

ГИДРОГЕОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ УРОВНЯ ВОДЫ В СКВАЖИНАХ КАМЧАТКИ В СВЯЗИ С СИЛЬНЕЙШИМИ ($M \geq 7.6$) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Копылова Г.Н.¹, Смолина Н.Н.²

¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, gala@emsd.ru

² ОАО «Камчатгеология», Петропавловск-Камчатский

Введение

На Камчатке специализированные уровнемерные наблюдения в скважинах с целью поиска гидрогеодинамических предвестников землетрясений проводятся Камчатским филиалом Геофизической службы РАН с 1996 г. и ОАО «Камчатгеология» с 2001 г. К настоящему времени наблюдательная сеть включает шесть скважин (рис. 1, табл. 1). На всех скважинах установлены автономные регистраторы Кедр А2 (ООО «Полином», г. Хабаровск), оборудованные ультразвуковыми датчиками уровня воды и атмосферного давления. С 2005-2006 гг. на всех скважинах осуществляется синхронная регистрация уровня воды и атмосферного давления с периодичностью 10 минут (табл. 1). Чувствительность измерений уровня воды составляет 0.1 см, атмосферного давления - 0.2 гПа.

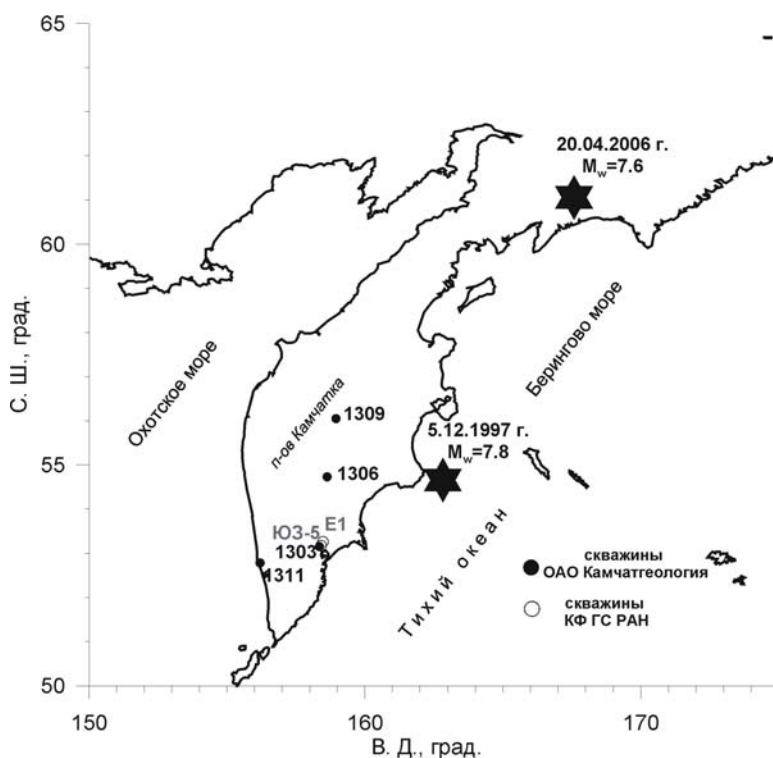


Рис. 1. Схема расположения скважин и эпицентров сильнейших землетрясений в Камчатском регионе: Кроноцкого 5.12.1997 г., $M_w=7.8$ и Олюторского 20.04.2006 г., $M_w=7.6$

За время наблюдений в изменениях уровня воды зарегистрированы вариации в связи с десятью сильнейшими ($M \geq 7.6$) землетрясениями, произошедшими в северо-западной и западной частях Тихоокеанского сейсмического пояса (табл. 2).

В скважине ЮЗ-5 в период Кроноцкого землетрясения последовательно проявились три типа вариаций уровня воды: 1 – гидрогеодинамический предвестник (понижение уровня в течение трех недель с амплитудой 11 см), 2 – косейсмический скачок понижения уровня с амплитудой 12.2 см вследствие расширения

водовмещающих пород при образовании разрыва в очаге, 3 – постсейсмическое понижение уровня воды в течение трех месяцев и его восстановление к прежнему положению в течение двух лет [2].

