

Гидрогеодинамические наблюдения на Камчатке: история и результаты

Г. Н. Копылова, С. В. Болдина, В. А. Касимова, Л. Н. Таранова, Е. Г. Чубарова

Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: gala@emsd.ru

В течение 1979-2018 гг. в Камчатском филиале Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) проводятся наблюдения в скважинах в целях поиска гидрогеодинамических предвестников землетрясений и других сигналов геодинамической активности. В докладе основное внимание уделяется результатам регистрации высокочастотных (10 Гц) вариаций уровня воды в скважине ЮЗ-5 в 2017-2018 гг.

Введение

Со второй половины XX в. в сейсмоактивных регионах Мира проводятся наблюдения в скважинах за уровнями и давлением подземных вод с целью изучения гидрогеодинамических предвестников землетрясений и других воздействий сильных землетрясений, извержений вулканов, подвижек по разломам и прочих «геодинамических событий» на состояние флюидонасыщенной геологической среды.

Основу такого вида геофизических наблюдений составляют теоретические представления о чувствительности флюидонасыщенной среды к изменениям ее напряженно-деформированного состояния и о возможности проявления откликов давления подземных флюидов при подготовке и реализации «геодинамических событий». Полагалось также, что практическое использование данных скважинных наблюдений для прогноза землетрясений сопряжено с выполнением комплекса научно-исследовательских и технических мероприятий:

- 1 – получение экспериментальных данных по откликам параметров подземных вод на сейсмические воздействия (гидрогеосейсмические вариации);
- 2 – установление статистических связей между проявлениями гидрогеосейсмических вариаций и параметрами землетрясений;
- 3 – разработка моделей формирования гидрогеосейсмических вариаций в системе «скважина – водовмещающая порода».

По результатам многолетних гидрогеодинамических наблюдений на Камчатке и в Море обнаружено широкое разнообразие в проявлениях гидрогеосейсмических вариаций в различных скважинах. Поэтому до настоящего времени вопросы 1 и 2, касающиеся разнообразия форм и закономерностей откликов подземных вод на сейсмические воздействия, составляют предмет научной дискуссии и многочисленных публикаций. Отчасти такое положение обусловлено недостаточной плотностью сети глубоких наблюдательных скважин (мелкие скважины, вскрывающие подземные воды со свободной поверхностью, непригодны для такого вида наблюдений) и редкой повторяемостью сильных землетрясений.

Наибольшая неопределенность имеется в отношении изученности и практического использования гидрогеодинамических предвестников землетрясений. В лучшей степени разработки находятся вопросы изучения реакции системы «скважина – водовмещающая порода» на воздействие сейсмических волн и на изменение статического напряженного состояния среды при образовании разрывов в очагах землетрясений. Но и в таких вопросах имеются сложности вследствие разнообразия локальных гидрогеологических условий, фильтрационных и упругих свойств водовмещающих пород и технического строения скважин, что приводит к необходимости индивидуального подхода в оценке информативности каждой наблюдательной скважины как компонента системы геофизического мониторинга.

Предложенный и реализованный авторами доклада Г.Н. Копыловой и С.В. Болдиной комплекс научно-исследовательских мероприятий, включающий

систематизацию, типизацию и моделирование откликов уровня воды в отдельных скважинах на различные виды сейсмических воздействий с использованием результатов приливного и барометрического анализа вариаций уровней воды, расчета упругих и фильтрационных параметров водовмещающих пород и физико-математических моделей поведения системы «скважина – водовмещающая порода», дает возможность оценивать эффективность отдельных наблюдательных скважин в системе геофизического мониторинга и прогнозирования сильных землетрясений Камчатки.

В докладе на примере работ КФ ФИЦ ЕГС РАН рассматривается современное состояние скважинных наблюдений и основные результаты в области изученности сигналов геодинамической активности в изменениях уровня и давления подземных вод.

Система гидрогеодинамических наблюдений КФ ФИЦ ЕГС РАН

На Камчатке наблюдения в скважинах для поиска гидрогеодинамических предвестников проводятся с конца 70-х гг. XX в. Основной вклад в их развитие внесли Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН), Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, ОАО «Камчатгеология», Институт физики Земли РАН, г. Москва, другие организации.

В КФ ФИЦ ЕГС РАН равномерные наблюдения проводятся с 1979 г. В 1979-1995 гг. для измерения уровня воды использовались поплавковые самописцы и гидрогеологические рулетки – «хлопушки». Принятая периодичность представления данных составляла одно измерение в сутки, что позволяло рассматривать общие закономерности режима наблюдательных скважин, но было недостаточным для выделения сигналов сейсмичности в изменениях уровня воды.

