

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.34+550.341

DOI: [10.46698/VNC.2021.24.94.008](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.24.94.008)

Оригинальная статья

О картах ОСР в ускорениях

Ф. Ф. Аптикаев 

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

Статья поступила: 15.02.2021, доработана: 25.02.2021, одобрена в печать: 11.03.2021

Резюме: Актуальность работы. Задание сейсмических воздействий в отечественных строительных нормах практически не меняется в течение последних 60 лет. Накопленные эмпирические данные по сильным движениям позволяют коренным образом усовершенствовать методику расчета зданий и сооружений на сейсмостойкость. Ожидается снижение погрешностей расчета примерно вдвое. **Цель работы.** В последнее время много внимания уделяется проблемам построения карт сейсмической опасности в ускорениях. Однако по традиции в нашей стране такие карты оценивают сейсмическую опасность в баллах шкалы сейсмической интенсивности. В большинстве стран сейсмическая опасность оценивается именно в ускорениях. Строились такие карты и в нашей стране. В частности, карты ОСР-97 и ОСР-2012 имели вариант и в ускорениях. Построение карт сейсмической опасности в ускорениях не имеет принципиальных трудностей. Проблема в том, что ускорения не являются адекватной мерой сейсмических воздействий. Более половины века тому назад американские ученые на эмпирическом материале показали, что связь ускорений с баллами, а, следовательно, и с повреждаемостью зданий неоднозначна: шкалы сейсмической интенсивности различны для разных расстояний и грунтов. Ошибка в оценке последствий землетрясения по ускорениям грунта может достигать 2 баллов. Следовательно, расчет ожидаемых воздействий следует производить с учетом других характеристик сейсмических волн. К тому же, попытки построения карт сейсмической опасности строились без учета данных инженерной сейсмологии и с нарушениями правил теории вероятностей и поэтому обладают не только определенными достоинствами, но и серьезными недостатками. Некоторые исследователи считают, что скорости колебаний лучше коррелируются с повреждениями сооружений, по крайней мере, многоэтажных зданий и подземных трубопроводов. **Методы работы.** Однако анализ эмпирических данных показал, что использование ускорений, скоростей и смещений характеризуется примерно одинаковой точностью. Рассмотрены способы построения карт общего сейсмического районирования. В действующей шкале сейсмической интенсивности ГОСТ Р 57546.2017 приведены оценки корреляции повреждаемости зданий с различными параметрами сейсмических колебаний: ускорениями, скоростями, смещениями, мощностью колебаний грунта. Оценено влияние продолжительности колебаний. **Результаты работы.** Показано, что дальнейшее повышение надежности расчетов объектов на сейсмостойкость связана с представлением сейсмических воздействий не с амплитудами колебаний, а с энергетическими характеристиками сейсмических волн.

Ключевые слова: Строительные нормы, сейсмические воздействия, сейсмическая интенсивность, ускорение, скорость, смещение, мощность, энергия сейсмических колебаний, карты ОСР в ускорениях.

Для цитирования: Аптикаев Ф.Ф. О картах ОСР в ускорениях. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (1): 95 – 103. DOI: 10.46698/VNC.2021.24.94.008.

DOI: [10.46698/VNC.2021.24.94.008](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.24.94.008)

