УДК 550.34+ 550.343

DOI 10.37153/2687-0045-2021-14-143-146

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Эртелева Ольга Олеговна

д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник

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

Аннотация. В работе обсуждается понятие “ближней зоны землетрясения”, ее особенности и отличия от дальней зоны. Рассматриваются характерные особенности количественных параметров сейсмических воздействий в ближней зоне: пиковые ускорения грунта и их затухание; соотношение уровней колебаний на различных компонентах и зависимость этого соотношения от различных факторов среды и очага. Предлагаются формулы для расчета прогнозных значений параметров сильных движений грунта (сейсмических воздействий), включающие оценки соответствующих стандартных отклонений.

Ключевые слова: ближняя зона землетрясений, сейсмические воздействия, ускорение, затухание, продолжительность колебаний.

SEISMIC TREATMENTS IN THE NEAR-FIELD OF THE EARTHQUAKE

Erteleva Olga Olegovna

Doctor of Physics and Mathematics, Leading scientist of the
Schmidt Institute of physics of the Earth Russian Academy of Science

Summary. The concept of the “near-field zone of earthquake”, its features and differences from the far-field zone are discussed. Characteristic features of quantitative parameters of the seismic treatments in the near-field zone are considered: peak ground accelerations and their attenuation law; ratio of vibration levels on different components and dependence of this ratio on various factors of medium and the earthquake source. Formulas are proposed for calculating expected values of the strong-ground motion parameters (seismic treatments), including estimates of corresponding standard deviations.

Keywords: near-field zone of earthquake, seismic treatments, acceleration, attenuation, duration of vibrations.

Общеизвестен тот факт, что наибольший ущерб от землетрясений приходится на так называемую ближнюю зону землетрясений. Однако термин этот до сих пор имеет различное толкование. Накопленные к настоящему времени эмпирические данные показывают, что сейсмические воздействия вблизи очага землетрясения отличаются от воздействий в дальней зоне. Так, наибольшие остаточные деформации наблюдаются в непосредственной близости от разлома в случае его выхода на поверхность, а наибольшие ускорения на некотором расстоянии от него [Составление..., 1996; Aptikaev, Erteleva, 2007; Graizer, Kalkan, 2011 и др.]. На поверхности разрыва амплитуда ускорений постоянна и не

зависит от магнитуды землетрясений [Trifunac, 1976; Bommer, Martínez-Pereira, 2000; Yamada, Olsen, Heaton, 2009; Aptikaev, 2009 и др.]. В диапазоне 9 – 11 баллов увеличения пиковых ускорений грунта не наблюдается [Bommer, Martínez-Pereira, 2000]. В ближней зоне неприменимо классическое определение магнитуды [Эртелева, Аптикаев, 2018], поскольку оно нарушает принципы теории размерностей и подобия. В результате зависимости между параметрами колебаний и параметрами очага и среды, установленные по данным дальней зоны, оказываются неприменимыми в эпицентральных областях.

Вопрос о размерах ближней зоны в настоящее время обсуждается в научных кругах. При исследовании очагов землетрясений ближней зоной называют область, в пределах которой нельзя пренебречь размерами очага. В некоторых работах [Шебакин, 1997; Арефьев, 2003 и др.] ближняя зона - это область, охваченная афтершоковым процессом. Численные значения, характеризующие размеры ближней зоны, значительно варьируются – встречаются оценки от 10 до 100 км, см., например, [Штейнберг, 1985; Артиков и др., 2018 и др.]. Оценка размеров очага в зависимости от магнитуды землетрясения по затуханиям сейсмических волн предложена в работах Ф.Ф.Аптикаева [Аптикаев, 2012 и др.]:

$$\lg R_0(\text{км}) = 0.33 M_S - 0.61, \quad (1)$$

где расстояния R_0 отсчитываются от ближайшей точки поверхности разлома.

Этого определения мы и будем придерживаться в дальнейшем.

Согласно статистическому анализу эмпирических данных по сильным движениям грунта (база данных содержит описание параметров более 5 600 землетрясений мира), в ближней зоне, которая определяется выражением (1), выделяется зона, непосредственно прилегающая к разлому. Основная ее характеристика – нарастание амплитуд колебаний PGA при удалении от источника. Каждый элемент среды здесь излучает энергии больше, чем поглощает, и распространяющаяся волна подписывается этой энергией, что и приводит к увеличению PGA . Эту зону назовем разломной. Уравнение затухания в общем случае для разломной зоны может быть записано в виде:

$$\lg (PGA, \text{см/с}^2) = C_0 + 0.27 \lg R^* \pm 0.18, \quad (2)$$

$$\lg R^* = \lg R_{кр} - 0.33 M_{S,}, \quad (3)$$

где C_0 – постоянная, зависящая от механизма очага, R^* - нормированное расстояние, $R_{кр}$ – кратчайшее расстояние до поверхности разлома:

Значения постоянной C_0 , минимальные и максимальные значения PGA в разломной зоне определяются только механизмом очага (табл. 1).

Таблица 1. Закон затухания PGA в разломной зоне.

