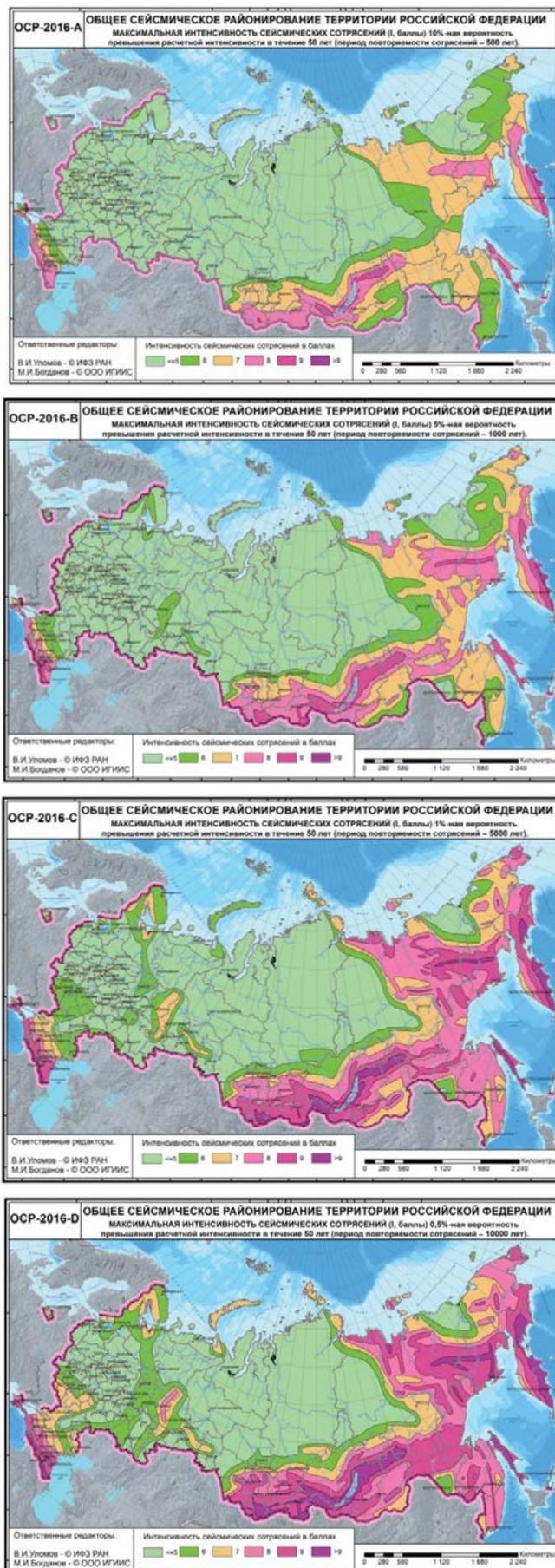


Рис. 2. Карты общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-2016 /

Fig. 2. General seismic zoning maps of the Russian Federation – GSZ-2016

## Методы исследования

**Анализ расчетов вероятностей и их оценки.** Расчеты вероятностей ведутся по формулам, предполагающим непрерывность переменных величин. Именно так и были получены упомянутые выше оценки 10, 5, 1%. При конечном формировании карт ОСР проведено округление оценок до целочисленных значений баллов. Следовательно, допускается превышение воздействий на 0,4 балла (половина балла увеличивается до целого). Тогда говорить о 10, 5 и 1% не приходится: 0,4 балла – это 40%. Обозначим эту величину символом  $h_1$ . Таким образом, для карты А, например, к наиболее вероятному значению превышения 50% добавляем расчетное превышение  $h_1 = 10\%$  и превышение, связанное с округлением  $h_2 = 40\%$  и в итоге получаем 100% вероятность превышения. Другими словами, карты ОСР занижают оценки воздействий на один балл.