Original paper

About GSZ maps in acceleration units

F. F. Aptikaev 

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

Received: 15.02.2021, revised: 25.02.2021, accepted: 11.03.2021

Abstract: Relevance. The specification of seismic effects in domestic building codes has remained practically unchanged over the past 60 years. The accumulated empirical data on strong ground notions make it possible to radically improve the methodology for calculating buildings and other structures for seismic resistance. It is expected that the calculation errors will be reduced by about half. **Aim.** Recently, much attention has been paid to the problems of developing seismic hazard maps in accelerations. However, by tradition in our country, such maps assess the seismic hazard in terms of the seismic intensity scale. In most countries, seismic hazard is assessed in terms of accelerations. Such maps were also built in our country. In particular, OSR-97 maps also had a variant in acceleration. The construction of seismic hazard maps in accelerations has no fundamental difficulties. The problem is that accelerations are not an adequate measure of seismic effects. More than half a century ago, American scientists, using empirical material, showed that the relationship between accelerations and points, and, consequently, with the damage to buildings, is ambiguous: the seismic intensity scales are different for different distances and grounds. The error in assessing the consequences of an earthquake in terms of ground acceleration can reach 2 points. Therefore, the calculation of the expected impacts should be based on other characteristics of the seismic waves. In addition, attempts to construct seismic hazard maps were built without taking into account the data of engineering seismology and with violations of the rules of probability theory and therefore have not only certain advantages, but also serious drawbacks. Some researchers believe that vibration velocities correlate better with structural damage, at least in multi-storey buildings and underground pipelines. However, the analysis of empirical data showed that the use of accelerations, velocities and displacements is characterized by approximately the same accuracy. **Methods.** Methods for constructing maps of general seismic zoning, which have a higher accuracy in comparison with existing maps, are considered. In the current scale of seismic intensity GOST R 57546.2017 estimates of the correlation of damage to buildings with various parameters of seismic vibrations are given: accelerations, velocities, displacements, power of ground vibrations. The influence of the duration of the oscillations is estimated. **Results.** It is shown that a further increase in the reliability of calculations of objects for seismic resistance is associated with the representation of seismic effects not with vibration amplitudes, but with the energy characteristics of seismic waves.

Keywords: Building codes, seismic effects, seismic intensity, acceleration, velocity, displacement, power, seismic vibration energy, OCP maps in accelerations.

For citation: Aptikaev F. F. About GSZ maps in acceleration units. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (1): 95 – 103. DOI: 10.46698/VNC.2021.24.94.008.

Введение

Розовой мечтой проектировщиков является карта сейсмической опасности в ускорениях. Однако по традиции в нашей стране параметром таких карт являются баллы шкалы сейсмической интенсивности. В настоящее время карта в ускорениях построена для территории Республики Казахстан. Это воспринято как крупнейшее достижение и пример для изыскателей в СНГ. Строились такие карты и в

нашей стране. В 1996 г. методами детального сейсмического районирования была построена карта в ускорениях для Ставропольского края [Составление..., 1999]. Карта ОСР-97 вошла составной частью в опубликованную под эгидой ООН мировую карту сейсмической опасности (Global Seismic Hazard Project). Поскольку карта GSHAP строилась в ускорениях, то и карта ОСР-97-А имела такой вариант [Уломов, 1999]. Заметим, что для пересчета баллов в ускорения шкала MSK-64 не подошла, поскольку в этой шкале ускорения сопоставляются с нижними границами соответствующих диапазонов сейсмической интенсивности [Медведев, 1978; Уломов, 1994, 2012]. В итоге для пересчета баллов в ускорения использовались соотношения из [Аптикаев, Шебалин, 1988]. Последние соотношения практически вошли в действующую шкалу сейсмической интенсивности [ГОСТ Р, 2017]. В 2012 г. в Институте физики Земли был составлен комплект карт ОСР-97* в ускорениях для периодов повторяемости 100, 500, 1000, 2500, 5000 и 10000 лет [Уломов, 2012]. Карты ОСР-2016 также имели варианты и в баллах и в ускорениях [Завьялов и др., 2018]. Построение карт сейсмической опасности в ускорениях или других характеристиках воздействий не имеет принципиальных трудностей. Проблема в том, что ускорения не являются адекватной мерой сейсмических воздействий [Neumann, 1954; Murphy, O'Brien, 1977; Nuttly, 1976; Аптикаев, 2012; Курбацкий, Косауров, 2016; ГОСТ Р, 2017; Тяпин, 2019; Huang et al., 2020]. Эмпирические данные показали, что связь ускорений с баллами шкалы, а, следовательно, и с повреждаемостью зданий неоднозначна. В этих работах на эмпирическом материале показано, что связь ускорений с баллами шкалы сейсмической интенсивности различна для разных расстояний и грунтов. Из материалов работы Ньюмана следует, что при фиксированной интенсивности в баллах уровень ускорений изменяется с расстоянием по закону $\lg PGA = 0,36 \lg R$. Следовательно, при одинаковой интенсивности амплитуды ускорений могут различаться в три раза и более. Разумеется, Ньюман отдавал себе отчет, что расстояние оказывает влияние на сейсмическую интенсивность не само по себе. Кроме ускорений существуют и другие параметры, влияющие на сейсмическую интенсивность, роль которых усиливается с расстоянием. Из других факторов Ньюман отмечал грунтовые условия. При этом роль грунтов отнюдь не сводилась только к изменению уровня колебаний. Поиском параметров, определяющих повреждаемость зданий и других сооружений, Ньюман не занимался из-за ограниченности материала. В работе Мерфи и О'Брайена по 900 записям сильных движений неоднозначность связи баллов и ускорений была подтверждена.

