

УДК 550.348:556.33

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 28 ФЕВРАЛЯ 2013 Г., $M_w = 6.9$, И ЕГО ПРОЯВЛЕНИЕ В РЕЖИМЕ СКВАЖИН

Касимова В.А.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН

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

Представлены результаты обработки широкополосной записи землетрясения 28 февраля 2013 г., $M_w=6.9$, зарегистрированного аппаратурой IRIS на сейсмостанции Петропавловск (с/с РЕТ). Выполнены количественные оценки движений грунта (скоростей, смещений и ускорений) в районе сейсмостанции. Рассматриваются особенности вариаций уровня воды в скважинах ЮЗ-5 и Е-1, вызванных прохождением сейсмических волн от этого землетрясения.

ВВЕДЕНИЕ

Излучение сейсмических волн от сильных землетрясений может сопровождаться разнообразными изменениями в режиме подземных вод [8]. Для количественной характеристики воздействия сейсмических волн на состояние подземных вод могут быть использованы оценки амплитуд и частотного состава максимальных фаз движений грунта (скоростей, смещений и ускорений) по данным регистрации сейсмических сигналов широкополосной сейсмометрической аппаратурой.

28 февраля 2013 г. у юго-восточного побережья Камчатки произошло землетрясение с магнитудой 6.9, которое сопровождалось сотрясениями интенсивностью 4-5 баллов в г. Петропавловске-Камчатском и гидрогеосейсмическими вариациями уровня воды в скважинах ЮЗ-5 и Е-1, расположенных на эпицентральной расстоянии 280 - 290 км. После землетрясения в районе очага фиксировалась серия афтершоков с величинами магнитуд до 6.1 (табл.1, рис. 1).

Таблица 1. Характеристика землетрясения 28 февраля 2013 г., $M_w = 6.9$ и его сильнейших афтершоков (по данным КФ ГС РАН)

Дата ДД.ММ.ГГГГ	Время в очаге чч:мм:сс	Координаты		Глубина, км	M_w по NEIC	Время вступления сейсмических волн на с/ст РЕТ	
		φ , °N	λ , °E			P	S
28.02.2013	14:05:51	50.93	157.34	61	6.9	14:06:27	14:06:55
01.03.2013	12:53:52	50.94	157.51	52	6.4	12:54:28	12:54:56
01.03.2013	13:20:50	50.94	157.48	62	6.5	13:21:28	13:21:56
09.03.2013	14:56:30	50.81	157.37	50	5.8	14:57:07	14:57:36

