

УДК 550.34

DOI: 10.23671/VNC.2016.4.20906

СВОЙСТВА ПАРАМЕТРОВ ГРУНТОВЫХ ДВИЖЕНИЙ ВБЛИЗИ ОЧАГА

© 2016 К.С. Харебов¹, к.т.н., А.Н. Баскаев^{1,2}, к.т.н., Ш.С. Хубежты³, д.ф.-м.н.,
проф.

¹Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: kosta7x7@yandex.ru;

²Горский государственный аграрный университет, Россия, 363040, г. Владикавказ, Ул. Кирова, 37;

³Южный математический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362027, г. Владикавказ, ул. Маркуса, 22

Представлены дополнения в базу данных сильных движений: введены записи за 2015 г. с интенсивностью от 5 баллов, а также записи с эпицентральной расстоянием не больше 7 км с любой интенсивностью. Проведено исследование зависимости средних значений параметров грунтовых движений от гипоцентрального расстояния в ближней зоне землетрясения в интервалах: 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 20–25, 25–30, 30–40, 40–50, 0–50, 50–2000, 0–2000 км. Проведена оценка статистической значимости зависимостей. Показано, что параметры грунтовых движений имеют экстремальную точку при гипоцентральных расстояниях около 20 км, которую можно считать границей между ближней и дальней зоной землетрясения. Показано, что отношение пикового вертикального ускорения к пиковому горизонтальному ускорению (PVA/PNA) коррелирует с магнитудой события – чем выше магнитуда, тем больше значение PVA/PNA при равных прочих условиях.

Ключевые слова: база данных сильных движений, KNET, землетрясение, эпицентральное расстояние, гипоцентральное расстояние, спектр Фурье, пиковое вертикальное ускорение, пиковое горизонтальное ускорение.

Введение

Весьма интересным представляется поведение параметров грунтовых движений вблизи очага землетрясения. Для проведения подобных исследований необходимо иметь записи сейсмических событий вблизи источника. В настоящее время наиболее полными считаются записи японской системы KNET, на основе которых мы создали свою базу данных грунтовых движений с официальным разрешением от держателей записей использования в некоммерческих целях. Работа над базой данных длится более десяти лет, вводятся новые записи, улучшается интерфейс, проводятся профилактические работы. Для сокращения объема базы данных мы внесли в базу только записи с интенсивностью проявления от 5 баллов МСК. Но появилась необходимость исследовать записи на близких расстояниях от очага, поэтому поэтапно вводятся записи на близких расстояниях от очага. В настоящее время в нашей базе данных находятся все записи системы KNET с эпицентральной

расстоянием до 7 км. Мы планируем в ближайшее время ввести также записи с эпицентральной расстоянием вплоть до 10 км, а может быть и до 15-20 км.

1. База данных сильных движений

Исследования, представленные в данной статье основаны на базе данных сильных движений [Заалишвили, Харебов, 2007], в которой в качестве основы использованы записи системы KNET [Kinoshita, 2003]. Данные получены официально через Интернет с сайта <http://www.k-net.bosai.go.jp/> и их разрешено использовать в некоммерческих целях. На конец 2016 г. в базу данных включено 16570 трехкомпонентных записей от мая 1996 г. по декабрь 2015 г. В базу данных включены все записи с интенсивностью MSK ≥ 5 баллов за этот период. В число записей входят также записи с интенсивностью менее 5 баллов для эпицентральных расстояний не более 7 км. В ближайшее время в базу данных будут внесены записи с интенсивностью MSK ≥ 5 баллов за 2016 г., а также планируется включить и записи с малой интенсивностью с эпицентральной расстоянием от 0 до 10 км.

2. Параметры грунтовых движений вблизи очага

В первой части расчетов мы принимали во внимание все записи системы KNET с эпицентральной расстоянием от 0 до 7 км с мая 1996 г. по декабрь 2015 г. включительно. Были рассчитаны значения параметров в следующих интервалах гипоцентрального расстояния в км: 0–5; 5–10; 10–15; 15–20; 20–25; 25–30; 30–40; 40–50; <50, >50 и среднее для всех 2455 записей с эпицентральной расстоянием до 7 км.

Результаты представлены в таблице 1 и рисунках 1-3.