## Результаты работы

Дальнейшее возрастание вероятности превышения уровня воздействий связано с пересчетом баллов в ускорения по шкале MSK-64, используемой в СП 14.13330.2018. В шкале MSK-64 приводятся фильтрованные значения ускорений (эффективных ускорений). С.В. Медведев [1978] и В.И. Уломов [1994] указывали, что фильтрованные амплитуды в MSK-64 примерно в 1,5 раза ниже реальных. Интенсивностям 7, 8 и 9 баллов соответствуют ускорения 100, 200 и 400 см/с<sup>2</sup> соответственно. Настораживает использование таких «круглых» значений. При создании шкалы MSK-64 записей сильных движений было недостаточно. Более или менее надежно можно было оценить значение ускорений только для 6 баллов. Для более высоких интенсивностей оценки получались путем экстраполяции при предположении об удвоении амплитуды ускорения при возрастании интенсивности на балл. Такое предположение связано с тем, что наблюдаемый диапазон ускорений 1-1000 см/с<sup>2</sup> примерно соответствует диапазону интенсивностей 2-12 баллов. Но оказалось, что ускорения насыщаются при 9.5 баллах и далее не растут. Более высоких напряжений горные породы не выдерживают. Эмпирические данные показали, что на поверхности разлома ускорения не зависят от магнитуды [Садовский и др., 1983; Hanks, Johnson, 1976; Trifunac, 1976; McGuire, Barnhard, 1979; Herrmann, Goetz, 1981; Bureau, 1981; Campbell, 1981; Bolt, Abrahamson, 1982; Составление..., 1999; Bommer, Martinez-Pereira, 2000; Bommer et al., 2004; de Nardis et al., 2014; Suzuki, Iervolino, 2017; Pacor et al., 2018; Huang, 2020; Zaalishvili et al., 2020]. Разбрасывая диапазон ускорений 1-1000 см/с<sup>2</sup> на интенсивности 2-9 баллов получаем увеличение амплитуды ускорения в 2,5 раза на балл, что подтвердилось и прямыми эмпирическими наблюдениями. В итоге в нашем СП для 9 баллов имеем 400 см/с<sup>2</sup>, а по эмпирическим данным у нас получено 700 см/с<sup>2</sup>, а в США – 800 см/с<sup>2</sup>. Разница в 14% объясняется тем, что в США при расчетах использовались записи последних 8 землетрясений. В это время количество станций в непосредственной близости к разлому существенно возросло, что привело к уменьшению продолжительности колебаний и возрастанию амплитуд.

Обозначим номинальную вероятность превышения на картах сейсмической опасности символом  $h_n = 50\%$ . Приращение вероятности превышения воздействий вследствие ошибок в шкале MSK-64 обозначим символом  $h_3$ . Для 7 баллов имеем  $h_3 = 10\%$ , для 8 баллов  $h_3 = 40\%$ , и для 9 баллов  $h_3 = 75\%$ .

Суммируя все составляющие приращений вероятности, получаем:

для 7 баллов  $h = 50 + 10 + 40 + 10 = 110\%$ ;

для 8 баллов  $h = 50 + 5 + 40 + 40 = 135\%$ ;

для 9 баллов  $h = 50 + 1 + 40 + 75 = 166\%$ .

Таким образом, в 9-тибалльной зоне расчеты ведутся на воздействия около 7,3 балла. И это без учета погрешностей, связанных с неоднозначностью пересчетов баллов в ускорения [Neuman, 1954; Murphy, O'Brien, 1977]. По эмпирическим данным фиксированным интенсивностям в баллах соответствует диапазон ускорений, более порядка.

### Выводы

Приведенные оценки вероятности превышения воздействий на картах ОСР не соответствуют действительности. Оценки воздействий по шкале MSK-64 также сильно занижены по уровню. В настоящее время согласно нашим нормам расчеты зданий и сооружений ведутся более чем на балл ниже реальных воздействий. Это ведет к тому, что ущерб от землетрясений в нашей стране намного выше, чем, например, в США и Японии. Экономисты должны оценить допустимый уровень риска. Полученные ими результаты должны быть учтены в нормативных документах.

