

УДК 550.394.2

*Е.А.Виноградов, Э.М.Горбунова,
Н.В.Кабыченко, Г.Г.Кочарян, И.С.Свицков***ОТКЛИК КОЛЛЕКТОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА СЛАБЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ УДАЛЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

В статье приводятся данные по ряду случаев вариаций столба жидкости в скважине, расположенной на территории геофизической обсерватории «Михнево» в центральной части Евразийской плиты, в результате прохождения волн от землетрясений $M_{w} 7.2-8.8$ с очагами в различных регионах.

Ключевые слова: вариации уровня воды в скважинах; косейсмический отклик; гидрогеология.

Реакция коллекторов подземных вод на динамическое воздействие, в частности на прохождение волн локальных и удаленных землетрясений, фиксируется достаточно давно. Систематические наблюдения продемонстрировали значимые изменения уровня воды в скважинах, скорости водопритока и даже проницаемости коллекторов как реакцию на косейсмические и постсейсмические деформации [Brodsky et al., 2003; Manga and Brodsky, 2006; Elkhoury et al., 2006 и др.]. Так при Суматра-Андаманском землетрясении 2004 г. с магнитудой $M_{w} \sim 9.2$ на расстоянии 3200 км вода из скважины фонтанировала на высоту свыше 60 м. Через двое суток после землетрясения высота фонтана достигала около 20 м [Manga, M., Wang C.-Y., 2007].

При этом подавляющее число таких свидетельств получено в существенно сейсмически-активных регионах, преимущественно на границе литосферных плит. Так, большое количество случаев описано для района островов Японии [Matsumoto N. et al., 2003; King C.-Y. et al., 1999], Калифорнии [Roeloffs E.A., 1998], Камчатки [Копылова Г.Н., 2000; Копылова Г.Н., Болдина С.В., 2006] и др. Наблюдения в платформенных условиях практически не распространены по причине сильного затухания волны по мере удаления от очага события и, как следствие, незначительной эффективности наблюдений от землетрясений магнитудой до $M 7.0$.

Тем не менее, с развитием цифровых методов мониторинга и обработки данных, а также и повышением качества регистрирующей аппаратуры появляется возможность выделять из уровня воды в скважине реакцию на относительно небольшое динамическое воздействие.

Прецизионный мониторинг уровня воды в скважине, расположенной на территории геофизической обсерватории (ГФО) «Михнево» в 100 км. от Москвы проводится с марта 2008 года. Скважина диаметром 118 мм и глубиной 115 метров вскрыла напорный алексинско-тарусский водоносный горизонт нижнего карбона, приуроченный к неравномерно трещиноватым известнякам. Скважина обсажена до глубины 91 м. Ниже ствол скважины открыт.

Наблюдения за уровнем подземных вод ведутся с использованием датчика LMP308i (Германия)

синхронно с измерениями атмосферного давления (датчик абсолютного давления, ИКИ, Россия). Интервал опроса параметров составляет 1 сек, точность регистрации уровня – 0,1 мм, атмосферного давления – 0,1 гПа. На станции, в непосредственной близости от скважины, ведутся сейсмические наблюдения. Регистрация производится различными датчиками в широком диапазоне частот [Кочарян Г.Г. и др., 2010; Виноградов Е.А. и др., 2010].

За время наблюдений в скважине было зафиксированы отклики на два катастрофических землетрясения – $M 8.8$ землетрясение, произошедшее 27.02.2010 у берегов Чили и $M 8.8$ землетрясение, имевшее место 11.03.2011 в районе острова Хонсю, Япония.

На рис.1 представлены эпюры сейсмических записей и регистрации уровня воды в скважине в момент прохождения волны от Чилийского землетрясения. Отчетливую реакцию на событие можно наблюдать невооруженным взглядом (верхняя эпюра). После обработки данных (очистки от шума и фильтрации в полосе от 5 до 200 секунд) можно видеть, что на записи уровня отчетливо выделяются вступления различных групп волн, а максимальная амплитуда колебаний уровня наблюдается в группе поверхностных волн и составляет величину около 7 мм при характерном периоде около 30 с. Можно видеть, что в группе поверхностных волн, после краткого переходного процесса, колебания жидкости в скважине "отслеживают" вертикальную составляющую колебаний грунта. При этом амплитуда смещения грунта примерно равна амплитуде смещения уровня воды в скважине.

Похожая картина наблюдалась и при прохождении волн от Японского землетрясения $M 8.8$ 11.03.2011. В данном случае разброс колебаний уровня воды в скважине достиг величины 23 мм при амплитуде смещения от 28 до 32 мм в зависимости от компоненты.

Отметим, что кроме косейсмических колебаний с частотой, равной частоте проходящей сейсмической волны, отмечалось также и остаточное смещение уровня воды, составившее 4 мм для чилийского и около 13 мм для японского землетрясений.