Таблица 1

Средние значения параметров в интервалах гипоцентрального расстояния

До очага	Эпицентральное расстояние < 7 км			Эпицентральное расстояние до 2000 км		
	<50 км	>50 км	0-2000 км	<50 км	>50 км	0-2000 км
MAG	3,39±0,01	4,18±0,03	3,52±0,01	4,95±0,02	6,24±0,01	6,03±0,01
INT_MSК	4,08±0,03	3,35±0,07	3,96±0,03	5,85±0,02	5,67±0,01	5,7±0,01
Ер	4,61±0,04	4,52±0,08	4,6±0,03	19,51±0,28	148,99±1,37	128,27±1,23
DEPTH	12,79±0,25	71,21±0,91	22±0,5	14,01±0,23	55,01±0,66	48,44±0,57
Нуро	14,11±0,24	71,42±0,9	23,14±0,49	25,75±0,3	167,18±1,43	144,53±1,29
PVA	31,77±1,05	11,06±0,6	28,51±0,91	56,79±1,55	29,9±0,44	34,21±0,45
VFMax	11,03±0,13	8,31±0,26	10,6±0,12	7,92±0,12	5,79±0,05	6,13±0,05
PNA	55,79±1,8	19,36±1,19	50,05±1,55	137,16±3,1	81,8±0,99	90,66±0,99
HFMax	9,1±0,11	6,71±0,2	8,72±0,1	5,32±0,07	3,94±0,03	4,16±0,03
PVA/PNA	0,64±0,01	0,66±0,01	0,65±0,01	0,42±0	0,37±0	0,38±0
Число записей	2068	387	2455	409	10268	12227

В рассмотренном интервале гипоцентральных расстояний интенсивность падает с отдалением от очага землетрясения (рис. 1). На всех представленных рисунках показана средняя величина значения исследуемого параметра в интервалах

гипоцентрального расстояния и стандартная ошибка среднего с $p < 0,05$. Среднее значение интенсивности для гипоцентральных расстояний менее 50 км (2068 записей) составляет $4,08 \pm 0,03$ балла, для более 50 км (387 записей) составляет $3,35 \pm 0,07$ балла, а всех рассмотренных записей составляет 3,96 балла (табл. 1), откуда следует, что интенсивность значимо спадает с увеличением гипоцентрального расстояния. Отметим излом графика зависимости в интервале расстояний 20-30 км. Была проведена дополнительная проверка поведения величины интенсивности в интервалах по 2 км от 14 до 30 км для уточнения излома графика. Результаты показали, что и в интервалах по 2 км и в интервалах по 5 км (рис. 1), наблюдается экстремальная точка в области гипоцентральных расстояний около 20 км.

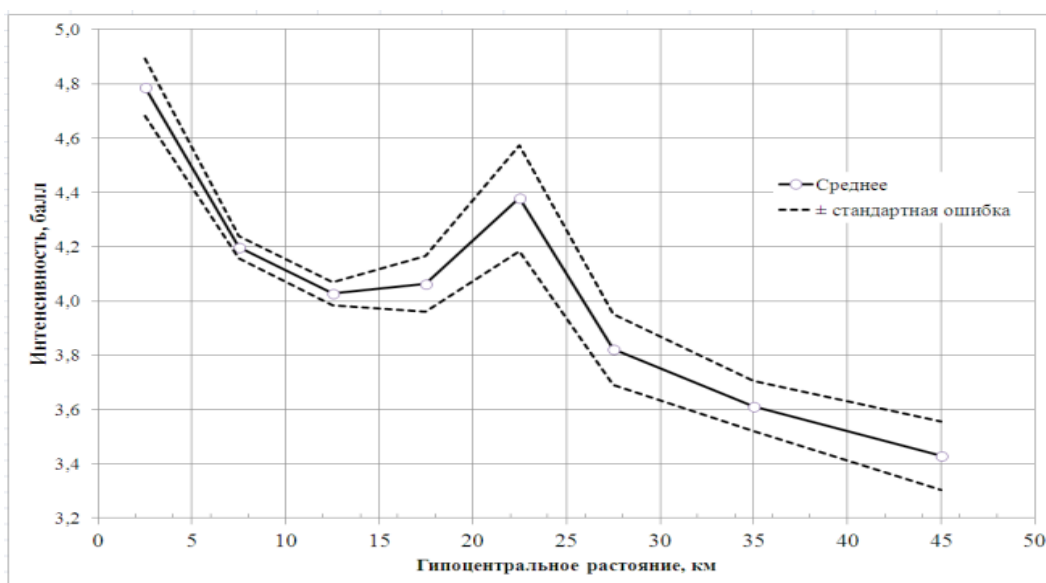
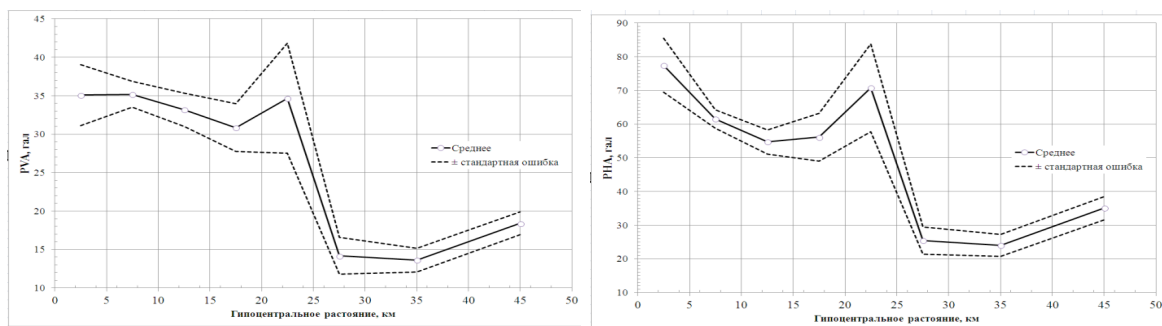