Способы построения карт ОСР в ускорениях

Оценку ожидаемых ускорений более надежно можно проводить не путем пересчета баллов в ускорения, а путем использования параметров очага и среды. Входными данными будут магнитуда землетрясения, тип подвижки по разлому (подвиг, взброс, сдвиг, сброс), кратчайшее расстояние до поверхности разлома, грунтовые условия. При этом неоднозначности оценок не будет. Эмпирические данные показывают, что погрешности оценок все равно остаются недопустимо большими. Классическим примером того, что ускорения не являются адекватной мерой сейсмических воздействий, являются последствия Мексиканского землетрясения 1985 г. и афтершока Ташкентского землетрясения 1966 г. При семибалльном афтершоке Ташкентского землетрясения 1966 года ускорение составило 0,69 g. При Мексиканском землетрясении в Мехико при 9 баллах ускорения не превышали 0,175 g.

Каково!? Интенсивность в Мехико на два балла выше, чем в Ташкенте, а ускорение почти в 4 раза ниже. Заметим, что скорости колебаний и при афтершоке Ташкентского землетрясения и при Мексиканском землетрясении более соответствовали наблюдаемой интенсивности в баллах. Действительно, в ряде случаев, скорости колебаний лучше коррелируются с повреждаемостью зданий. Поэтому в последнее время многие проектировщики начинают отдавать предпочтение не ускорениям, а скоростям колебаний, например, [Yin-Min Wu et al., 2003; Akkar, Bommer, 2007; Lanzano et al., 2013]. По эмпирическим данным точность задания воздействий в скоростях не намного лучше, чем в ускорениях. Можно считать, что погрешности при использовании ускорений, скоростей и смещений примерно одинаковы [Аптикаев, 2012]. Но оценки интенсивности по ускорениям, скоростям и смещениям в общем случае не совпадают. Важным фактором, влияющим на повреждаемость объектов, является продолжительность колебаний, фактор, в наших нормах не учитываемый. За рубежом длительность колебаний учитывается [Arias, 1970]. Фактор длительности колебаний тоже вносит свой вклад в неоднозначность связи баллов и амплитуд [Аптикаев, 2012].

В США практически для всех сейсмоактивных зон имеются записи сильных землетрясений. Таким образом, в таких случаях для каждого района приводятся реальные (или слегка масштабированные) акселерограммы. Заметим, что акселерограммы характеризуются не только амплитудой, но и спектром, продолжительностью колебаний и другими параметрами. Этот метод осуществлен в США благодаря наличию около тысячи станций сильных движений и периоду наблюдений почти 100 лет. По понятным причинам для нашей страны этот путь пока недоступен, хотя в наших нормах рекомендуется иметь записи не то, чтобы для каждого региона, но и для каждой строительной площадки.

Второй путь – построение карт на основании теоретических моделей очагов землетрясений и среды. Точность этого метода пока низка, поскольку этот метод базируется на ряде допущений и предположений, многие из которых противоречат эмпирическим данным. Для применения теоретического метода все равно требуется иметь записи сильных движений в исследуемом регионе. Развитие теоретических методов расчета связано с переходом от двумерной модели очага к трехмерной. При построении карт ОСР в нашей стране оценивались максимально возможные магнитуды, причем приводятся оценки, округленные до 0,5 магнитудных единиц. Только за счет округления ошибка оценки амплитуд ускорений превышает 30% для ближней зоны и более 50% для дальней зоны. Да и сама оценка магнитуды в виде $M=M\pm 0,2$, говорит о том, что используется 50% вероятность для приведенного значения магнитуды.

К третьему способу можно отнести наиболее часто используемый в нашей стране – пересчет оценок опасности в баллах в значения ускорений. О недостатках этого метода говорилось ранее. Фиксированным интенсивностям в баллах соответствует диапазон ускорений, более высокого порядка.