В связи с Суматра-Андаманским землетрясением в скважине ЮЗ-5 зарегистрированы вынужденные и свободные колебания уровня воды продолжительностью ~10 ч [3]. Афтершок этого землетрясения также сопровождался колебаниями уровня воды в течение 4.5 ч. После Олюторского землетрясения проявлялись монотонные остаточные изменения уровня воды в скважинах 1309, 1306 и ЮЗ-5 в течение часов-первых суток [4].

Прохождение сейсмических волн от сильнейших землетрясений 2006-2007 гг. (табл. 2) сопровождалось разнообразными изменениями уровня воды в наблюдательных скважинах. Изучение таких эффектов направлено на совершенствование теории землетрясений и их воздействия на геологическую среду, в частности, на состояние подземных вод, а также на обоснование технических требований к оборудованию, применяемому при проведении гидрогеодинамического мониторинга.

Таблица 1. Характеристика наблюдательных скважин

№ скважины	Координаты, град		А.о., м; Н, м; h, м	Открытый интервал, м	Водовмещающие породы	Характеристика флюида				T ₀ , гг.мм.дд
	с. ш.,	в. д.				М, г/л	хим. состав	газ	T, °С	
1303	53.15	158.35	31; 717; 25	517-717; открытый ствол	N ₂ -N ₁ ² туфопесчаники	0.67	(HCO ₃ -SO ₄)/Na	нет	4.7	05.03.01
1306	54.73	158.63	200; 100; 11	28-41; дырчатый фильтр	Q _{IV} гравийно-галечные отложения	1.5	HCO ₃ /(Ca+Mg)	есть? CO ₂	2	06.06.30
1309	56.05	158.95	406 250; 4	223-250; открытый ствол	NaI туфы	1.5	SO ₄ /(Na+Ca)	нет	6.6	05.09.11
1311	52.79	156.20	20; 80; 12	67-69, 70-73; дырчатый фильтр	Q _{IV} щебнисто-гравийные отложения	0.18	(HCO ₃ -Cl)/(Mg-Ca, Na)	нет	4	05.03.01
ЮЗ-5	53.17	158.41	70; 800; 1.5	310-800; открытый ствол	K ₂ алевролиты	0.4	(HCO ₃ -SO ₄)/(Na-Ca)	нет	14	97.09.09
E1	53.26	158.48	180; 665; 29	625-645; дырчатый фильтр	N ₂ , туфы	1.5	(Cl-HCO ₃)/Na	своб., N ₂ -CH ₄	10	96.01.29

Примечание: А.о. – абсолютная отметка, Н – глубина скважины, h – глубина уровня воды, T₀ – начало 10-минутной регистрации.

Таблица 2. Данные о сильнейших землетрясениях 1997-2007 гг. (M≥7.6), вызвавших изменения уровня воды в наблюдательных скважинах

№ п/п	Название землетрясения	Дата гг.мм.дд.	Время в очаге чч:мм	Координаты, град		M _w	Эпицентрально-расстояние, R, км
				широта	долгота		
1	Кроноцкое	97.12.05	11:27	54.64 с. ш.	162.55 в. д.	7.8	309-316
2	Хоккайдское	03.09.25	19:50	41.78 с. ш.	143.91 в. д.	8.3	1670
3	Суматра-Андаманское	04.12.26	00:59	3.30 с. ш.	95.78 в. д.	9.0	8270
4	Суматранское-афтершок	050328	16:10	2.07 с. ш.	97.01 в. д.	8.7	8290
5	Олюторское	06.04.20	23:25	61.06 с. ш.	167.58 в. д.	7.6	749-1149
6	Симуширское-1	06.11.15	11:14	46.62 с. ш.	153.22 в. д.	8.3	719-1121
7	Симуширское-2	07.01.13	4:23	46.26 с. ш.	154.45 в. д.	8.2	740-1137
8	Соломоновы о-ва	07.04.01	20:40	8.48 ю. ш.	156.98 в. д.	8.1	6808-7173
9	Суматранское	07.09.12	11:10	4.52 ю. ш.	11.37 в. д.	8.4	8622-8860
10	Суматранское	07.09.12	23:49	2.7 ю. ш.	100.7 в. д.	7.9	8496-8721

В настоящей работе рассматриваются особенности проявления гидрогеосейсмических вариаций уровня воды в связи с сильнейшими землетрясениями 2006-2007 гг. с учетом строения скважин и гидрогеологических условий.