Рис. 1. Зависимость среднего значения интенсивности от гипоцентрального расстояния в интервалах: 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 20–25, 25–30, 30–40, 40–50 км. Эпицентральное расстояние < 7 км

Аналогичный результат был получен и для распределения значения магнитуды по гипоцентральному расстоянию. Среднее значение магнитуды для гипоцентральных расстояний менее 50 км составляет $3,39 \pm 0,01$, для гипоцентральных расстояний более 50 км составляет $4,18 \pm 0,03$, а для всех рассмотренных записей составляет $3,52 \pm 0,01$ (табл. 1), магнитуда имеет значимо большую величину при удалении от очага. Это не должно удивлять, т.к. вероятность события рядом со станцией достаточно мала. Наблюдается экстремальная точка в области гипоцентральных расстояний около 20 км.

Пиковое горизонтальное и вертикальное ускорения вблизи очага значимо спадают с увеличением гипоцентрального расстояния (рис. 2а и 2б). Средние значения пикового вертикального и горизонтального ускорения для гипоцентральных расстояний менее 50 км составляют $31,8 \pm 1,1$ гал и $55,8 \pm 1,8$ гал соответственно, для гипоцентральных расстояний более 50 км составляют $11,1 \pm 0,6$ гал и $19,4 \pm 1,2$ гал соответственно, а для всех записей составляют $28,5 \pm 0,9$ гал и $50,1 \pm 1,6$ гал соответственно. Из рис. 2а и 2б также следует, что наблюдается экстремальная точка в области гипоцентральных расстояний около 21 км.

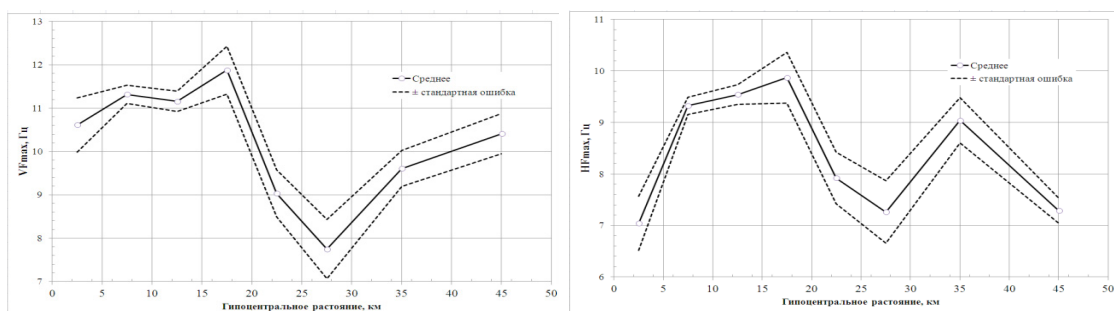


а

б

Рис. 2. Зависимость среднего значения пикового ускорения для PVA - вертикальной (2а) и PHA - горизонтальной (2б) компоненты от гипоцентрального расстояния в интервалах: 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 20–25, 25–30, 30–40, 40–50 км. Эпицентрального расстояния < 7 км

