

ОСОБЕННОСТИ ВАРИАЦИЙ УРОВНЯ ВОДЫ В СКВАЖИНЕ ЮЗ-5, КАМЧАТКА, ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ОТ СИЛЬНЕЙШИХ ($M \geq 7.6$) УДАЛЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Юшко В.А.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН

Научный руководитель: к.г.-м.н. Копылова Г.Н.

Выполнено сравнение постсейсмических вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, с параметрами максимальных фаз колебаний скорости, смещений и ускорений грунта по записям 10-ти сильнейших землетрясений (магнитуды $M=7.6-9.0$, эпицентральные расстояния $R=300-8500$ км) на сейсмостанции Петропавловск, расположенной на расстоянии 23 км от скважины. Выделены группы сильнейших землетрясений, сопровождавшихся различными типами вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5: колебаниями, остаточными повышениями и понижениями и их комбинациями. Обнаружена зависимость проявления различных типов вариаций уровня воды от амплитудно-частотного состава максимальных фаз вертикальных смещений грунта.

Введение

Прохождение поверхностных сейсмических волн от сильнейших удаленных землетрясений может сопровождаться разнообразными вариациями параметров геофизического мониторинга на расстояниях до тысяч километров от эпицентров, в том числе изменениями в режиме подземных и поверхностных вод [6, 8]. При проведении геофизического мониторинга сейсмоактивных территорий, направленного на поиск предвестников землетрясений, необходимо учитывать фактор воздействия поверхностных сейсмических волн на изменения наблюдаемых параметров. Для этого могут быть использованы количественные оценки амплитуд и частотного состава максимальных фаз движений грунта (скоростей, смещений и ускорений) по данным регистрации сейсмических сигналов широкополосной сейсмической аппаратурой.

Уровнемерные наблюдения в скважинах являются одним из эффективных методов геофизического мониторинга, направленного на поиск предвестников сильных землетрясений [3]. По данным наблюдений на скважинах Камчатки зарегистрированы разнообразные изменения уровня воды при прохождении сейсмических волн от сильнейших ($M \geq 7.6$) землетрясений северо-западной и западной частей Тихоокеанского сейсмического пояса [5]. В скважине ЮЗ-5 в связи с сильнейшими землетрясениями проявлялись четыре типа вариаций уровня воды (табл.) [1, 3, 4]: 1 – вынужденные и свободные колебания уровня воды с кратковременным остаточным повышением при Хоккайдском, Суматра-Андаманском, Симуширском-1, Симуширском-2 и Суматранском-1 землетрясениях; 2 – вынужденные и свободные колебания уровня воды при афтершоке Суматра-Андаманского и Суматранском-2 землетрясениях; 3 – постсейсмиче-

ское повышение уровня воды при Олюторском и Сычуаньском землетрясениях, возникающее за счет временного увеличения порового давления из-за нарушения структуры трещинно-порового пространства; 4 – длительное постсейсмическое понижение уровня воды, вызванное падением порового давления в окрестностях скважины вследствие локального повышения проницаемости водовмещающих пород при Кроноцком землетрясении.

Целью работы является определение зависимости проявления различных типов вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5 от амплитудно-частотного состава сейсмических сигналов, зарегистрированных на сейсмостанции Петропавловск (с/с РЕТ) при прохождении сейсмических волн от сильнейших ($M \geq 7.6$) землетрясений. С использованием методики частотно-временного анализа сейсмических сигналов, зарегистрированных аппаратурой IRIS, выполнялась количественная оценка амплитуд и частотного состава максимальных фаз колебаний грунта в районе с/с РЕТ от рассматриваемых землетрясений (табл.) и их сопоставление амплитудно-частотного состава максимальных фаз колебаний грунта с вариациями уровня воды в скважине ЮЗ-5.

Методика исследований

В основу работы положены сейсмические записи 10-ти землетрясений с $M=7.6-9.0$, произошедших в 1997-2008 гг. (табл.) и зарегистрированные широкополосными каналами ВН (E, N, Z) аппаратуры IRIS на с/с РЕТ. Записи телесеизмических событий взяты из базы данных по адресу <http://www.iris.washington.edu/data>.