Методика исследований

Для выявления вариаций уровня воды, вызванных прохождением сейсмических волн от сильнейших землетрясений, использовались фрагменты данных 10 минутной регистрации длительностью не менее суток. Периодичность измерений 10 мин является недостаточной для выделения отдельных волновых форм в изменениях уровня воды. Поэтому сопоставление вариаций уровня воды и сейсмических событий производилось по временам вступления P, S и L

волн по данным регистрации на станции IRIS, сейсмостанция Петропавловск (53.024° с. ш., 158.653° в. д.). Интервал времени между временем в очаге и временами вступления Р, S и L волн составлял менее 10 мин для землетрясений 1-2, 5-7 (табл. 2). Поэтому для этих событий за начало воздействия сейсмических сотрясений на состояние системы скважина-резервуар принималось время вступления Р-волн. В качестве значимого изменения уровня воды, вызванного сейсмическими волнами, принималась амплитуда не менее ± 0.2 см, т. е. превышающая в два раза чувствительность регистрации уровня воды.

Технические особенности регистрирующей аппаратуры не всегда позволяют обеспечивать замер положения уровня воды при его резком изменении. В такие моменты в записи появляется сообщение «bad level», соответствующее пропуску данных. В таких случаях можно только предполагать, что в изменениях уровня воды проявлялся колебательный режим.

На рис. 2 приводятся вариации уровня воды в четырех скважинах в связи с Олюторским землетрясением. Воздействие сейсмических волн от этого землетрясения вызвало, в основном, остаточные смещения уровня воды: понижение уровня воды в скважинах 1306 [4], 1309 и его повышение в скважинах 1303 и Ю3-5. Скачкообразное повышение уровня воды в скважине 1311 без остаточного смещения могло быть связано со слабым проявлением колебательного режима при прохождении сейсмических волн.