Оценка надежности карт в амплитудах сейсмических колебаний

Оценками надежности карт в ускорениях никто не занимался. Для карт в баллах принято считать, что вероятность превышения уровня воздействий составляет 10%, 5% и 1% для карт ОСР А, В и С соответственно. Заметим, что при этом для

расчетов принята дискретная П-образная модель распределения интенсивности. В действительности наблюдается нормальное распределение оценок сейсмической интенсивности [Кулиев, Шебалин 1970; Шебалин, 1975; Жунусов, 1990; Ципенюк, 1987; Ордынская, 2010; ГОСТ Р, 2017]. Стандартное отклонение макросейсмических оценок составляет около 0,4 балла. По эмпирическим данным стандартное отклонение амплитуды ускорений в ближней зоне составляет 0,17 единиц логарифма, что соответствует 0,425 балла. Оценки погрешности, полученные различными способами, не соответствуют оценкам превышения воздействий в 10%.

Сопоставление формы реального распределения амплитуд пиковых ускорений в диапазоне 7-9 баллов, показано на рисунке 1.

Хорошо видно, что реальное распределение плохо согласуется с дискретными моделями. Лишь 50% данных попадают в пределы диапазона, отведенного общепринятой дискретной моделью для заданной сейсмической интенсивности в баллах шкалы MSK-64. И это не результат округления. При заданной интенсивности ускорение грунта в инженерном диапазоне может изменяться более чем на порядок.

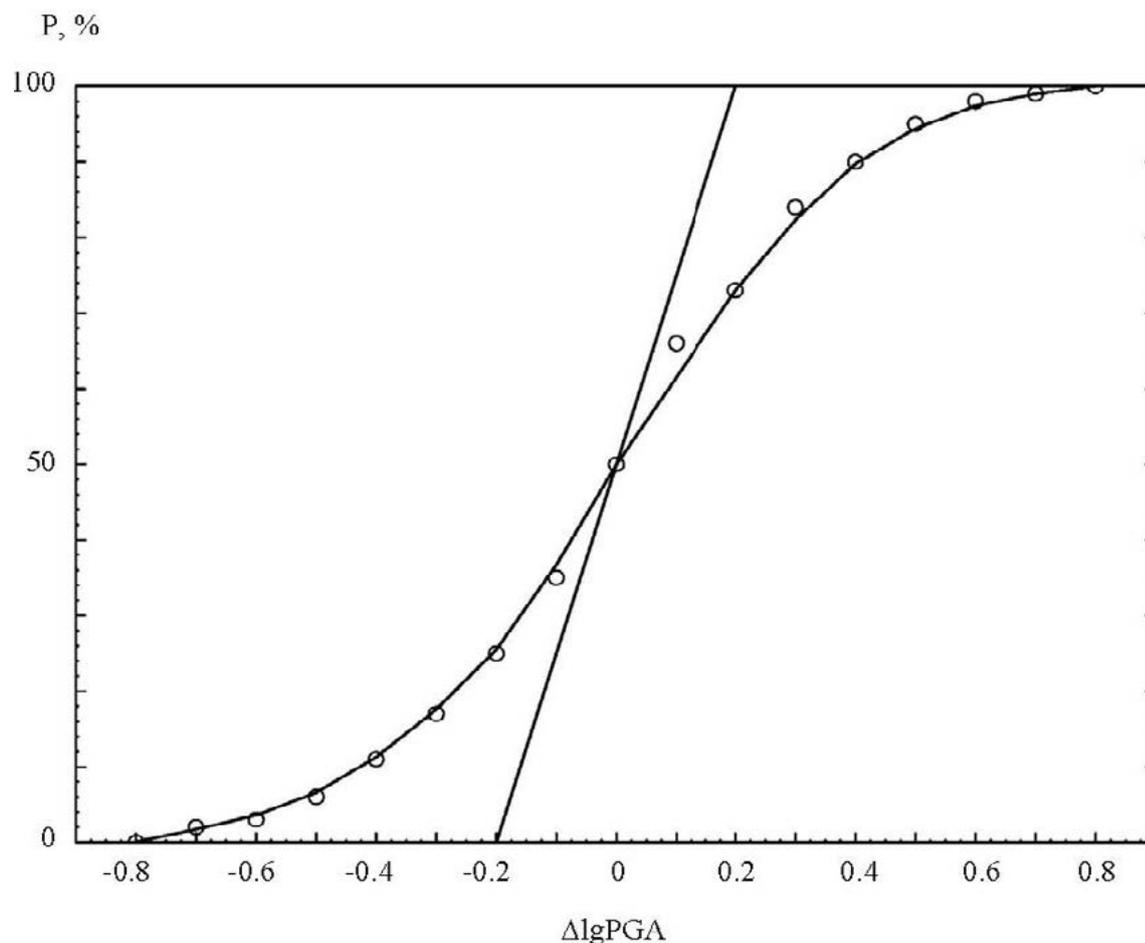


Рис. 1. Форма интегральных распределений ускорений грунта для фиксированной интенсивности: прямая линия – для дискретной П-образной модели шкалы ГОСТ Р 57546.2017; кружки – эмпирические значения по 488 записям сильных движений /