Частоты максимума спектра Фурье для горизонтальной и вертикальной компоненты вблизи очага представлены на рис. 3а и 3б. Средние значения частоты максимума спектра Фурье вертикальной и горизонтальной компоненты для гипоцентральных расстояний менее 50 км составляют $11,0 \pm 0,1$ Гц и $9,1 \pm 0,1$ Гц соответственно, для гипоцентральных расстояний более 50 км составляют $8,3 \pm 0,3$ Гц и $6,7 \pm 0,2$ Гц соответственно, а для всех записей составляют $10,6 \pm 0,1$ Гц и $8,7 \pm 0,1$ Гц соответственно, отсюда следует, что частоты значительно спадают с увеличением гипоцентрального расстояния ($p < 0,05$).



а

б

Рис. 3. Зависимость среднего значения частоты максимума спектра Фурье вертикальная (3а) и горизонтальная (3б) компоненты от гипоцентрального расстояния в интервалах: 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 20–25, 25–30, 30–40, 40–50 км. Эпицентрального расстояния < 7 км

Из рис. 3а и 3б также следует, что наблюдается экстремальная точка в области гипоцентральных расстояний около 20 км.

Данный результат подтверждается предыдущими исследованиями [Заалишвили и др., 2009], где были проведены расчетные исследования зависимости интенсивности проявления землетрясения от магнитуды, ускорения, плотности грунтов и др. на различных эпицентральных расстояниях. Во многих случаях в практике изучения различных событий сильных грунтовых движений проявляется значительное различие в поведении характеристик землетрясения вблизи и в отдалении от очага землетрясения. По энергетическому потенциалу результирующее грунтовое движение условно делится на 2 группы: слабое движение от уда-

ленного или слабого землетрясения и сильное движение от близкого или сильного землетрясения. Для оценки сейсмической опасности необходимо оперировать параметрами сильного грунтового движения [Попова, 1977; Idriss and Seed, 1968]. Для этого в отсутствие сильного землетрясения необходимо получать записи в ближней зоне землетрясения [Castellany and Petrini, 1973], т.к. пики ускорения с расстоянием сильно затухают [Fukushima and Tanaka, 1990]. Имеются данные о том, что весьма близкое соседство с эпицентром, высоких значений ускорения не показывает [Aki, 1967]. Ряд авторов, вообще, отрицает статистические различия между сильными и слабыми землетрясениями [Tocher, 1958; Tocher and Bakun, 1973]. Обычно, эта граница выбиралась достаточно произвольным образом, от 5 до 100 км от очага землетрясения. В [Заалишвили и др., 2009] предложено считать границей между ближней и дальней зоной землетрясения (по эпицентральному расстоянию) точку, где характер зависимости интенсивности от других параметров изменяется, т.е. средний коэффициент корреляции интенсивности с другими параметрами будет максимальным. Было получено, что эта граница расположена на рубеже около 20 км.

Эту экстремальную точку около 20 км от очага землетрясения можно рассматривать как точку раздела между ближней и дальней зоной землетрясения при прохождении которой характер зависимости параметров от гипоцентрального расстояния изменяется при малых значениях эпицентрального расстояния.

Были проделаны идентичные расчеты для тех же интервалов гипоцентрального расстояния без наложенного на эпицентральное расстояние ограничения менее 7 км. Результаты представлены в табл. 1, рис. 4-5.

Среднее значение интенсивности для гипоцентральных расстояний менее 50 км составляет $5,8 \pm 0,02$ балла (409 записей), для более 50 км (10268 записей) составляет $5,67 \pm 0,01$ балла, а всех рассмотренных записей составляет 5,7 балла (табл. 1), откуда следует, что интенсивность значительно падает с увеличением гипоцентрального расстояния. Следует отметить, что в интервале 0-50 км зависимость интенсивности от гипоцентрального расстояния незначима, как следует из рис. 4.