### Литература

1. Аптикаев Ф. Ф. Новые строительные нормы: шаг вперед, два шага назад. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10 (2). – С. 71-91. DOI: 10.46698/VNC.2020.50.57.005.
2. Аптикаев Ф. Ф. О картах ОСР в ускорениях. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11 (1). – С. 95-103. DOI: 10.46698/VNC.2021.24.94.008.
3. Медведев С. В. Определение интенсивности колебаний. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 1978. – Вып. 19. – С. 108-105.
4. Садовский М. А., Писаренко В. Ф., Штейнберг В. В. О зависимости энергии землетрясения от объема очага. // ДАН СССР. – 1983. – Т. 221. № 3. – С. 598-602.
5. Составление карты детального сейсмического районирования Ставропольского края. Т. 1 – 6. – М.: Изд-во ИФЗ РАН, 1999.
6. Уломов В. И. Районирование сейсмической опасности на территории России. // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Информационно-аналитический бюллетень Министерства Российской Федерации по чрезвычайным ситуациям. – 1994. – Т. 1. № 1. – С. 41-52.
7. Bolt B. A., Abrahamson N. A. New attenuation relations for peak and expected accelerations of strong ground motions. // BSSA. – 1982. – Vol. 72. – pp. 2307-2321.
8. Bommer J. J., Martinez-Pereira A. Strong-motion parameters: definition, usefulness and predictability. // Proceedings of the XII World Conference on Earthquake Engineering (Auckland, January 1 – February 4, 2000). – Auckland, New Zealand, 2000. – Paper No. 0206.
9. Bommer J. J., Abrahamson N. A., Strasser F. O., Pecker A., Bard P. Y., Bungum H., Studer, J. The challenge of defining upper bounds on earthquake ground motions. // Seismological Research Letters – 2004. – Vol. 75 (1). – pp. 82-95. <https://doi.org/10.1785/gssrl.75.1.82>
10. Bureau G. J. Near-source peak ground acceleration. // Earthquake Notes. – 1981. – Vol. 52. No. 1. – p. 81.
11. Campbell K. W. Near-source attenuation of peak horizontal acceleration. // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1981. – Vol. 71. No. 6. – pp. 2039-2070.
12. De Nardis R., Filippi L., Costa G., Suhadolc P., Nicoletti M., & Lavecchia G. Strong motion recorded during the Emilia 2012 thrust earthquakes (Northern Italy): a comprehensive analysis. // Bulletin of Earthquake Engineering. – 2014. – Vol. 12 (5). – pp. 2117-2145. <https://doi.org/10.1007/s10518-014-9614-0>

13. Hanks T. S., Johnson D.A. Geophysical assessment of peak accelerations. // *Bulletin of the Seismological Society of America*. – 1976. – Vol. 66. No. 3. – pp. 959-968.
14. Herrmann R. B., Goertz M.J. A numerical study of peak ground motion scaling. // *BSSA*. – 1981. – Vol. 71. – pp. 2071-2095.
15. Huang Jyun-Yan, Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Kuo Chun-Hsiang, Wen Kuo-Liang, Chen Chun-Te. Progress of Soil Nonlinearity Researches of Recent Years in Russia and Taiwan. // *Geology and Geophysics of Russian South*. – 2020. – Vol. 10 (2). – pp. 95-112. DOI: 10.46698/VNC.2020.28.93.007
16. McGuire R. K., Barnhard T. P. The usefulness of ground motion duration in predicting the severity of seismic shaking. Preprint. – 1979. – 17 p.
17. Murphy J. R., O'Brien L. J. The correlation of peak acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters. // *BSSA*. – 1977. – Vol. 67 (3). – pp. 877-915.
18. Neumann R. Earthquake intensity and related ground motion. – Seattle, Univ. Wash. Press, 1954. – 77 p.
19. Pacor F., Felicetta C., Lanzano G., Sgobba S., Puglia R., D'Amico M., Iervolino I. NESS1: A Worldwide Collection of Strong-Motion Data to Investigate Near-Source Effects. // *Seismological Research Letters*. – 2018. – Vol. 89 (6). – pp. 2299-2313. <https://doi.org/10.1785/0220180149>
20. Suzuki A., Iervolino I. Italian vs worldwide history of largest PGA and PGV. // *Annals of Geophysics*. – 2017. – Vol. 60 (5). – Article S0551. <https://doi.org/10.4401/ag-7391>
21. Trifunac M. D. Preliminary analysis of the peaks strong earthquake ground motion-dependence of peaks on earthquake magnitude, epicentral distance, and recording site conditions. // *Bulletin of the Seismological Society of America*. – 1976. – Vol. 66. No. 1. – pp. 189-219.
22. Zaalishvili V.B., Pinar A., Erdik M., Burdzieva O. G, Melkov D. A. Issues of seismic risk assessment of Vladikavkaz city. // *Geology and Geophysics of Russian South*. – 2020. – Vol. 10 (3). – pp. 94-113. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.51.006.