В 1996-1997 гг. на скважинах Е-1 и ЮЗ-5 были установлены системы цифровой регистрации уровня воды и атмосферного давления с периодичностью 10 минут разработки ОКБ ИФЗ РАН, г. Москва [1]. В 1997 г. в период сильнейшего Кроноцкого землетрясения (05.12.1997 г., $M_w = 7,8$) впервые были зарегистрированы последовательно проявившиеся вариации уровня воды, соответствующие гидрогеодинамическому предвестнику (синхронное понижение уровней воды в обеих скважинах в течение трех недель до землетрясения), косейсмическому скачку понижения уровня вследствие объемного расширения водовмещающих пород при образовании разрыва в очаге и постсейсмические эффекты воздействия сейсмических волн [3, 5 и др.].

С 2000-х гг. в КФ ФИЦ ЕГС РАН и в ОАО «Камчатгеология» для равномерных наблюдений используются цифровые комплексы Кедр А2 (регистрация с накоплением данных на съемную твердотельную память) и Кедр ДМ (передача данных по каналам сотовой связи один раз в час) с высокочувствительными ультразвуковыми уровнями (ООО «Полином», г. Хабаровск) [6]. Периодичность измерений уровня, температуры и электропроводности воды, а также атмосферного давления и температуры воздуха, составляла 5 минут.

С использованием этой аппаратуры были получены уникальные данные о вариациях уровня воды в скважине ЮЗ-5 при сильных ($M_w \geq 6,8$) местных и сильнейших ($M_w \geq 7,6$) землетрясениях 2003-2018 гг. на эпицентральных расстояниях от 80 до 14600 км, связанные, в основном, с воздействием сейсмических волн. На примере скв. ЮЗ-5 получены фундаментальные данные о закономерностях проявления сигналов воздействия сейсмических волн в изменениях уровня воды в зависимости от параметров землетрясений – магнитуды и расстояния, плотности сейсмической энергии в волне и параметров движений грунта; создана типизация гидрогеосейсмических вариаций при воздействии сейсмических волн и рассмотрены процессы их формирования [4].

В 2017 г. на скважине ЮЗ-5 в дополнение к комплексу Кедр ДМ была установлена аппаратура производства фирм Kerlller, Швейцария (датчик давления) и Cambell, США (регистратор), предоставленные Геологической службой Израиля. Цель совместных исследований – изучение высокочастотных вариаций давления (уровня) воды при воздействии сейсмических волн от местных и удаленных землетрясений и других сигналов геодинамической активности. Получены непрерывные записи давления подземных вод на глубине 5,6 м с частотой 10 Гц с 1 сентября 2017 г. по настоящее время, а также записи высокочастотных вариаций уровня воды при местных землетрясениях с $M_w=4-5$ и при двух сильнейших удаленных землетрясениях 9 сентября, $M_w=8,2$, Мексика и 23 января 2018 г., $M_w=7,9$, Аляска. На рис. 1 приводятся 5-минутные записи уровня воды во время двух сильнейших землетрясений, полученные Кедр ДМ, и записи давления на глубине 5,6 м с частотой 10 Гц (датчик РАА 36ХW) в сопоставлении с вертикальными смещениями поверхности земли на с/ст. РЕТ (датчик STS-1, 20 Гц).