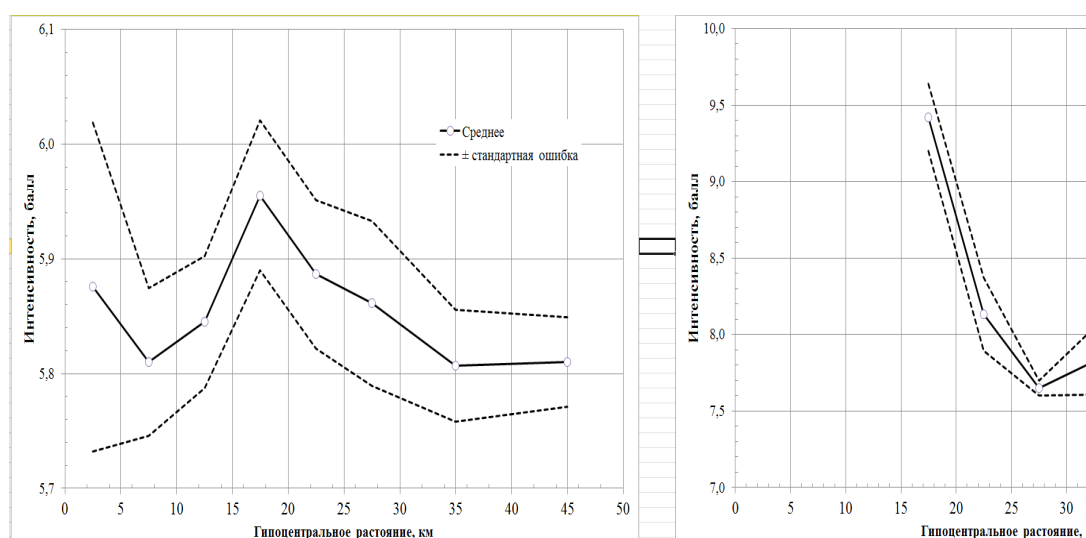


Рис. 4. Зависимость среднего значения интенсивности от гипоцентрального расстояния в интервалах: 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 20–25, 25–30, 30–40, 40–50 км.

Пиковое горизонтальное и вертикальное ускорения значимо спадают с увеличением гипоцентрального расстояния как вблизи очага (рис. 5а), так и за пределами 50 км (табл. 1). Средние значения пикового вертикального и горизонтального ускорения для гипоцентральных расстояний менее 50 км составляют $56,8 \pm 1,6$ гал и $137,2 \pm 3,1$ гал соответственно, для гипоцентральных расстояний более 50 км составляют $29,9 \pm 0,4$ гал и $81,8 \pm 1,0$ гал соответственно, а для всех записей составляют $34,2 \pm 0,5$ гал и $90,7 \pm 1,0$ гал соответственно (табл. 1).

Частоты максимума спектра Фурье для горизонтальной и вертикальной компоненты вблизи очага представлены на рис. 5б. Средние значения частоты максимума спектра Фурье вертикальной и горизонтальной компоненты для гипоцентральных расстояний менее 50 км составляют $7,9 \pm 0,1$ Гц и $5,3 \pm 0,1$ Гц соответственно, для гипоцентральных расстояний более 50 км составляют $5,8 \pm 0,1$ Гц и $3,9 \pm 0,0$ Гц соответственно, а для всех записей составляют $6,1 \pm 0,1$ Гц и $4,2 \pm 0,0$ Гц соответственно, отсюда следует, что частоты значимо спадают с увеличением гипоцентрального расстояния ($p < 0,05$). Отметим, что вблизи очага при гипоцентральных расстояниях < 50 км частота максимума спектра Фурье для горизонтальной компоненты остается постоянной с $p < 0,05$ (рис. 5б).