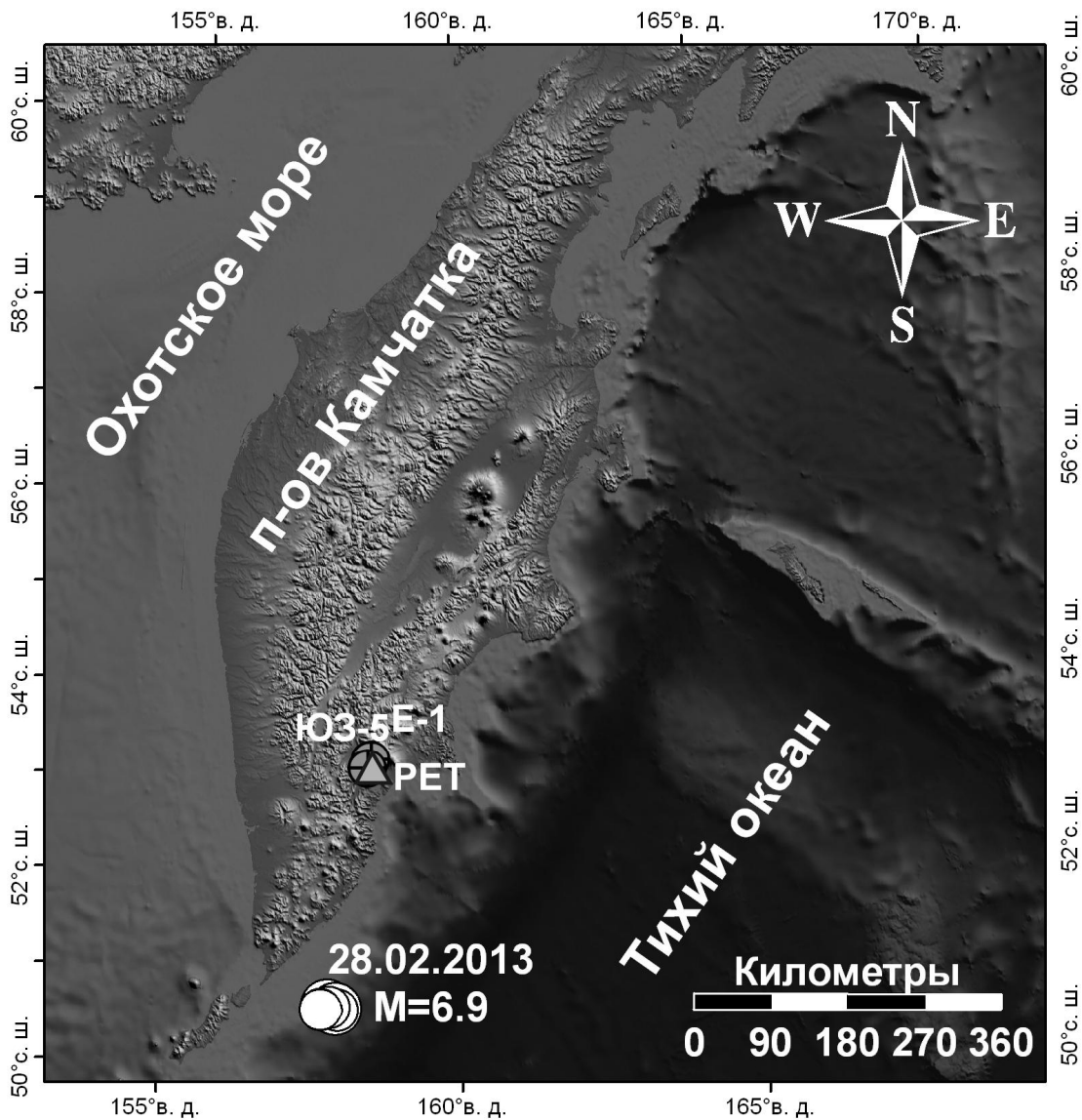


Рис. 1. Расположение сейсмостанции Петропавловск (РЕТ) и скважин ЮЗ-5 и Е-1. Эпицентры землетрясения 28.02.2013 г. и его сильнейших афтершоков показаны белыми кружками.

Сейсмические события такой интенсивности не происходили в относительной близости от столицы Камчатского края в течение 14-ти последних лет после землетрясения 8 марта 1999 г., $M=7.0$. Поэтому анализ материалов различных видов режимных наблюдений на предмет выделения эффектов, предшествующих и сопутствующих произошедшему сейсмическому событию представляет научный интерес.

С/с *PET* (53.024° с. ш., 158.653° в. д., высота 68 м над уровнем моря) расположена в на склоне сопки Петровской и находится в пределах Петропавловского горста, сложенного метаморфизованными породами верхнемелового возраста. На с/с *PET* установлена цифровая трехкомпонентная широкополосная аппаратура *IRIS*, которая входит в глобальную сеть сейсмических наблюдений (табл. 2).

Таблица 2. Техническая характеристика аппаратуры *IRIS*

Тип датчика	Точность отсчета времени, мс	Перечень имеющихся каналов и их характеристик		Частотный диапазон регистрации, Гц	Частота опроса данных, отсчет/с	Эффективная разрядность АЦП
STS-1	0,2	ВН	Е,N,Z	0,0027 - 10	20	24
GS-13	0,2	SH	Е,N,Z	1 - 20	40-80	24
FBA-23	0,2	HN	Е,N,Z	0 - 40	80	24

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 [4].