С/с РЕТ (53.024 ° с. ш., 158.653 ° в. д., высота 68 м над уровнем моря) расположена на склоне сопки Петровской и находится в пределах Петропавловского горста, сложенного метаморфизованными породами верхнемелового возраста. Скважина ЮЗ-5 (53.169 с.ш., 158.414 в.д., глубина 800 м, уровень воды расположен на глубине 1 м ниже поверхности земли) вскрывает подземные воды в верхнемеловых метаморфизованных отложениях в диапазоне глубин 310-800 м. С 1996 г. на скважине проводятся наблюдения КФ ГС РАН с использованием цифровой системы регистрации уровня воды и атмосферного давления [3]. Периодичность измерений составляет один раз в 10 мин, точность измерений уровня воды – 0.1 см.

Записи сейсмических сигналов сильнейших землетрясений сопоставлялись с фрагментами 10-минутных данных уровнемерных наблюдений в скважине ЮЗ-5 длительностью от часов до одних суток, включающими вариации уровня воды, вызванные прохождением сейсмических волн. Примеры сопоставления записей сейсмических сигналов с проявлениями различных типов вариаций уровня воды представлены на рис. 1-4.

Таблица. Характеристика сильных землетрясений 1997-2008 гг., вызвавших изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5

№ события	Дата дд.мм.гг	Время в очаге чч:мм:сс	Координаты		Эпицентральное расстояние, км	Глубина, км	Район; название	Магнитуда по NEIC, M_w	Вариации уровня воды в скважине ЮЗ-5
			град., с.ш.	град., в.д.					
1	05.12.97	11:26:54	54.84	162.04	300	33	Камчатка; Кроноцкое	7.8	Длительное 3 мес. постсейсмическое понижение уровня на 1 м [4]
2	25.09.03	19:50:06	41.81	143.91	1668	27	о. Хоккайдо; Хоккайдское	8.3	Вынужденные и свободные колебания, остаточное повышение с амплитудой 1.7 см
3	26.12.04	00:58:53	3.30	95.98	8259	30	о. Суматра; Суматра-Андаманское	9.0	Вынужденные и свободные колебания уровня воды с амплитудой более 5 см, остаточное повышение на 1 см [1]
4	28.03.05	16:09:36	2.09	97.11	8293	30	о. Суматра; афтершок Суматра-Андаманского	8.6	Вынужденные и свободные колебания уровня воды с амплитудой 1 см [1]
5	20.04.06	23:25:02	60.95	167.09	1018	22	Корякия; Олюторское	7.6	Остаточное повышение уровня воды на 1.8 см [4]
6	15.11.06	11:14:13	46.59	153.27	812	10	о. Симушир; Симуширское-1	8.3	Колебания, остаточное повышение с амплитудой 6.5 см [4]
7	13.01.07	04:23:21	46.24	154.52	810	10	о. Симушир; Симуширское-2	8.2	Колебания, остаточное повышение с амплитудой 1 см [4]
8	12.09.07	11:10:26	4.44	101.37	7765	34	о. Суматра; Суматранское-1	8.5	Колебания, остаточное повышение с амплитудой 0.2 см. [4]
9	12.09.07	23:49:03	-2.62	100.84	8486	35	о. Суматра; Суматранское-2	7.9	Вынужденные и свободные колебания уровня [4]
10	12.05.08	06:28:00	31.08	103.27	5176	10	Китай; Сычуаньское	7.9	Повышение уровня воды на 0.9 см