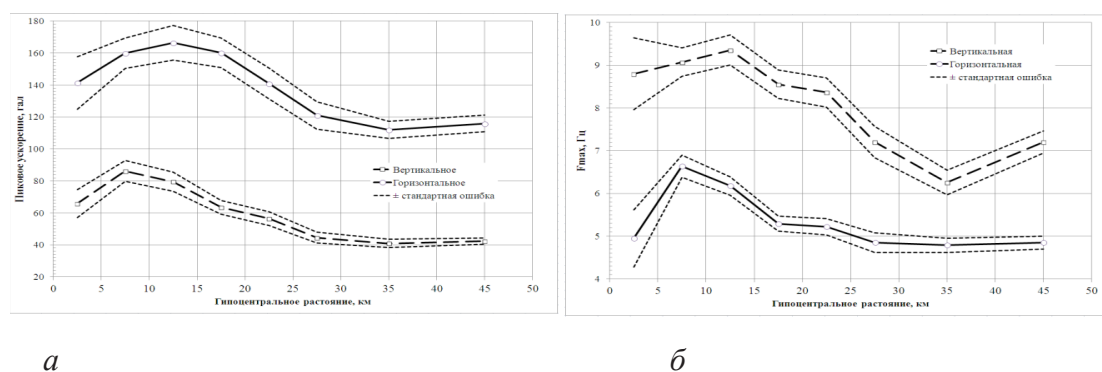


Рис. 5. Зависимость среднего значения пикового ускорения (5а), частоты максимума спектра Фурье (5б) вертикальной и горизонтальной компоненты от гипоцентрального расстояния в интервалах: 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 20–25, 25–30, 30–40, 40–50 км.

Очевидно, что магнитуда события сильно влияет на параметры воздействия. На рис. 6а представлена зависимость среднего значения интенсивности (рис. 6а) от гипоцентрального расстояния для четырех значений магнитуд событий: < 5 ; 5–6, 6–7, 7–8. Учитывались записи с интенсивностью воздействия не менее 5 баллов шкалы МСК. Из графика следует, что при магнитудах свыше 7 интенсивность воздействия не опускается ниже 7 баллов на гипоцентральных расстояниях менее 50 км. Негладкий характер кривой для магнитуд свыше 7 баллов объясняется малым количеством записей с высокими магнитудами на малых (менее 50 км) расстояниях от очага. Был рассмотрен и такой параметр как отношение пикового вертикального ускорения к пиковому горизонтальному ускорению (PVA/PНА). Оказалось, что этот параметр коррелирует с магнитудой события – чем выше магнитуда, тем больше значение PVA/PНА (рис. 6б) при равных прочих условиях.

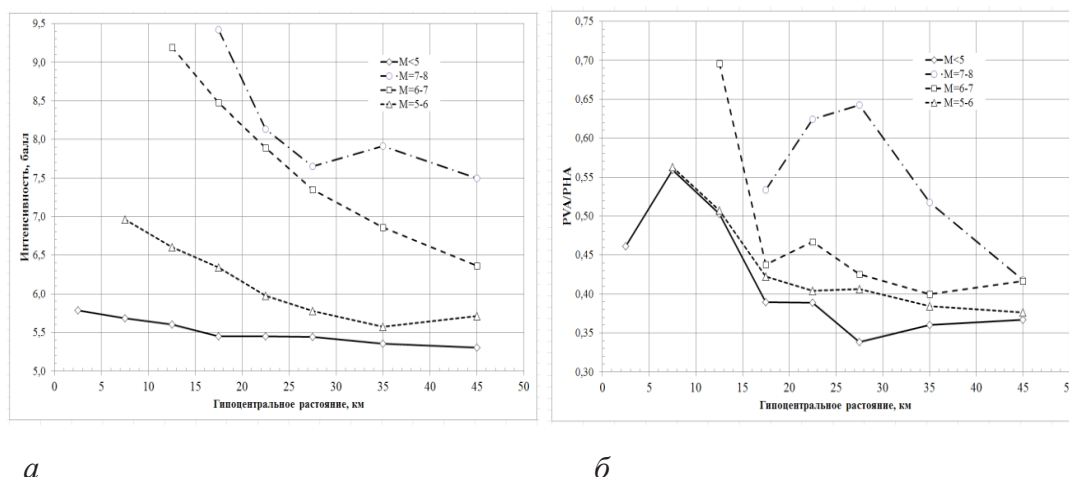


Рис. 6. Зависимость среднего значения интенсивности (рис. 6а) и отношения (PVA/PHA) пикового вертикального ускорения к пиковому горизонтальному ускорению (рис. 6б) от гипоцентрального расстояния в интервалах: 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 25–30, 30–40, 40–50 км для четырех значений магнитуд событий: <5; 5–6, 6–7, 7–8.