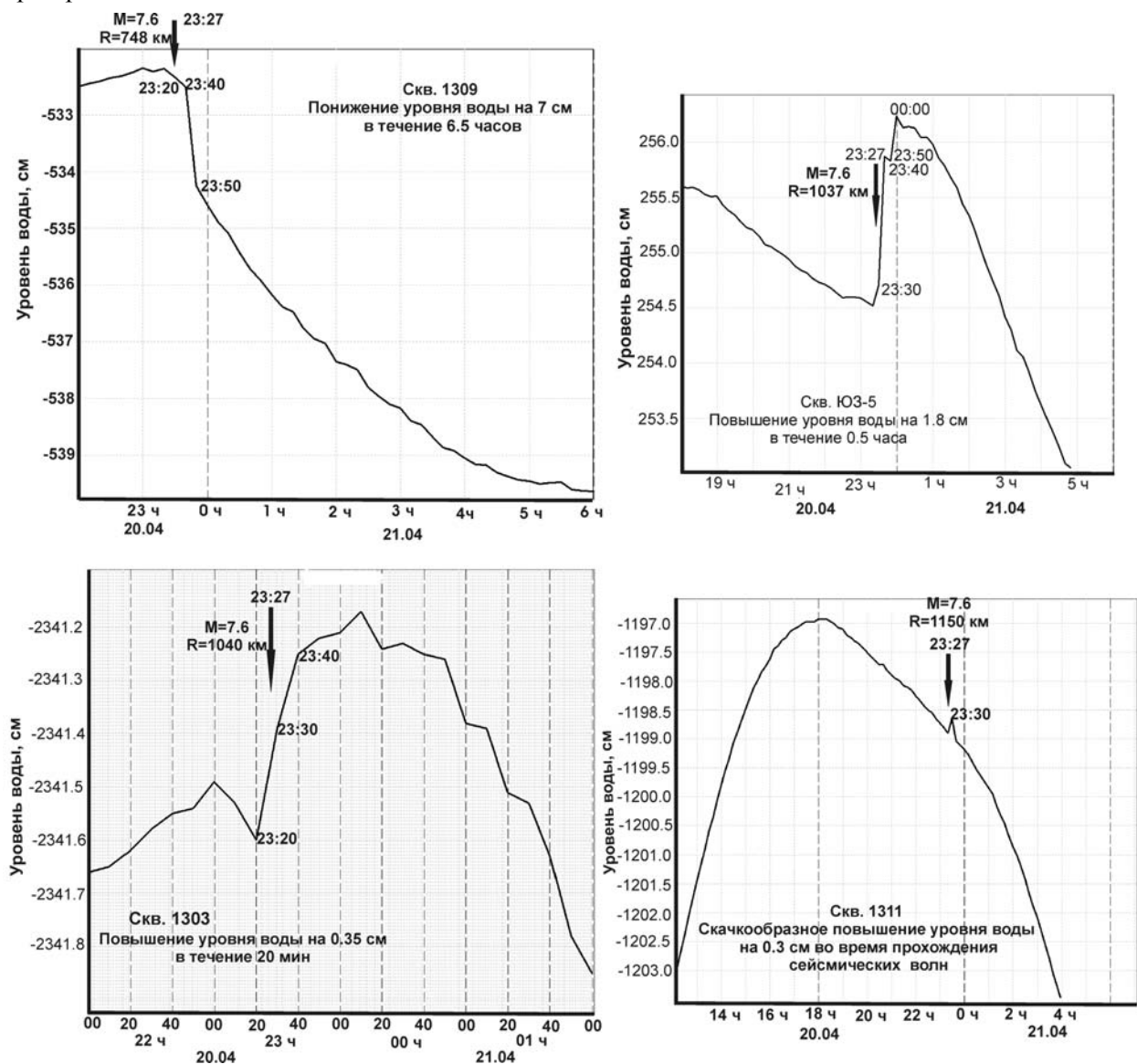


Рис. 2. Вариации уровня воды в скважинах 1309, Ю3-5, 1303 и 1311 в связи с Олюторским землетрясением (по данным 10-минутной регистрации).

В результате землетрясения Симуширское-1 наблюдались изменения уровня воды в скважинах 1303 (повышение на 1.6 см в течение 40 мин), Ю3-5 (колебания и остаточное повышение на 6.5 см в течение 7 ч), 1309 (колебания с амплитудой до 2.2. см в течение 1 ч). На

рис. 3 представлены вариации уровня воды в пяти скважинах в связи с землетрясением Симуширское-2. В скважинах 1303, 1309, ЮЗ-5, 1311 проявлялись колебания уровня воды. В скважинах 1306 и ЮЗ-5 зарегистрированы остаточные смещения уровня. Следует отметить, что в скважине 1303 характер изменений уровня воды при двух Симуширских землетрясениях отличался: при первом землетрясении наблюдалось повышение уровня воды, во втором – проявлялся колебательный режим.