Fig. 1. Form of integral distributions of ground accelerations for a fixed intensity: straight line is for a discrete U-shaped model of the GOST R 57546.2017 scale; circles are empirical values from 488 strong movement records

Сейсмическая шкала ГОСТ Р 57546.2017 в инженерном диапазоне основана на оценках степеней повреждения. Шкала степеней повреждений насчитывает 6 градаций, включая нулевую. Заметим, что градации степени повреждения представляют собой тоже не числа, а наименования градаций. Сейсмические шкалы семейства Меркалли можно отнести к категории шкал интервалов [Аптикаев и др., 2008]. Для таких шкал использование дробных значений баллов вполне допустимо. Проблема состоит только в точности оценок. На инженерный диапазон интенсивности (7-9 баллов) приходится 6 степеней повреждения, включая нулевую. Таким образом, точность инженерных обследований последствий землетрясения позволяет вести градацию сейсмического эффекта через полбалла. Заметим, что при инженерном обследовании последствий землетрясения, как правило, статистически получают дробные значения средних степеней повреждений.

Построение карт ОСР с градацией в полбалла существенно уменьшит погрешность, связанную с округлением оценок интенсивности до целочисленных значений. Впрочем, если оценка результатов сейсмических воздействий в баллах вполне адекватно описывает последствия землетрясений, то амплитуды колебаний этим качеством не обладают.

При использовании шкалы MSK-64 превышение ускорений составит около 33%, а при использовании новой шкалы (изменение амплитуды в 2,5 раза на балл) 28%. Эта погрешность связана только с принятой моделью распределения амплитуд при фиксированной интенсивности в баллах. Сейсмический эффект определяется не только уровнем ускорений, но и уровнями скоростей и смещений, а оценки повреждаемости зданий и сооружений по этим параметрам будут в общем случае не совпадать.

Влияние продолжительности колебаний на сейсмическую интенсивность

На сейсмическую интенсивность большое влияние оказывает и продолжительность колебаний. За рубежом этот фактор учитывается при использовании модели Ариаса [Arias, 1970]. В шкале ГОСТ Р 57546.2017 имеется аналог такого воздействия. Учет длительности колебаний существенно снижает погрешность оценок. В работе [Аптикаев, 2012] приводятся стандартные отклонения корреляции сейсмических воздействий в баллах с различными параметрами сейсмического движения грунта. Для логарифмов пиковых ускорений стандартное отклонение равно 0,6 балла. Вариации связаны с погрешностями оценок ускорений и интенсивности. Для скорости колебаний аналогичная оценка составляет 0,55 балла. Для величины $(\lg PGA + 0,5 \lg \tau)$ – аналога функции Ариаса – стандартное отклонение равно 0,35 балла. Здесь τ – продолжительность колебаний, определяемая как интервал времени, в течение которого амплитуда превышает половину максимального значения. Наконец, если коррелировать степень повреждения с логарифмом мощности волны $(\lg PGA + \lg PGV)$ стандартное отклонение составит 0,26 балла. Надо думать, что наивысшую точность будет иметь энергия сейсмической волны $(\lg PGA + \lg PGV + \lg \tau)$. Это следует из законов механики. Необходимость задания сейсмических воздействий в энергетических параметрах отмечали С. W. Housner, J. A. Blume, N. M. Newmark, V. V. Bertero, и другие ученые США, Италии, Японии, а в нашей стране – А. А. Долгая, М. А. Клячко, И. Л. Корчинский, А. А. Петров, Ю. Л. Рутман, А. М. Уздин, и другие. Без решения этой проблемы ожидать существенного прогресса в области сейсмостойкого строительства не приходится.

Выводы

Создание карт сейсмической опасности в ускорениях не решает задачу повышения надежности проектирования сейсмостойких зданий и сооружений. Резкое повышение надежности расчетов возможно только путем задания сейсмических воздействий в энергетических характеристиках колебаний грунта.