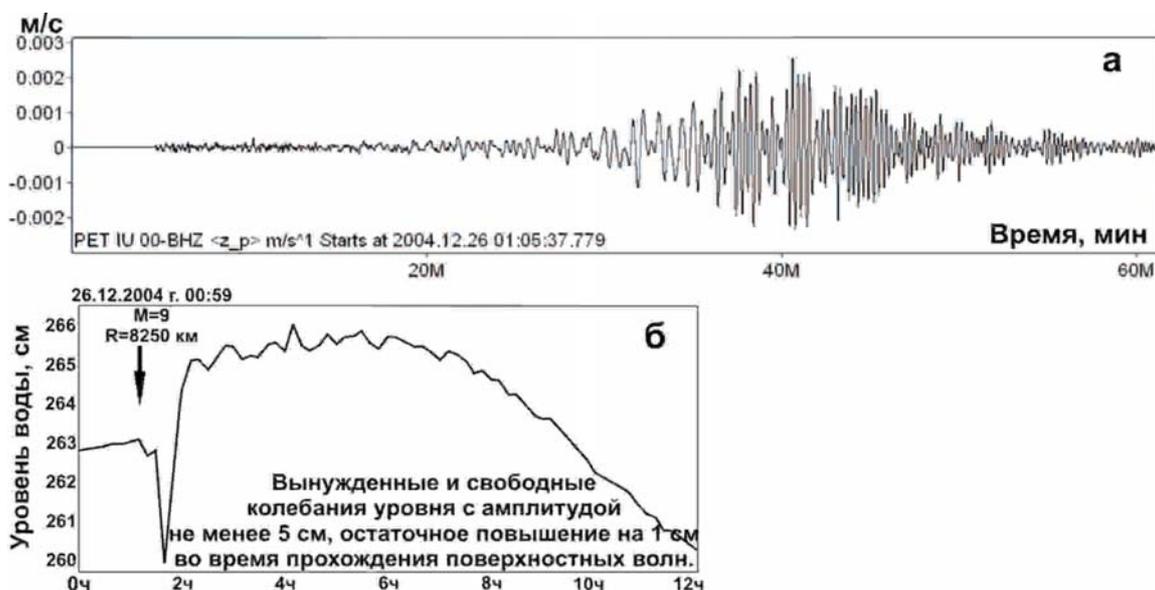


Рис. 1. Широкополосная запись IRIS Суматра-Андаманского землетрясения (№3 в табл.) (а); первый тип вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5 - колебания с остаточным повышением (б).

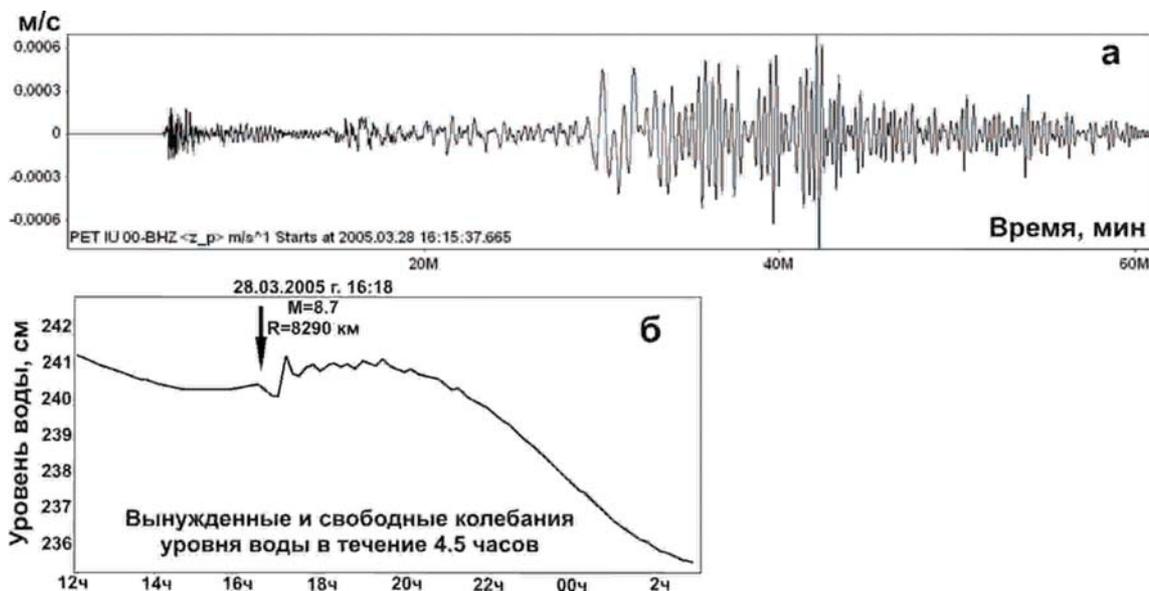


Рис. 2. Широкополосная запись IRIS афтершока Суматра-Андаманского землетрясения (№ 4 в табл.) (а); второй тип вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5 - вынужденные и свободные колебания (б).

Анализ записей в частотно-временной области с оценкой времен, амплитуд и периодов максимальных фаз колебаний выполнялся с использованием программы обработки сейсмических сигналов DIMAS [2]. Изучение изменения частоты сигнала во времени проводилось путем пропускания сигнала через набор полосовых фильтров и вычисления огибающей сигнала в каждой полосе частот. Далее определялась максимальная амплитуда сигнала и диапазон частот ее проявления для скоростей, смещений и ускорений грунта.