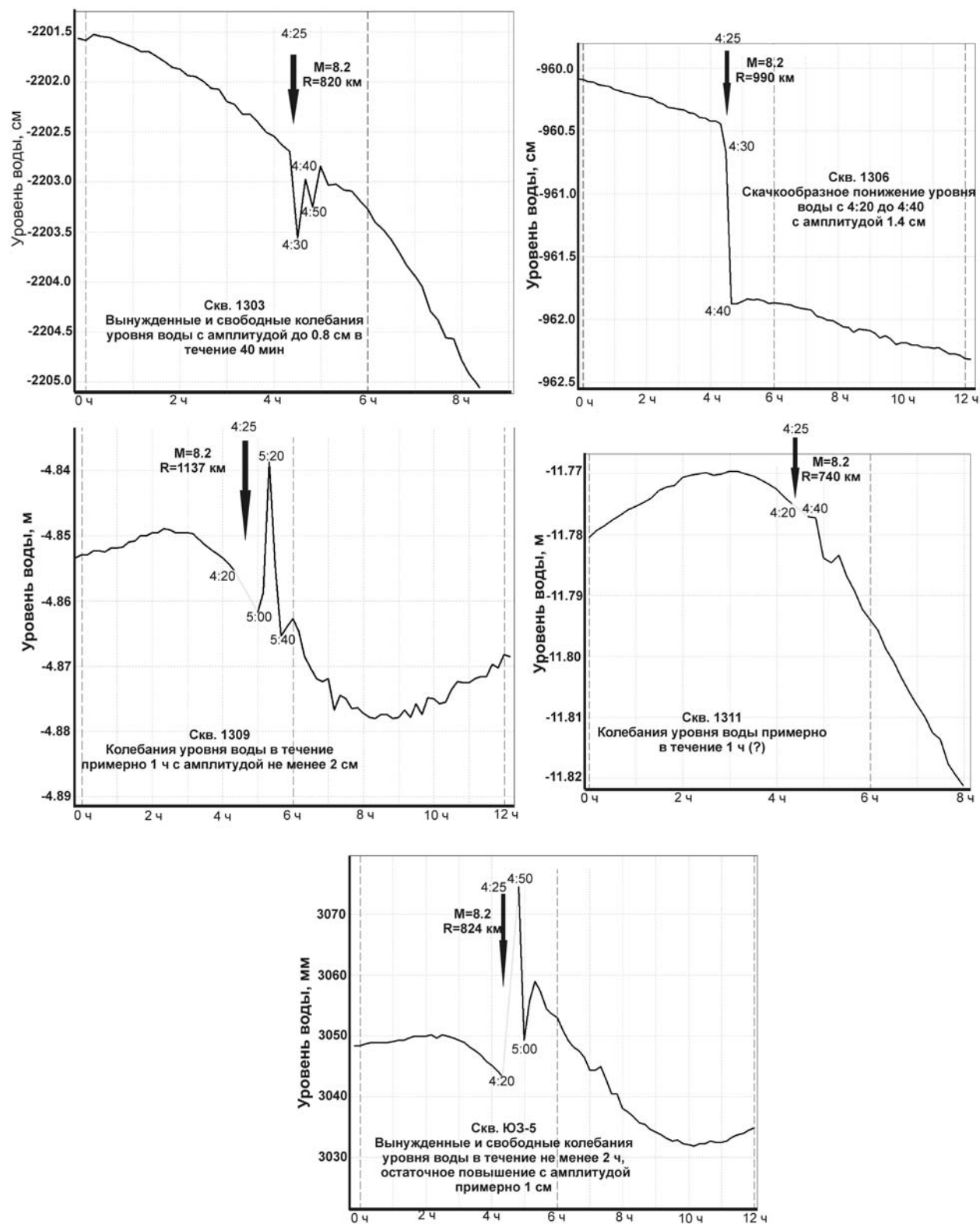


Рис. 3. Вариации уровня воды в скважинах 1303, 1306, 1309, 1311 и ЮЗ-5 в связи с землетрясением Симуширское-2 (по данным 10-минутной регистрации).

Во время прохождения сейсмических волн от землетрясения в районе Соломоновых о-вов наблюдались одиночные скачки повышения уровня воды в скважинах ЮЗ-5 (0.3 см) и 1309 (1 см) без остаточного смещения. При двух землетрясениях 12 сентября 2007 г. в районе о. Суматра зарегистрированы колебания уровня воды в скважинах 1309 и ЮЗ-5 и остаточное понижение в скважине 1303.