## References

1. Aptikaev F. F. New Building Codes: one step forward, two steps backward. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2020. Vol. 10 (2). pp. 71-91. DOI: 10.46698/VNC.2020.50.57.005. (in Russ.)
2. Aptikaev F. F. About GSZ maps in acceleration units. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2021. Vol. 11 (1). pp. 95-103. DOI: 10.46698/VNC.2021.24.94.008. (in Russ.)
3. Medvedev S. V. Determination of intensity oscillations. *Questions of engineering seismology*, 1978. Vol. 19. pp. 108-116. (In Russ.)
4. Sadovsky M.A., Pisarenko V.F., Shteinberg V.V. On the dependence of the earthquake energy on the volume of the source. *DAN USSR*, 1983. Vol. 221. No. 3. pp. 598-602. (In Russ.)
5. Drawing up a map of detailed seismic zoning of the Stavropol Territory. T. 1 – 6. Moscow. IPZ RAN, 1999. (In Russ.)
6. Ulomov V.I. Seismic hazard zoning in Russia Federal system of seismological observations and earthquake prediction. *Information-analytical Bulletin of the Ministry of the Russian Federation for emergency situations*, 1994. Vol. 1. No. 1. pp. 41-52. (In Russ.)
7. Bolt B.A., Abrahamson N.A. New attenuation relations for peak and expected accelerations of strong ground motions. *BSSA*, 1982. Vol. 72. pp. 2307-2321.
8. Bommer J.J., Martinez-Pereira A. Strong-motion parameters: definition, usefulness and predictability. *Proceedings of the XII World Conference on Earthquake Engineering (Auckland, January 1 – February 4, 2000)*. Auckland, New Zealand, 2000. Paper No. 0206.
9. Bommer J.J., Abrahamson N.A., Strasser F. O., Pecker A., Bard P.Y., Bungum H., Studer, J. The challenge of defining upper bounds on earthquake ground motions. *Seismological Research Letters*, 2004. Vol. 75 (1). pp. 82-95. <https://doi.org/10.1785/gssrl.75.1.82>
10. Bureau G.J. Near-source peak ground acceleration. *Earthquake Notes*, 1981. Vol. 52. No. 1. 81 p.

11. Campbell K. W. Near-source attenuation of peak horizontal acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1981. Vol. 71. No. 6. pp. 2039-2070.
12. De Nardis R., Filippi L., Costa G., Suhadolc P., Nicoletti M., & Lavecchia G. Strong motion recorded during the Emilia 2012 thrust earthquakes (Northern Italy): a comprehensive analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2014. Vol. 12 (5). pp. 2117-2145. <https://doi.org/10.1007/s10518-014-9614-0>
13. Hanks T. S., Johnson D. A. Geophysical assessment of peak accelerations. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1976. Vol. 66. No. 3. pp. 959-968.
14. Herrmann R. B., Goertz M. J. A numerical study of peak ground motion scaling. *BSSA*, 1981. Vol. 71. pp. 2071-2095.
15. Huang Jyun-Yan, Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Kuo Chun-Hsiang, Wen Kuo-Liang, Chen Chun-Te. Progress of Soil Nonlinearity Researches of Recent Years in Russia and Taiwan. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2020. Vol. 10 (2). pp. 95-112. DOI: 10.46698/VNC.2020.28.93.007
16. McGuire R. K., Barnhard T. P. The usefulness of ground motion duration in predicting the severity of seismic shaking. Preprint, 1979. 17 p.
17. Murphy J. R., O'Brien L. J. The correlation of peak acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters. *BSSA*, 1977. Vol. 67 (3). pp. 877-915.
18. Neumann R. Earthquake intensity and related ground motion. Seattle, Univ. Wash. Press, 1954. 77 p.
19. Pacor F., Felicetta C., Lanzano G., Sgobba S., Puglia R., D'Amico M., Iervolino I. NESS1: A Worldwide Collection of Strong-Motion Data to Investigate Near-Source Effects. *Seismological Research Letters*, 2018. Vol. 89 (6). pp. 2299-2313. <https://doi.org/10.1785/0220180149>
20. Suzuki A., Iervolino I. Italian vs worldwide history of largest PGA and PGV. *Annals of Geophysics*, 2017. Vol. 60 (5). Article S0551. <https://doi.org/10.4401/ag-7391>
21. Trifunac M. D. Preliminary analysis of the peaks strong earthquake ground motion-dependence of peaks on earthquake magnitude, epicentral distance, and recording site conditions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1976. Vol. 66. No. 1. pp. 189-219.
22. Zaalishvili V. B., Pinar A., Erdik M., Burdzieva O. G., Melkov D. A. Issues of seismic risk assessment of Vladikavkaz city. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2020. Vol. 10 (3). pp. 94-113. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.51.006.