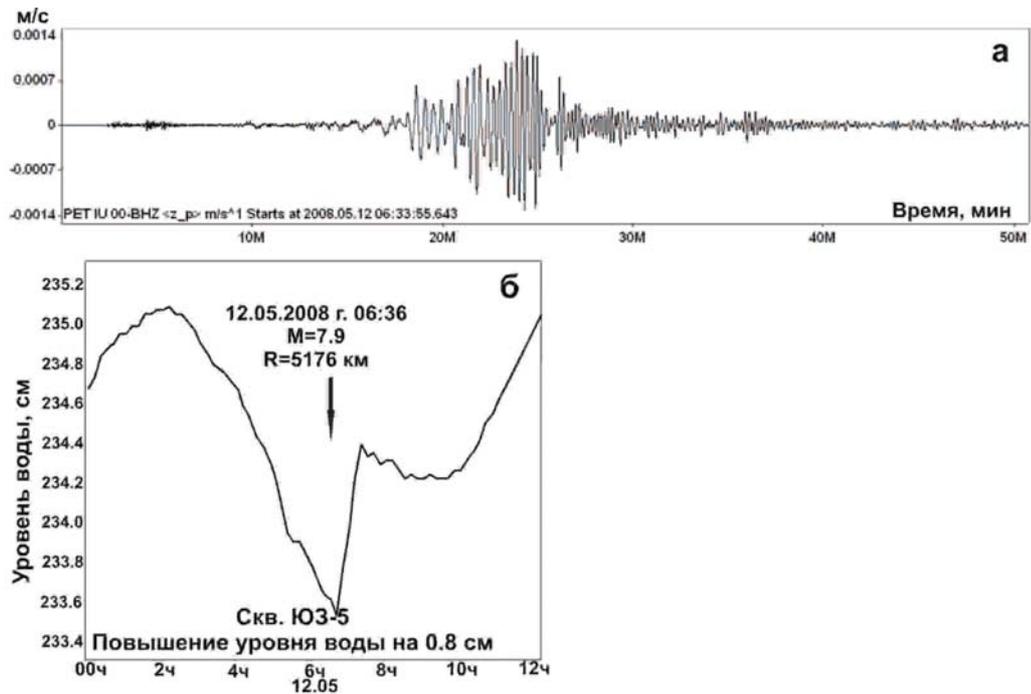


Рис. 3. Широкополосная запись IRIS Сычуаньского землетрясения (№ 10 в табл.) (а); третий тип вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5 - остаточное повышение (б).