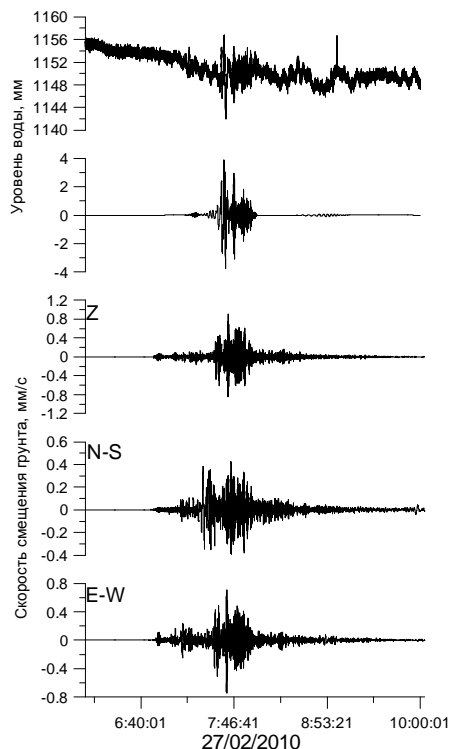


Рис. 1. Записи вариаций уровня воды (верхняя – исходная, вторая сверху – обработанная) и параметров сейсмических колебаний при Чилийском землетрясении М 8.8 27.02.2010

Землетрясения с магнитудой более М8.0 на Земле достаточно редки, в среднем сейсмологи фиксируют лишь одно такое событие в год. Реакция на землетрясения с меньшей магнитудой проявляется не всегда и, поскольку ее амплитуда почти всегда лежит вне области надежной регистрации датчика, в меньшей степени информативна.

За все время наблюдений нам удалось зафиксировать 8 откликов на землетрясения с магнитудами от 7.2 до 8.8. Эпицентры землетрясений, зафиксированных восточнее Курильских островов, вблизи побережий острова Хонсю и Центрального Чили, приурочены к активным окраинам континентов и сопряжены с зонами субдукции плит. Очаги землетрясений, зарегистрированных вблизи островов Рюкю, Северная Суматра, Вануату и Самоа, расположены в пределах сейсмически активных островных дуг.

На рис. 2 представлена запись уровня воды, очищенная от шума и отфильтрованная в полосе до 250 секунд, и запись вертикальной компоненты сейсмических колебаний, зафиксированные во время прохождения волны от М 7.6 землетрясения, произошедшего 15.01.2009 в районе Курильской гряды.

В данном случае уже нельзя говорить о том, что вариации уровня воды «отслеживают» смещения грунта, хотя периоды колебаний на обеих записях близки к 20 сек.

В таблице представлены данные по 6 событиям (за исключением катастрофических землетрясений близ Чили и острова Хонсю), зафиксированным за время мониторинга в скважине.

На рис 3 показана зависимость между максимальными значениями скорости смещения грунта и амплитуд уровня.

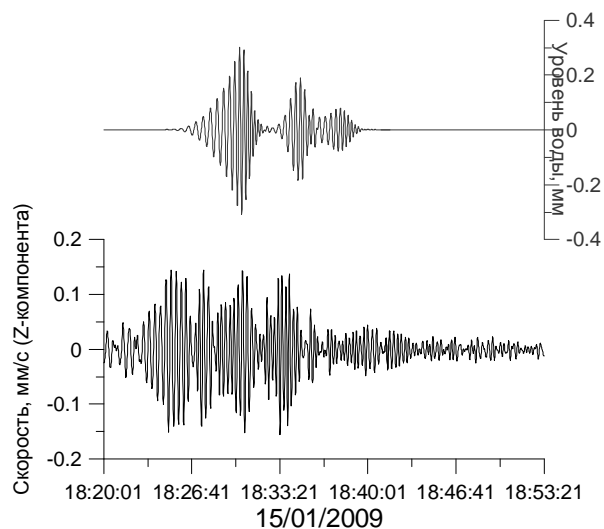


Рис. 2. Записи вариации уровня (обработанной) и вертикальной компоненты сейсмических колебаний при Курильском землетрясении М 7.6 15.01.2009

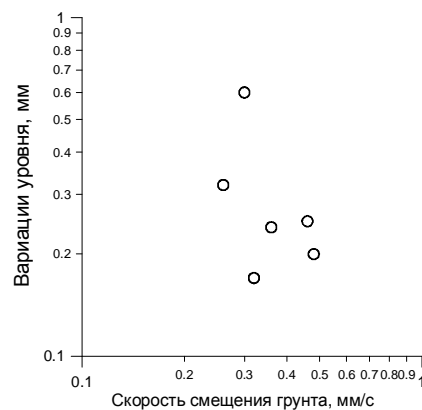


Рис. 3. Диаграмма изменений значений скорости смещения грунта и амплитуд уровня при землетрясениях с магнитудой М7.2 – 7.8