Скважина *Е-1* (Елизовская-1) (53.264° с.ш., 158.478° в.д., глубина 665 м, уровень воды расположен на глубине 28-30 м) вскрывает слабоминерализованные газонасыщенные подземные воды в интервале 625-647 м [3].

Наблюдения на обеих скважинах проводятся Камчатским филиалом Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) с использованием

измерительного комплекса Кедр ДМ (ООО Полином, г. Хабаровск), оборудованного прецизионными датчиками уровня воды, атмосферного давления, температуры и электропроводности воды с телеметрической передачей данных [2]. Основные характеристики измерительного комплекса приводятся в табл. 3. Периодичность измерений параметров составляет один раз в 5 минут. Передача данных в КФ ГС РАН осуществляется с использованием сотовой связи общего пользования (GPRS).

Таблица 3. Технические характеристика измерительного комплекса Кедр-ДМ [2]

Регистратор БСИ 300	
Диапазон установки интервала измерений	5 - 60 минут
Разрешающая способность датчика атмосферного давления	0.1 гПа
Разрешающая способность датчика температуры воздуха	0.1° С
Напряжение питания (постоянный ток)	8-15 В
Датчик уровня	
Разрешающая способность датчика уровня	0.01 см
Основная погрешность измерения уровня	0.5 %
Глубинный зонд	
Разрешающая способность датчика температуры воды	0.01° С
Погрешность измерения температуры воды в диапазоне 0-100° С	0.5 %
Разрешающая способность датчика электропроводности воды	1 мСм/м
Диапазон измерения электропроводности	2-2000 мСм/м

В пьезометрических скважинах при прохождении сейсмических волн от сильных землетрясений могут наблюдаться разнообразные вариации уровня воды [5]. В [5-7] такие изменения уровня воды в скв. ЮЗ-5 были разделены по морфологическим признакам на четыре типа: 1 - вынужденные и свободные колебания, 2 - колебания с остаточным повышением, 3 - остаточное повышение и 4 - длительное понижение уровня вод.

В связи с сейсмическим событием 28.02.2013 г. в скважинах ЮЗ-5 и Е-1 были зарегистрированы разнообразные изменения уровня воды:

- кратковременное косейсмическое повышение уровня воды в скважине ЮЗ-5 (рис. 3);
- постсейсмические изменения уровня воды, вызванные воздействием сейсмических волн (рис. 4, 5);
- гидрогеодинамический предвестник в изменениях уровня воды в скважине Е-1 (рис. 5).

В скв. ЮЗ-5 наблюдался редкий 4-ый тип изменений уровня воды – длительное постсейсмическое понижение (рис. 4).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе использовались сейсмические записи землетрясения 28.02.2013 г., $M=6.9$, зарегистрированного широкополосными каналами ВН (E , N , Z) аппаратуры IRIS (табл. 2) на с/с РЕТ, и 5-минутные записи изменений уровня воды в скважинах ЮЗ-5 и Е-1.

С использованием частотно-временного анализа сейсмических записей были получены количественные оценки амплитуд и частотного состава максимальных фаз колебаний грунта. Затем выполнялось сопоставление амплитудно-частотного состава движений грунта в районе с/с РЕТ с вариациями уровня воды в скважинах ЮЗ-5 и Е-1.

Записи сейсмических сигналов подвергались частотно-временному анализу с оценкой времен, амплитуд и периодов максимальных фаз колебаний грунта с использованием программы обработки сейсмических сигналов DIMAS [1]. С ее помощью были определены времена вступлений сейсмических волн (P- продольных, S - поперечных).

Восстановление движений грунта выполнялось путем эмуляции исходных сигналов скорости в смещения и в ускорения. Изучение изменения частоты сигнала во времени проводилось путем пропускания сейсмической записи 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. Времена проявления максимальных амплитуд примерно соответствовали времени прохождения поперечных волн. По амплитуде максимального смещения грунта на канале BHZ оценена величина максимального вертикального смещения поверхности Земли в районе с/с РЕТ (0.6 см).