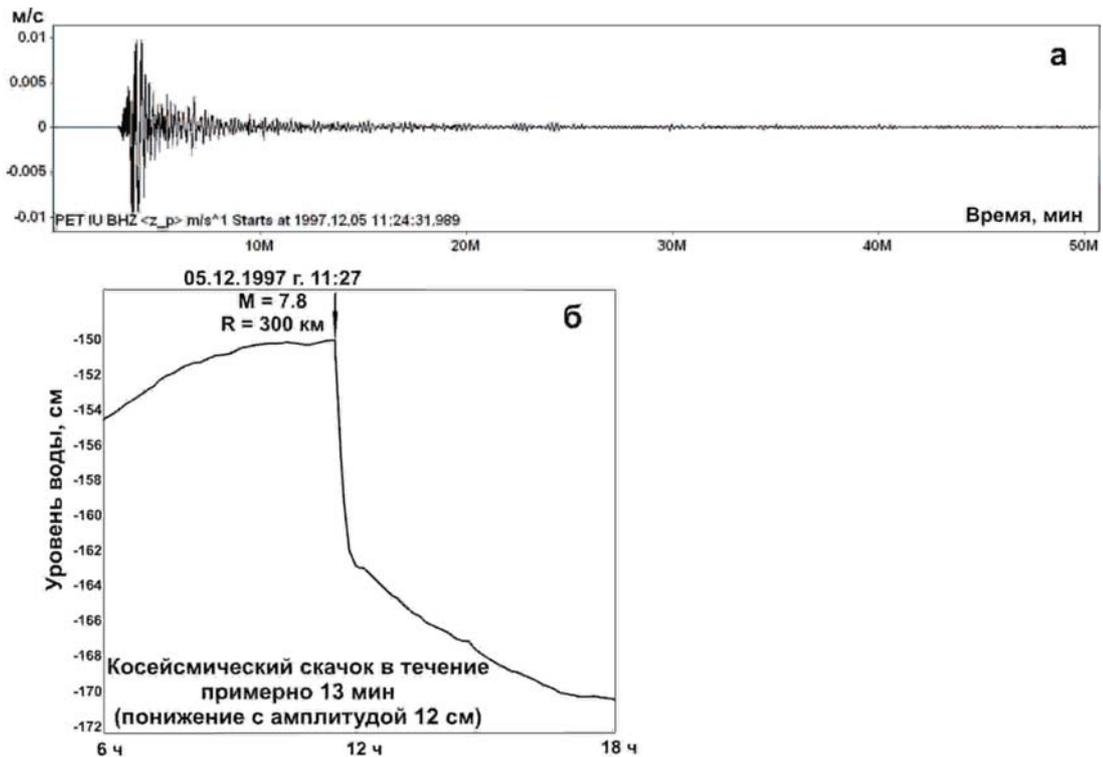


Рис. 4. Широкополосная запись IRIS Кроноцкого землетрясения (№ 1 в табл.) (а); четвертый тип вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5 – косейсмический скачок и длительное постсейсмическое понижение (б).

По полученным данным строились диаграммы, демонстрирующие соотношение амплитуд максимальных фаз колебаний грунта и частотного состава сигналов рассматриваемых землетрясений с учетом типов вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5 (рис. 5).

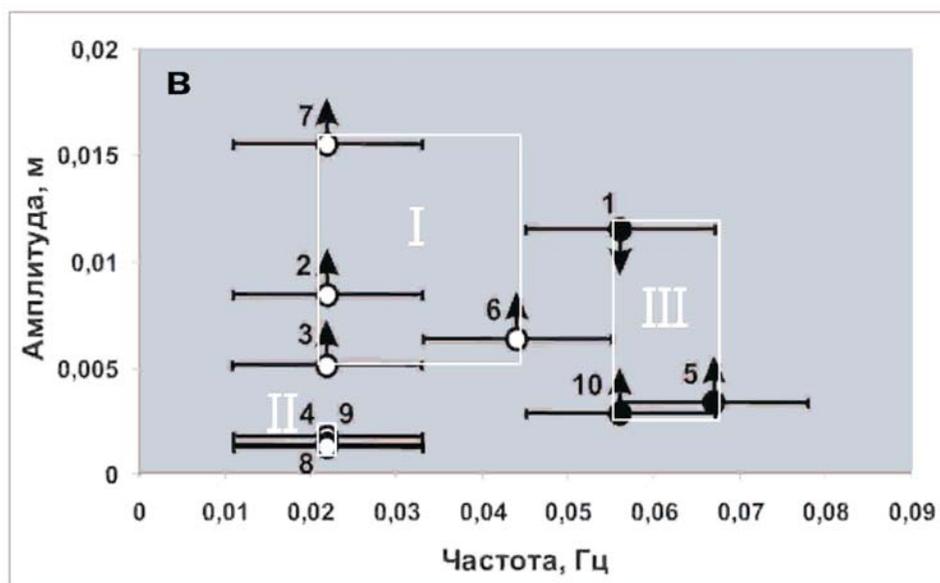
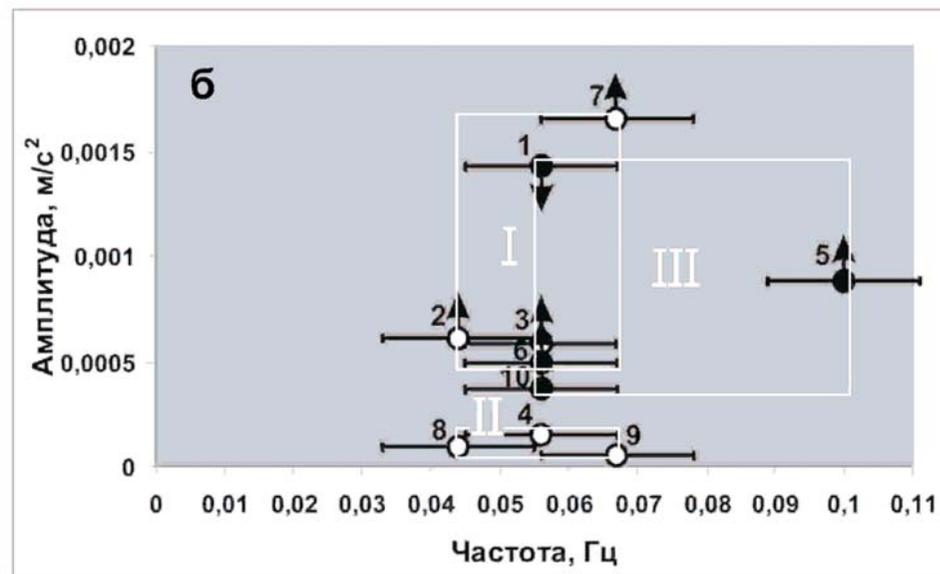
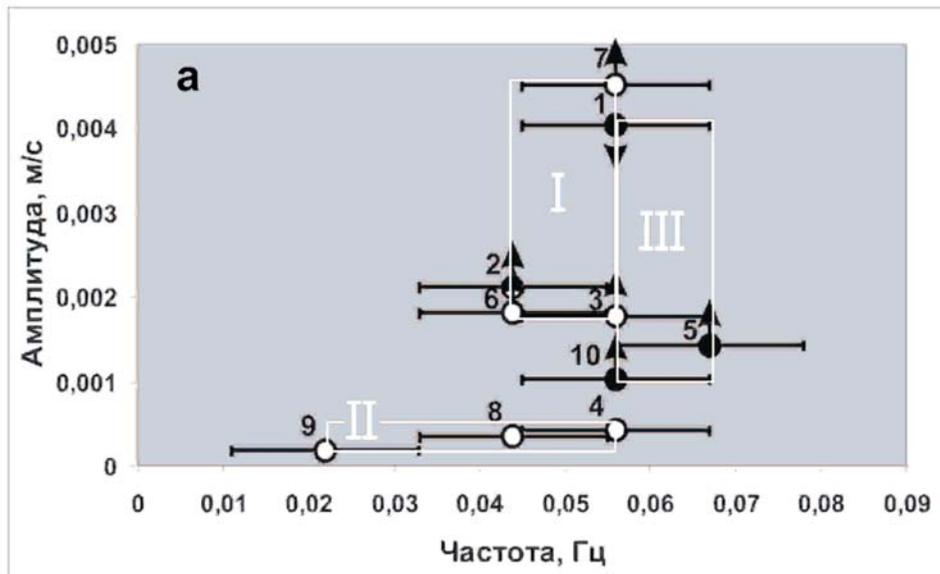