Некоей четкой зависимости между этими параметрами в настоящее время не наблюдается. Следует отметить, что значимый гидрогеологический отклик на землетрясение, произошедшее восточнее Курильских островов, достигающий 0,6 мм, прослежен при стабильно высоком значении напора водоносного горизонта (до 23,9 м). Реакция подземных вод на землетрясение, произошедшее 9 марта 2011 г. вблизи острова Хонсю, небольшая для относи-

тельно підвищеного значення швидкості зміщення ґрунту (табл.1) і зафіксована при мінімальній величині напора, що становить 20,2 м в умовах регіонального тренда зниження рівня пьезометричної поверхності. Для розглянутого події період возмущения водоносного горизонту склав 3", загальна тривалість - не перевищила 30". Подібний гідрогеологічний відгук зафіксовано і при землетрусі, що стався поблизу Північної Суматри.

Землетрус			Дані сейсмічної реєстрації		Гідрогеологічний відгук	
Район	Дата Час	Глибина, км Магнітуда	Період, сек	Амплітуда, мм/с	Період, сек	Амплітуда, мм
Східно-Курильських о-в	15.01.2009 17:49:36.8	33 7.6	20	0.3	2 0	0.6
Поблизу вост. берега о-ва Хонсю	09.03.2011 02:45:19.7	33 7.7	20	0.45	3	0.22
Острови Рюкю	26.02.2010 20:31:23.8	15 7.2	20	0.35	25	0.23
Півн. Суматра	06.04.2010 22:15:00.0	33 7.8	24	0.31	3	0.09
Острови Вануату	07.10.2009 22:03:13.5	33 7.8	25	0.36	30	0.32
Острови Самоа	29.09.2009 17:48:11.0	20 8.2	23	0.32	40	0.16

Встановлення конкретних залежностей інтенсивності реакції рівня води в скважині на

динамічне вплив в результаті проходження сейсмічних хвиль віддалених землетрусів стане можливим по мірі накоплення результатів натурних спостережень.

Література

- Виноградов Е.А., Горбунова Э.М., Кабыченко Н.В., Кочарян Г.Г., Павлов Д.В., Свинцов И.С. Гидрогеологический отклик на изменение эффективного напряжения водовмещающих пород //Динамические процессы в геосферах. Сб. научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2010, с.88-96.
- Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине Елизовская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями (по данным наблюдений в 1987-1998 гг.)//Вулканология и сейсмология. 2000. №6, с. 1-14.
- Копылова Г.Н., Болдина С.В. Гидрогеодинамические эффекты землетрясений в системе скважина-резервуар //Вестник КРАУНЦ, Серия Науки о Земле. 2006. № 5
- Кочарян Г.Г., Виноградов Е.А., Горбунова Э.М. Изменение флюидодинамического режима подземных коллекторов под действием сейсмических колебаний. Часть 1. Анализ результатов наблюдений. //Динамические процессы в геосферах. Сб. научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2010, с.70-79.
- King C.-Y., Asuma S., Igarashi G., Ohno M., Saito H., Wakita H. Earthquake-related water-level changes at closely clustered wells in Tono, central Japan // J. Geophys. Res., 1999. V. 104. N. B6. P. 13073-13082.
- Matsumoto N., Kitagawa G., Roeloffs E. A. Hydrological response to earthquakes in the Haibara well, central Japan – I. Groundwater level changes revealed using state space decomposition of atmospheric pressure, rainfall and tidal responses. Geophys. J. Int. 2003. 155. P. 885-899.
- Roeloffs E.A. Persistent water changes in a well near Parkfield, California, due to local and distant earthquakes //J. Geophys. Res. 1998. V. 103. P. 869-889.

ВІДГУК КОЛЕКТОРІВ ПІДЗЕМНИХ ВОД НА СЛАБКІ СЕЙСМІЧНІ ХВИЛІ ВІДДАЛЕНИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ

Є.О. Виноградов, Е.М. Горбунова, Н.В. Кабыченко, Г.Г. Кочарян, І.С. Свинцов

У статті наводяться дані по ряду випадків варіацій стовпа рідини в свердловині, розташованій на території геофізичної обсерваторії «Міхньово» в центральній частині Євразійської плити, в результаті проходження хвиль від землетрусів М7.2-8.8 з вогнищами в різних регіонах.

Ключові слова: варіації рівня води в свердловинах; косейсмічній відгук; гідрогеологія.

RESPONSE OF COLLECTORS OF UNDERGROUND WATER TO WEAK SEISMIC WAVES OF DISTANT EARTHQUAKES

Е.А. Vinogradov, Е.М. Gorbunova, N. V. Kabychenko, G. G. Kocharyan, I. S. Svintsov

Datum of some cases of water level variations as a response to seismic waves of distant M 7.2-8.8 earthquakes with sources in different regions are presented in paper. Datum have been got in a well located at "Mikhnevo" geophysical observatory in the central part of Eurasian Plate.

Key words: water level variations in well; co-seismic response; hydrogeology.