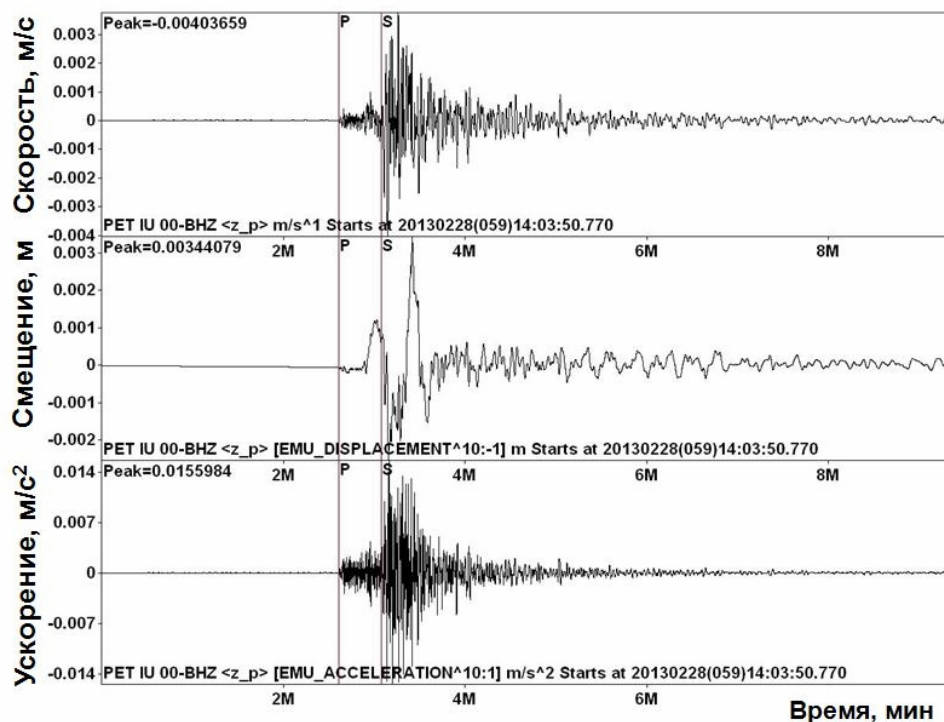


Рис. 2 Записи скорости, смещения и ускорения грунта в районе с/с РЕТ от землетрясения 28 февраля 2013 г., зарегистрированного аппаратурой IRIS на канале BHZ.

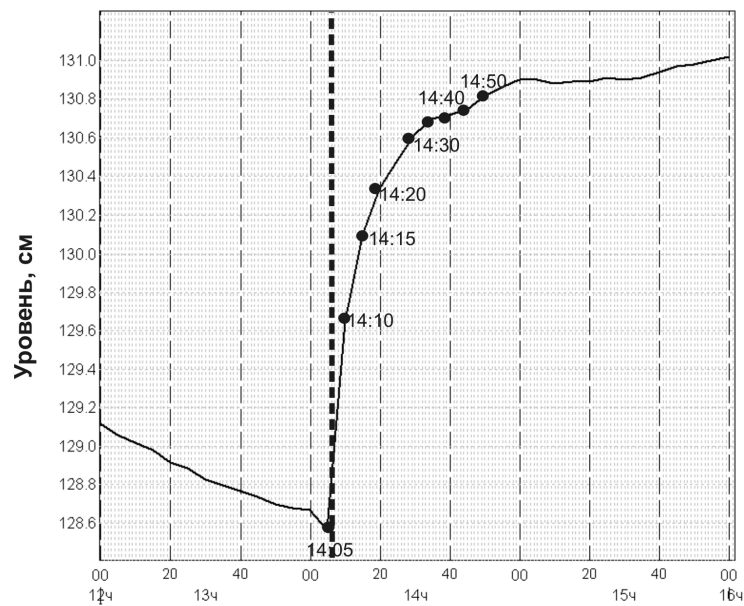


Рис. 3. Кратковременное косейсмическое повышение уровня воды в скважине ЮЗ-5 по данным 5-минутных измерений. Момент вступления сейсмических волн от землетрясения 28 февраля 2013 г. обозначен вертикальной пунктирной линией.