Рис. 5. Соотношение амплитуд скоростей (а), ускорений (б) и смещений (в) и частотного состава максимальных фаз колебаний грунта в районе с/с РЕТ по каналу ВНЗ; цифрами обозначены номера землетрясений (табл.); залитыми кружками показаны остаточные повышения и понижения уровня воды в скважине ЮЗ-5: стрелками показан характер остаточных изменений уровня воды (повышение - вверх, понижение - вниз); не залитыми кружками – проявление колебаний уровня воды. I, II, III – выделенные группы землетрясений (пояснения см. в тексте).

Обсуждение результатов и выводы

Результаты сопоставления параметров амплитудно-частотного состава движений грунта при землетрясениях (табл.) с вариациями уровня воды позволяют выделить три группы сильнейших землетрясений с различными типами откликов уровня воды в скважине ЮЗ-5 (рис. 5). Первая группа землетрясений (I, рис. 5) с $M=7.9-9.0$, $R=800-8300$ км, сопровождавшаяся колебаниями уровня воды с остаточным повышением, включает землетрясения Хоккайдское, Суматра-Андаманское, Симуширское-1, Симуширское-2 и Суматранское-1. Для этой группы характерны следующие диапазоны частот ν и амплитуд A максимальных фаз колебаний скорости ($\nu=0.044 - 0.056$ Гц; $A=0.1785 - 0.4530$ см/с), смещений ($\nu=0.022 - 0.044$ Гц; $A=0.1213 - 1.5557$ см) и ускорений грунта ($\nu=0.044 - 0.067$ Гц; $A=0.0498 - 0.1655$ см/с²) в районе с/с РЕТ.