Механизм очага	C_0	$PGA_{\text{мин}}$	$PGA_{\text{макс}}$
Взброс	3.45	437	871
Сдвиг	3.30	309	661
Сброс	3.15	219	536

$PGA_{\text{макс}}$ достигается на границе разломной и ближней зоны. Далее, в ближней зоне, вплоть до границы с дальней зоной амплитуды незначительно затухают - уменьшаются с расстоянием по степени меньше 1. При этом значение PGA не зависит ни от механизма

очага, на от типа грунта и определяется только расстоянием. Соответствующее уравнение имеет вид:

$$\lg (PGA, \text{см/с}^2) = 1.75 - 0.63 \lg R^* \pm 0.15. \quad (4)$$

На расстоянии около $R^* = 0.2$ км от разлома на грунтах I категории $PGA = 175 \text{ см/с}^2$, затухание резко возрастает – начинается дальняя зона. Эти числовые характеристики точки излома не зависят от магнитуды, расстояния (нормированного) и типа грунта.

При рассмотрении соотношения амплитуд грунта на различных компонентах установлено, что отношение PGA на горизонтальных компонентах слабо зависит расстояния и практически не зависит от магнитуды. В среднем различие амплитуд на двух компонентах составляет 28%.

Уровень вертикальной компоненты $PGA_{\text{верт}}$ не зависит ни от типа грунта, ни от механизма очага, а обуславливается уровнем $PGA_{\text{Нмакс}}$ и при интенсивных колебаниях, которые и преобладают в ближней и разломной зонах, ($PGA_{\text{Нмакс}} \geq 250 \text{ см/с}^2$), определяется соотношением:

$$PGA_{\text{верт}} = 44 + 0.0147 PGA_{\text{Нмакс}} + 0.0011 PGA_{\text{Нмакс}}^2, \quad (5)$$

Продолжительность колебаний τ в ускорениях в ближней зоне практически не зависит от расстояния, типа грунта и механизма. Величина ее определяется в основном магнитудой события:

$$\lg \tau, \text{с} = 0.33 M_S - 1.63 \pm 0.29. \quad (6)$$

Заключение. Ближняя зона обладает рядом характерных особенностей при распространения сейсмического волнового фронта. Размер ближней зоны может быть определен в зависимости от магнитуды землетрясения. В ближней зоне выделяется особая часть, непосредственно примыкающая к разлому, - разломная зона. В ней амплитуды PGA возрастают в отличие от именно ближней зоны, где наблюдается затухание. Уровень PGA в обеих зонах не зависит от типа грунта. Влияние механизма очага существенно в разломной зоне. Уравнения затухания различны для этих зон. Для уровня вертикальной компоненты уровень $PGA_{\text{Нмакс}}$ - определяющий фактор. Продолжительность колебаний τ определяется в основном магнитудой события.

Литература

Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. - Москва: Наука и образование, 2012. - 175 с.

Арефьев С.С. Эпицентральные сейсмологические исследования. - М.: Академкнига, 2003. - 376 с.

Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. Методология построения нового комплекса карт общего сейсмического районирования территории Узбекистана ОСР – 2017 // Геориск. - 2018. - Т. XII, № 2. - С. 4 – 24.

Составление карты детального сейсмического районирования территории Ставропольского края: отчет о НИР в 6 томах. - М.: ОИФЗ, 1996. - Т. 6. - 269 с.

Шебалин Н.В. Сильные землетрясения. - М.: Изд-во Акад. горных наук, 1997. - 542 с.

Штейнберг В. В. Колебания поверхности Земли вблизи очагов сильных землетрясений: диссертация ...доктора физ.-мат. наук: 01.04.12. - Москва: ИФЗ АН СССР, 1985. -375 с.

Эртелева О.О., Аптикаев Ф.Ф. Применение теории размерностей и подобия при задании сейсмических воздействий // Вопросы инженерной сейсмологии. - 2018. - Т. 45, № 1. - С. 59 – 72. - DOI: 10.21455/VIS2018.1-6

Аптикаев F. Review of empirical scaling of strong ground motion for seismic hazard analysis/ Selected topics in earthquake engineering - from earthquake source to seismic design and hazard mitigation / ed. Mihailo D. Trifunac / International conference on earthquake engineering (Banja Luka, 2009). - Banja Luka, Republic of Srpska, B&H: N.I.G.D. Nezavisne novine, d.o.o., 2009. - Pp. 27 - 54.

Аптикаев F.F., Erteleva O.O., Sacks M. Properties of response spectra. [Электронный ресурс] // Proceedings of the XXIV IUGG General Assembly (Perugia, July, 2 – 13, 2007). - USMA, 2007. - Presentation 6387. - URL: <http://www.iugg.org/assemblies/2007perugia/> (дата обращения 20.05.2019)

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.

Graizer V., Kalkan E.. Modular Attenuation Modeling // Seism. Res. Lett. - 2011. - V. 82, № 1. - Pp. 21 - 31. - DOI: 10.1785/gssrl.82.1.21

Trifunac M.D. Preliminary analysis of the peaks strong earthquake ground motion-dependence of peaks on earthquake magnitude, epicentral distance, and recording site conditions // BSSA. - 1976. - V. 66, № 1. - Pp. 189 - 219.

Yamada M., Olsen A., Heaton T. Statistical features of short- and long-period near-source ground motion // BSSA. - 2009. - V. 99, № 6. - Pp. 3264 - 3274. - DOI: 10.1785/0120090067