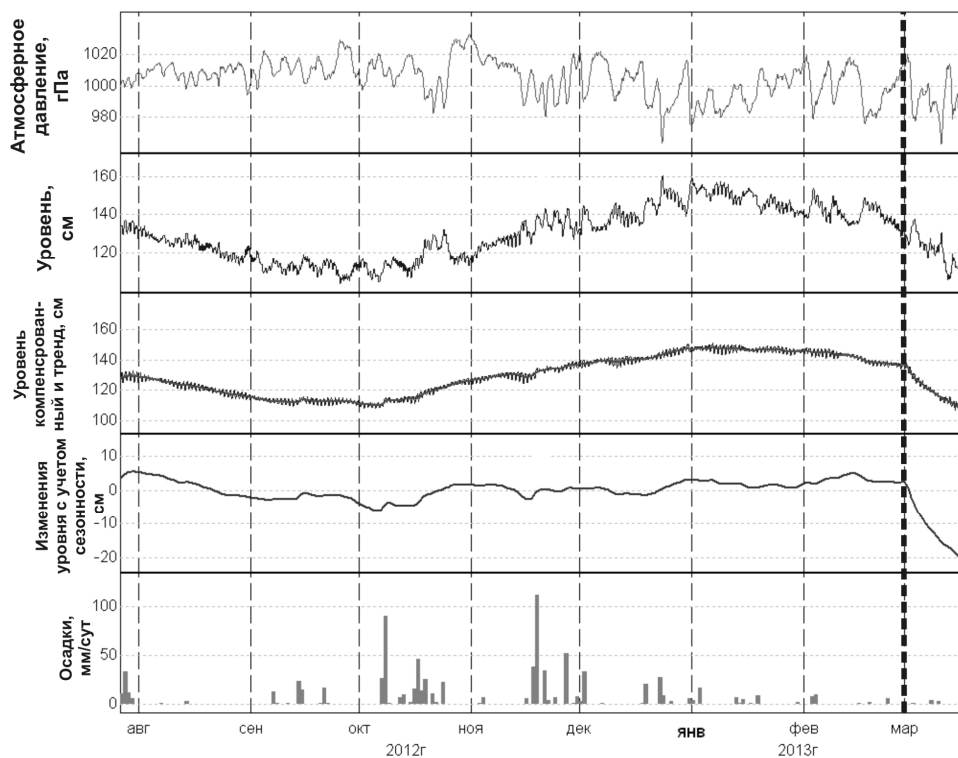


Рис. 4. Длительное постсейсмическое понижение уровня воды в скважине ЮЗ-5 после землетрясения 28 февраля 2013 г. На графиках представлены сверху вниз: изменения атмосферного давления, изменения уровня воды; изменения уровня воды с компенсированными баровариациями и сезонный тренд; изменения уровня максимально очищенные от влияния факторов-помех; суточные суммы осадков по данным наблюдений на метеостанции «Пионерская». Вертикальная пунктирная линия – момент землетрясения 28.02.2013 г.

В скважине Е-1 перед землетрясением проявилось понижение уровня с повышенной скоростью, которое началось 16 января 2013 г. (рис. 5). Такое понижение рассматривалось в [3] как возможный признак подготовки (или предвестник) сильного землетрясения. После землетрясения 28 февраля 2013 г. произошло повышение уровня воды с амплитудой около 1 см.