Во вторую группу (II, рис. 5) выделены события с $M=7.9-8.6$ и $R=8300-8500$ км, при которых наблюдались вынужденные и свободные колебаниями уровня воды: афтершок Суматра-Андаманского землетрясения и землетрясение Суматранское-2. Для этой группы характерны диапазоны частот и амплитуд максимальных фаз колебаний скорости ($\nu=0.022 - 0.056$ Гц; $A=0.0192 - 0.0431$ см/с), смещений ($\nu=0.022$ Гц; $A=0.1257 - 0.1726$ см), ускорений ($\nu=0.044 - 0.067$ Гц; $A=0.0059 - 0.0150$ см/с²).

Третью группу (III, рис. 5) составляют землетрясения с $M=7.6-7.9$ и $R=300-5000$ км, которые сопровождались постсейсмическим повышением (понижением) уровня воды без проявления колебательного режима (Кроноцкое, Олюторское и Сычуаньское). Эта группа землетрясений характеризуется диапазонами частот и амплитуд максимальных фаз колебаний скорости ($\nu=0.056 - 0.067$ Гц; $A=0.1033 - 0.4043$ см/с), смещений ($\nu=0.056 - 0.067$ Гц; $A=0.2828 - 1.1490$ см) и ускорений ($\nu=0.056 - 0.1$ Гц; $A=0.0370 - 0.1428$ см/с²).

Наиболее четкая зависимость проявления различных типов вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5 от амплитудно-частотного состава максимальных фаз колебаний грунта обнаруживается для вертикальных смещений (рис. 5 в).

Выделяются две основные тенденции, определяющие особенности вариаций уровня воды в зависимости от амплитудно-частотного состава максимальных фаз колебаний грунта: 1 - низкочастотные и низкоамплитудные сейсмические сигналы сопровождаются колебаниями уровня воды; при увеличении амплитуды сигнала на колебательный режим могут накладываться кратковременные остаточные повышения уровня воды; 2 – относительно высокочастотные сейсмические сигналы сопровождаются остаточными повышениями уровня воды; при увеличении амплитуды сигнала могут прояв-

ляться длительные остаточные понижения уровня (например, в результате наиболее сильного Кроноцкого землетрясения).

Литература

1. Болдина С.В., Копылова Г.Н. Механизмы отклика уровня воды в скважинах на сейсмические воздействия // Тр. регион. научно-техн. конф. «Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. Т. 1. С. 50-54.
2. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Тр. регион. научно-техн. конф. «Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. Т. 2. С. 117-121.
3. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, вызванные землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6. С. 52-64.
4. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Отклик уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, на Суматра-Андаманское землетрясение 26 декабря 2004 г., $M=9$ // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С. 39-48.
5. Копылова Г.Н., Смолина Г.Н. Гидрогеосейсмические вариации уровня воды в скважинах Камчатки в связи с сильнейшими ($M \geq 7.6$) землетрясениями // Тр. регион. научно-техн. конф. «Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. Т. 1. С. 175-179.
6. Латынина Л.А., Милуков В.К., Васильев И.М. и др. Максимальные смещения земной поверхности в районе Подмосковья при Суматранском землетрясении 26.12.2004 г. // Геофизика XXI столетия: 2007 год. Сб. тр. 9-ых геофиз. чтений им. В.В. Федынского. Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2008. С. 114-120.
7. Попова О.Г., Серый А.В., Коновалов Ю.Ф. Результаты долговременного сейсмического мониторинга в сейсмоопасном районе Кавказских минеральных вод // Геоэкология. 2008. № 2. С. 135-140.
8. Vorhis R.S. Hydrologic Effects of the Earthquake of March 27, 1964 Outside Alaska // Geological Survey Professional Paper 544-C. Washington, 1967. 34 p.

PECULIARITIES OF THE WATER LEVEL VARIATIONS IN THE WELL UZ-5, KAMCHATKA, CAUSED BY PROPAGATION OF SEISMIC WAVES FROM DISTANT STRONG ($M \geq 7.6$) EARTHQUAKES

Yushko V.A.

Comparison of postseismic water level variations in the well UZ-5, Kamchatka, with parameters of the maximum phases of fluctuations of speed, displacement and ground accelerations on records of 10 strong earthquakes (magnitudes $M=7.6-9.0$, epicentral distances $R=300-8500$ km) on the seismic station Petropavlovsk located on distance of 23 km from the well is executed. Groups of the strong earthquakes accompanied by various types of water level variations (fluctuations, residual increases and decreases and their combinations) in the well UZ-5 are determined. Dependence of manifestation of various types of water level variations from amplitude-frequency structure of the maximum phases of vertical displacement of a ground is found out.