Обсуждение результатов и выводы

Вариации уровня воды, проявившиеся при прохождении сейсмических волн от сильнейших землетрясений, можно разделить на два типа (1) вынужденные и свободные колебания с остаточным смещением или без него; (2) понижение или повышение уровня после прохождения сейсмических волн с последующим восстановлением. Первый тип вариаций проявлялся в скважинах 1309, ЮЗ-5 и 1303 при землетрясениях с $M=7.9-9.0$ на расстояниях 820-8860 км. Колебания уровня воды возникают вследствие прохождения поверхностных волн при оптимальном соотношении водопроводящих свойств водовмещающих пород и конструкции скважины. В [5] такие колебания объясняются резонансным эффектом усиления вариации порового давления в системе скважина-резервуар при прохождении волн с периодами, соответствующими резонансной частоте скважины, которая обратно пропорциональна длине водной колонны. Резонансные частоты для камчатских скважин по [5] составляют $0.13-0.40 \text{ с}^{-1}$ и соответствуют периодам сейсмических волн 15.7-48 с. Технические недостатки системы регистрации не позволяют детально изучить амплитудно-частотный состав колебаний уровня воды и провести их сопоставление с записями сейсмических сигналов.

Смещение уровня воды после прохождения сейсмических волн (понижение или повышение) проявлялось в скважинах ЮЗ-5, 1306, 1303 и 1309 при землетрясениях с $M=7.6-8.3$ на расстояниях 310-990 км. Такие эффекты, по-видимому, связаны с вибрационным воздействием относительно высокочастотных сейсмических волн на состояние водовмещающих пород, изменением их коллекторских свойств (пустотности и проницаемости) и влиянием последних на процесс фильтрации и перераспределение порового давления в резервуаре. Важную роль в таких явлениях может играть временное образование фильтрационных неоднородностей при воздействии упругих волн на водонасыщенные горные породы. Локальное изменение фильтрационных свойств водовмещающих пород может происходить при разрушении твердых перемычек в пустотном пространстве при гидравлическом ударе; при взмучивании тонкого осадка в трещинах и увеличении их пустотности; при образовании микрогидроразрывов в водовмещающих породах. В экспериментах по воздействию мощных вибрационных источников на пьезометрические скважины показано, что остаточные смещения уровня воды развиваются только при генерации упругих волн в определенных частотных диапазонах (первые десятки Гц), характерных для той или иной системы скважина-резервуар [1]. Этим также можно объяснить неповсеместное и незакономерное проявление остаточных смещений уровня воды в скважинах.

Дальнейшее исследование гидрогеосейсмических вариаций предполагает совершенствование системы регистрации для обеспечения достоверной информации об амплитудно-частотном составе колебаний, косейсмических скачков и возможных краткосрочных предвестников землетрясений в изменениях уровня воды. Оптимальной является регистрация уровня воды и атмосферного давления не реже одного измерения в секунду или чаще. Альтернативным способом регистрации является ждущий режим, когда учащенные измерения осуществляются только при амплитудных колебаниях уровня воды.

Список литературы

1. Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Киссин И.Г., Николаев А.В. О некоторых эффектах вибрационного сейсмического воздействия на водонасыщенную среду. Сопоставление их с эффектами удаленных сильных землетрясений // Докл. АН СССР. 1987. Т. 297. № 1. С. 52-56.
2. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, вызванные землетрясениями // Вулканонология и сейсмология. 2006. № 6. С. 52-64.
3. Копылова Г.Н. Болдина С.В. Отклик уровня воды в скважине ЮЗ-5 на катастрофическое землетрясение 26 декабря 2004 г., $M=9$ // Материалы ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: Изд-во ИВиС ДВО РАН, 2005. С. 140-147.
4. Копылова Г.Н., Смолина Н.Н. Вариации уровня воды в скважинах Камчатки в период Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г., $M=7.6$ // Тез. докл. 9-ых геофизических чтений им. В.В. Федынского, Москва, 1-3 марта 2007 г. Москва, 2007. С. 61.
5. Cooper Н.Н., Bredehoeft J.D., Papadopoulos I.S. et al. The response of well-aquifer system to seismic waves // J. Geophys. Res. 1965. V. 70. P. 3915-3926.