Литература

1. Аптикаев Ф. Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. / Ф. Ф. Аптикаев; Российская акад. наук, Ин-т физики Земли им. О. Ю. Шмидта. – М.: Наука и образование, 2012. – 175 с.
2. Аптикаев Ф. Ф. Новые строительные нормы: шаг вперед, два шага назад. // Геология и геофизика юга России. – 2020. – № 10 (2). – С. 171-181.
3. Аптикаев Ф. Ф., Эртелева О. О., Мокрушина Н. Г. Категория сейсмических шкал семейства Меркалли. // Вулканология и сейсмология. – 2008. – № 3. – С. 74-78.
4. ГОСТ Р 57546.2017. Национальный стандарт Российской Федерации Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
5. Жунусов Т. Ж. Оценка сейсмостойкости сооружений. – Алма-Ата: Рауан, 1990. – 270 с.
6. Завьялов А. Д., Перетокин С. А., Данилова Т. И., Медведева Н. С., Акатова К. Н. Общее сейсмическое районирование от карт ОСР-97 к ОСР-2016 и картам нового поколения в параметрах физических характеристик. // Вопросы инженерной сейсмологии. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2018. – Т. 46. № 4. – С. 47-68.
7. Кулиев Ф. Т., Шебалин Н. В. О возможности статистической интерпретации балльности. // Сильные землетрясения Средней Азии и Казахстана. – Душанбе: Дониш, 1970. – Вып. 1. – С. 94-118.
8. Курбацкий Е. М., Косауров А. П. К вопросу о пересчете балльности в ускорения колебаний грунта. // Инженерные изыскания. – 2016. – № 14. – С. 50-60.
9. Медведев С. В. Определение интенсивности колебаний. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 1978. – Вып. 19. – С. 108-116.
10. Ордынская А. П. Интегральная оценка интенсивности проявлений в природной среде и техносфере. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2010. – № 5. – С. 45-53.
11. Составление карты детального сейсмического районирования Ставропольского края. – 1 – 6. – М.: Изд-во ИФЗ РАН, 1999.
12. Тяпин А. Г. Некоторые соображения о нормах нового поколения. Часть 1: Общие положения и задание сейсмического воздействия. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2019. – № 5. – С. 7-18.
13. 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.
14. Уломов В. И. Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе единой информационной системы «Сейсмобезопасность России». // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2012. – Т. 39. № 1. – С. 5-38.
15. Ципенюк И. Ф. Повреждаемость и надежность крупнопанельных зданий при сейсмических воздействиях. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 1988. – Вып. 29. – С. 141-153.
16. Шебалин Н. В. Распределение степеней повреждения зданий и использование его для оценки балльности. // Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. – 1975. – С. 87-109.

17. Arias A. A measure of earthquake intensity. // *Seismic design for nuclear power plants.* / R. J. Hansen, ed. – MIT Press, Cambridge, Massachusetts. – 1970. – pp. 438-483.
18. Akkar S., Bommer J. J. Empirical Prediction Equation for Peak Ground Velocity Derived from Strong-Motion Records from Europe and the Middle East. // *BSSA.* – 2007. – Vol. 97 (2). – pp. 511-530.
19. Huang Jyun-Yan, Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Chun-Hsiang Kuo, Kuo-Liang Wen, Chun-Te Chen. 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.
20. Lanzano G., Salzano E., Santucci F., Fabbrocino G. Performance assessment of continuous buried pipelines under earthquake loadings. // *Chemical Engineering Transactions.* – 2013. – Vol. 31. – pp. 631-636.
21. 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.
22. Neumann R. Earthquake intensity and related ground motion. – Seattle, Univ. Wash. Press, 1954. – 77 p.
23. Nuttli O. W. by Jack F. Evernden. Comments on “Seismic intensities size of earthquakes and related parameters. // *BSSA.* – 1976. – Vol. 66 (1). – pp. 331-338.
24. Ulomov V. I. Seismic hazard of Northern Eurasia. // *Annali di geofisica.* – 1999. – Vol. 42 (6). – pp. 1023-1038.
25. Yin-Min Wu, Ta Liang Teng, Tzay-Chyn Shin, Nai-Chi Hsiao. Relationship between PGA, Ground PGV and I (MM) in Taiwan. // *BSSA.* – 2003. – Vol. 93 (1). – pp. 386-396.