Заключение

Рассмотрена расширенная база данных сильных движений с включением новых записей за 2015 г. с интенсивностью от 5 баллов, а также записей с эпицентральным расстоянием не больше 7 км с любой интенсивностью. Проведено исследование зависимости средних значений интенсивности, пикового ускорения и частоты максимума спектра Фурье для вертикальной и горизонтальной компоненты от гипоцентрального расстояния в ближней зоне землетрясения в интервалах: 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 20–25, 25–30, 30–40, 40–50, 0–50, 50–2000, 0–2000 км. Проведена оценка статистической значимости исследуемых зависимостей. Показано, что параметры грунтовых движений имеют экстремальную точку при гипоцентральных расстояниях около 20 км, которую можно считать границей между ближней и дальней зоной землетрясения. Установлена значимая зависимость между отношением пикового вертикального ускорения к пиковому горизонтальному ускорению (PVA/PHA) и магнитудой события – чем выше магнитуда, тем больше значение PVA/PHA при равных прочих условиях.

Литература

1. Заалишвили В.Б., Харебов А.К. Базы данных сильных движений и взаимосвязь показателей движения при землетрясениях. Современное состояние и пути развития юга России. – Ростов-на-Дону: Изд. ЮНЦ РАН, 2007. – С. 455–461.
2. Заалишвили В.Б., Харебов А.К., Харебов К.С. Выбор границы ближней и дальней зоны сейсмического воздействия. Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе / Ред. А.В. Николаев, В.Б. Заалишвили. – Владикавказ: ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А, 2009. – С. 329–331
3. Попова Е.В. Остаточные сейсмодетформации в грунтах и возможность их прогнозирования. Сейсмическое районирование. – М.: Наука, 1977. – С. 114–121.
4. Aki K. Scaling law of seismic spectrums. Journal of Geophysical Research. 73. – 1967. – Pp. 1217–1231.

5. Castellany A., Petrini V. Research Activity on Design Response Spectra for Italian Sites. Proc. World. Conf. Earth. Engineering, 5-th, Rome. – 1973. – Pp. 1210–1213.
6. Fukushima I., Tanaka T. A new attenuation relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan. Bull. of the Seismological Society of America. – 1990. – 80, №4. – Pp. 757–783
7. Idriss I.M., Seed H.B. An analysis of ground motions during the 1957 San. Francisco earthquake. Bull. Seism. Soc. Amer. 58. – 1968. – Pp. 2013–2032.
8. Kinoshita S. Kyoshin Net (K-NET), Japan. Int. Handbook of Earthquake and Engineering seismology, v. 81B. – 2003. – Pp. 1049–1056.
9. Tocher D. Earthquake Energy and Ground Breakage. Bulletin of the Seismological Society of America, 48. – 1958. – Pp. 147–153.
10. Tocher D., Bakun M.A. A Comparison of the Spectra of Small and Moderate Earthquakes. Proc. World Conf. Earthquake Engineering, 5-th, Rome. – 1973. – Pp. 1294–1297.

DOI: 10.23671/VNC.2016.4.20906

PROPERTIES OF THE GROUND MOTIONS PARAMETERS NEAR THE EARTHQUAKE FOCUS

© 2016 K.S. Kharebov¹, Sc. Candidate (Techn.), A.N. Baskaev^{1,2}, Sc. Candidate (Techn.), Sh.S. Khubezhty³, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof.

¹Geophysical Institute of VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov str., 93a,
e-mail: kosta7x7@yandex.ru;

²Mountain State Agrarian University, Russia, 362040, Vladikavkaz,
Kirov str., 37;

³South Mathematical Institute of VSC RAS, Russia, 362027, Vladikavkaz, Markusa
str., 22

Additions into the Strong Motions Data Base are represented: records 2015 year with the intensity from 5, and also the records with epicentral distance not greater than 7 km with any intensity. A study of the ground motions parameters average values dependence on the hypocentral distance in the neighbor zone of earthquake in the intervals: 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 25–30, 30–40, 40–50, 0–50, 50–2000, 0–2000 km is carried out. The estimation of the statistical significance of dependences is carried out. It is shown that the parameters of ground motions have the extreme point with the hypocentral distances about 20 km, which can be considered as the boundary between the near and far zone of earthquake. It is shown that the ratio of peak vertical acceleration to the peak horizontal acceleration (PVA/PHA) correlates with the magnitude of event – the higher the magnitude, the greater the value PVA/PHA under otherwise equal conditions.

Keywords: Strong Motions Data Base, KNET, earthquake, epicentral distance, hypocentral distance, Fourier's spectrum, peak vertical acceleration, peak horizontal acceleration.