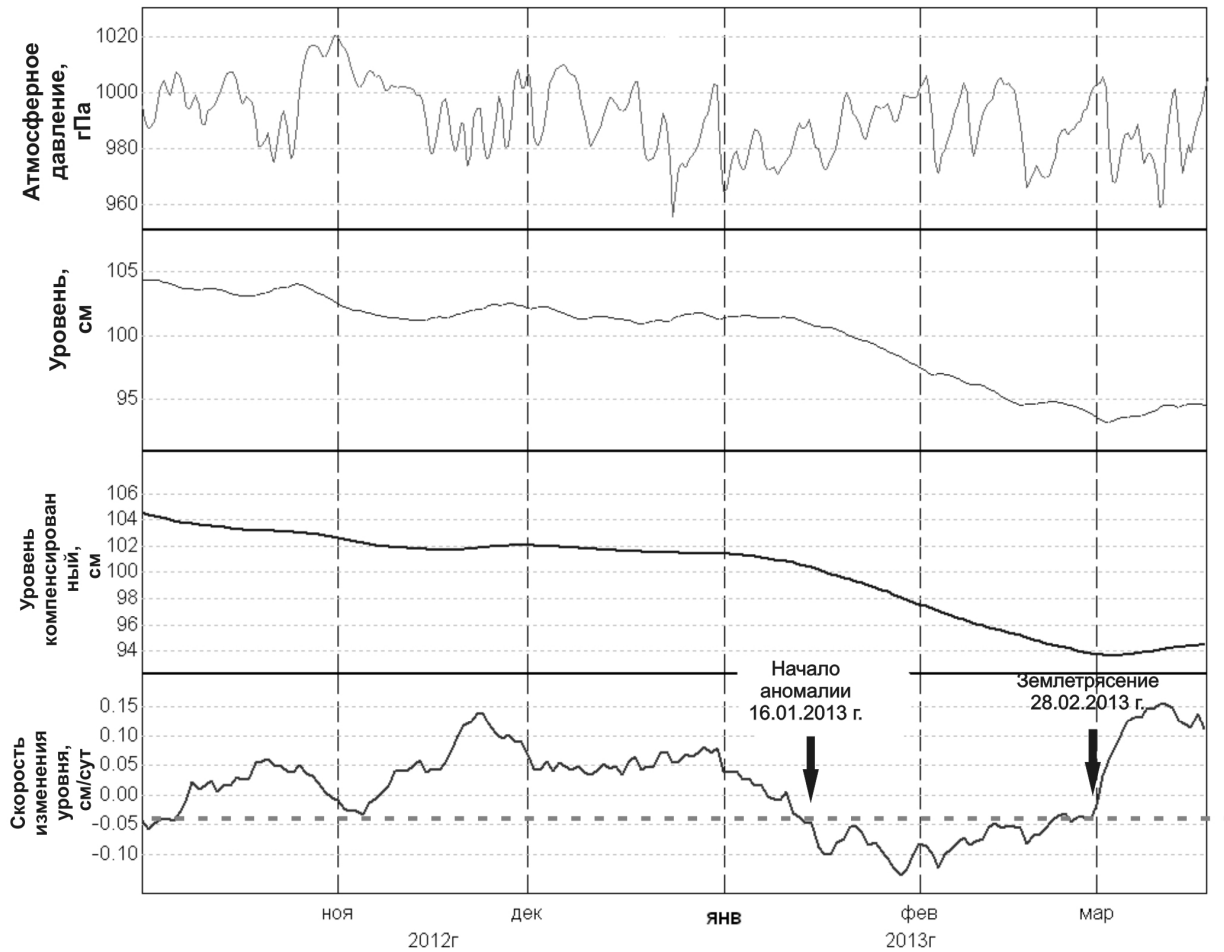


Рис. 5. Проявление предвестника и постсейсмического повышения в изменениях уровня воды в скважине Е-1 в связи с землетрясением 28 февраля 2013 г. Сверху вниз показаны: изменения атмосферного давления, изменения уровня воды по данным 5-минутной регистрации; изменения уровня с компенсированными баровариациями; вариации суточной скорости изменения уровня воды. Горизонтальной пунктирной линией показано пороговое значение скорости. Стрелочками обозначены начало аномалии и момент землетрясения 28.02.2013 г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате обработки широкополосной сейсмической записи землетрясения 28 февраля 2013 г., зарегистрированного аппаратурой IRIS, получены количественные характеристики параметров движений грунта в районе с/с РЕТ, в т. ч. амплитудно-частотный состав максимальных фаз колебаний скоростей, смещений и ускорений (табл. 4). Максимальные амплитуды колебаний скоростей и ускорений фиксировались на частоте 0.089 Гц, а максимальные амплитуды смещений – на частотах 0.033-0.055 Гц.