References

1. Aptikaev F. F. Instrumental scale of seismic intensity. Science and education publishing, 2012. 176 p. (In Russ.)
2. Aptikaev F. F. New building codes: one step forward, two steps back. *Geology and Geophysics of the South of Russia*, 2020. Vol. 10 (2). pp. 171-181. (In Russ.)
3. Aptikaev F. F., Erteleva O. O., Mokrushina N. G. Category seismic scales family of Mercalli. *Volcanology and seismology*, 2008. No. 3. pp. 74-78. (In Russ.)
4. GOST R 57546.2017. National standard of the Russian Federation of the Earthquake. Scale of seismic intensity. Moscow. Standartinform, 2017. 28 p. (In Russ.)
5. Zhunusov T. Zh. Assessment of the seismic resistance of structures. Alma-Ata. Rauan, 1990. 270 p. (In Russ.)
6. Zavyalov A. D., Peretokin S. A., Danilova T. I., Medvedeva N. S., Akatova K. N. General Seismic Zoning from Maps GSZ-97 to GSZ-2016 and New-Generation Maps in the Parameters of Physical Characteristics. *Seismic Instruments*, 2019. Vol. 55. No. 4. pp. 495-463. (In Russ.)
7. Kuliev, F. T., Shebalin N. V. About the possibility of a statistical interpretation of intensity. Strong earthquake in Central Asia and Kazakhstan. Dushanbe. Donish, 1970. Vol. 1. pp. 94-118. (In Russ.)
8. Kurbatsky E. M., Kosaurov A. P. On the question of recalculation of the score in the acceleration of ground vibrations. *Engineering survey*, 2016 No. 14. pp. 50-60. (In Russ.)
9. Medvedev S. V. Determination of vibration intensity. *Questions of engineering seismology*, 1978. Is. 19. pp. 108-116. (In Russ.)
10. Ordynskaya A. P. Integral assessment of the intensity of manifestations in the natural environment and technospheres. *Seismic construction. Safety of structures*, 2010. No. 5. pp. 45-53. (in Russ.)
11. Drawing up a map of detailed seismic zoning of the Stavropol Territory. T. 1–6. Moscow. IPZ RAN, 1999. (In Russ.)
12. Tyapin A. G. Some considerations about new generation norms. Part 1: General provisions and the task of seismic impact. *Seismic construction. Safety of structures*, 2019. No. 5. pp. 7-18. (in Russ.)

13. 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.)
14. Ulomov V.I. Updating of normative seismic zoning as part of the unified information system "Seismic Safety of Russia". Questions of engineering seismology. 2012. Vol. 39. No. 1. pp. 5-38. (In Russ.)
15. Tsipenyuk I.F. Damageability and reliability of large-panel buildings under seismic forces. Questions of engineering seismology, 1988. Vol. 29. pp. 141-153. (In Russ.)
16. Shebalin N. V. The distribution of the degrees of damage to buildings and use it to evaluate the intensity. Seismic scale and methods of measuring seismic intensity, 1975. pp. 87-109. (In Russ.)
17. Arias A. A Measure of Earthquake Intensity. Seismic Design for Nuclear Power Plants. R. J. Hansen, ed. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 1970. pp. 438-483.
18. Akkar S., Bommer J. J. Empirical Prediction Equation for Peak Ground Velocity Derived from Strong-Motion Records from Europe and the Middle East. BSSA, 2007. Vol. 97 (2). pp. 511-530.
19. Huang Jyun-Yan, Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Chun-Hsiang Kuo, Kuo-Liang Wen, Chun-Te Chen. 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.
20. Lanzano G., Salzano E., Santucci F., Fabbrocino G. Performance Assessment of Continuous Buried Pipelines Under Earthquake Loadings. Chemical Engineering Transactions, 2013. Vol. 31. pp. 631-636.
21. 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. 87
22. Nuttli O. W. by Jack F. Evernden. Comments on "Seismic intensities size of earthquakes and related parameters. BSSA. 1976. Vol. 66 (1). pp. 331-338.
23. Neumann R. Earthquake intensity and related ground motion. Seattle, Univ. Wash. Press, 1954. 77 p.
24. Ulomov V.I. Seismic hazard of Northern Eurasia. Annali di geofisica. 1999. Vol. 42 (6). pp. 1023-1038.
25. Yin-Min Wu, Ta Liang Teng, Tzay-Chyn Shin, Nai-Chi Hsiao. Relationship between PGA, Ground PGV and I (MM) in Taiwan. BSSA. 2003. Vol. 93 (1). pp. 386-396.