Таблица 4. Характеристика максимальных фаз движений грунта в районе сейсмостанции Петропавловск во время землетрясения 28.02.2013 г.

Землетрясение	Регистрирующий канал	Частота проявления A_{\max} , Гц			Максимальная амплитуда A_{\max}		
		скорость	ускорение	смещение	скорость, см/с	ускорение, см/с ²	смещение, см
28.02.2013 г.	ВНЕ	0.089	0.089	0.033	0.0184	0.0103	0.0532
	ВНН	0.056	0.089	0.055	0.0238	0.0107	0.0682
	ВНЗ	0.044	0.089	0.044	0.0244	0.0092	0.0886

Рассмотрены гидрогеосейсмические вариации уровня воды в скважинах ЮЗ-5 и Е-1, выделенные в исходных записях уровня воды с периодичностью регистрации 5 минут и по результатам обработки уровнемерных данных, выполненных в лаборатории геофизических исследований КФ ГС РАН (рис. 3-5).

Сопоставление количественных оценок движений грунта во время землетрясения 28 февраля 2013 г. с выделенными гидрогеосейсмическими вариациями уровня воды подтверждает выявленную ранее зависимость между особенностями вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5 и

амплитудно-частотным составом максимальных фаз движений грунта при сильных землетрясениях [6, 7].

В скважине ЮЗ-5 относительно высокочастотные сейсмические сигналы сопровождаются, главным образом, остаточными изменениями уровня воды без проявления колебательного режима (рис. 3). При достижении амплитуды сейсмического сигнала определенной величины в скважине ЮЗ-5 могут проявляться длительные остаточные понижения уровня воды (см. рис. 4). Последний вид гидрогеосейсмических вариаций уровня воды наблюдался ранее только после Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., $M_w=7.8$ [5]. В [4, 5] в качестве механизма образования такого типа вариаций уровня воды рассматривается падение порового давления в окрестностях скважины вследствие локального повышения проницаемости водовмещающих пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 3 С. 22-34.
2. Калинов Г.А., Лысаков А.В., Римлянд В.И. и др. Автоматизированная система сбора гидрологической информации // Измерительная техника. 2012. №2. С. 92-99.
3. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине Елизовская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями (по данным наблюдений в 1987-1998 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2001. №2. С. 39-52.
4. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, вызванные землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6. С. 52-64.
5. Копылова Г.Н., Смолина Г.Н. Гидрогеосейсмические вариации уровня воды в скважинах Камчатки в связи с сильнейшими ($M \geq 7.6$) землетрясениями // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Тр. регион. научно-техн. конф. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. Т. 1. С. 175-179.
6. Юшко В.А. Особенности вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, при прохождении сейсмических волн от сильнейших ($M \geq 7.6$) удаленных землетрясений // Исследования в области наук о Земле. Матер. VI рег. молодежной науч. конф. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. В.Беринга, 2008. С. 112-119.
7. Юшко В.А. Эффекты воздействия сейсмических волн от сильнейших ($M \geq 7.6$) землетрясений в изменениях уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка // Десятая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сб. науч. материалов. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2009. С. 253-258.
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.

**THE EARTHQUAKE OF 28 FEBRUARY 2013, $M_w = 6.9$, AND ITS
MANIFESTATION IN THE MODE OF WELLS**

Kasimova V.A.

Kamchatka Branch of Geophysical Service Russian Academy of Science

Presents the results of processing of broadband record of the earthquake 28.02.2013, $M_w = 6.9$, registered by IRIS equipment on the seismic station Petropavlovsk (s/s PET). Performed quantitative estimates of the ground movements (velocities, displacements and accelerations) in the area of the seismic station. The features are variations in the level of water in wells UZ-5 and E-1, caused by the passage of seismic waves from the earthquake.