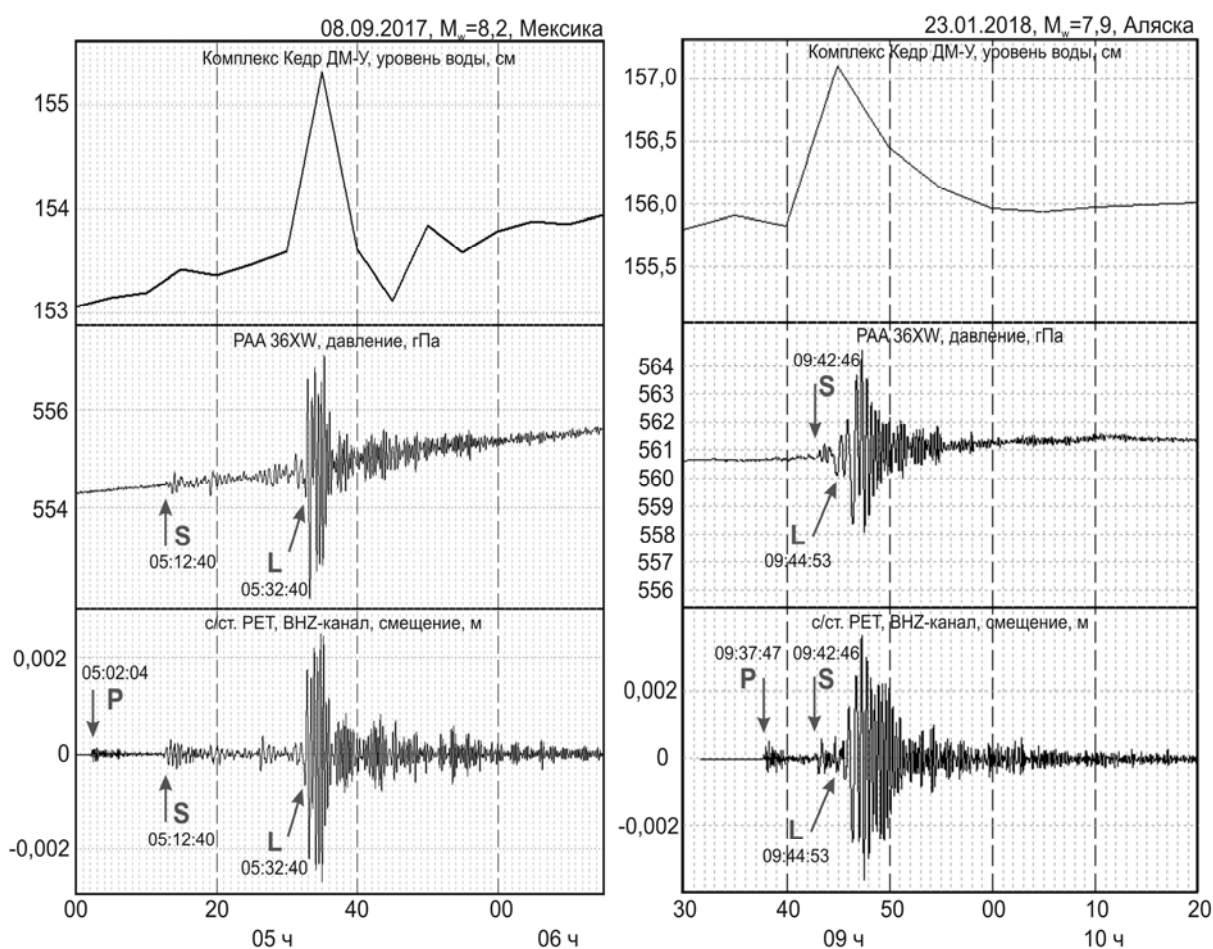


Рис. 1. Вариации уровня и давления подземных вод в скважине ЮЗ-5 при прохождении сейсмических волн от двух сильнейших землетрясений в сопоставлении с записью смещений на канале ВНЗ на сейсмостанции РЕТ.

Предварительные результаты обработки данных, полученных двумя комплектами аппаратуры, подтверждают их высокое качество в части выделения низкочастотного тренда и высокочастотных гидрогеосейсмических вариаций, а также идентичность результатов барометрического и приливного анализа данных наблюдений за вариациями уровня и давления подземных вод.

Гидрогеодинамические предвестники

В скважине ЮЗ-5 ретроспективно выделены два эпизода аномальных повышений уровня воды (по отношению к его среднесезонному поведению) за несколько месяцев перед Кроноцким землетрясением 5 декабря 1997 г., $M_w = 7,8$ [3] и перед Жупановским землетрясением 30 января 2016 г., $M_w = 7,2$ [2].

В скважине Е-1 проявляются два типа гидрогеодинамических предвестников ГП_I и ГП_II, которые используются в практике работы специализированных советов по прогнозу землетрясений в Камчатском крае. Описание ГП_I и ГП_II приводится в [7 и др.].

Заключение

Современный этап гидрогеодинамических исследований характеризуется внедрением высокотехнологичных комплексов специализированного оборудования и программных средств для надежной диагностики сигналов геодинамической активности в изменениях параметров подземных вод и их использования в решении широкого круга научных задач, касающихся оценки вариаций напряженно-деформированного состояния геологической среды, прогнозирования землетрясений и извержений вулканов.

Опыт работы КФ ФИЦ ЕГС РАН показывает, что научное обоснование метода скважинных наблюдений в системе геофизического мониторинга и сейсмического прогнозирования заведомо предполагает своевременное решение вопросов технического, информационного и методического обеспечения многолетних наблюдений.

Гранты и благодарности

Работа выполнена в рамках плановых тем НИР КФ ФИЦ ЕГС РАН рег. №№ АААА-А16-116070550057-7, АААА-А16-116070550059-1 при поддержке РФФИ, грант 18-05-00337 «Типизация и модели гидрогеосейсмических эффектов землетрясений по данным равномерных наблюдений в скважинах (на примере Камчатского региона)», руководитель Г.Н. Копылова.

Список литературы

1. *Багмет А.Л., Багмет М.И., Барабанов В.Л. и др.* Исследование земноприливных колебаний уровня подземных вод на скважине «Обнинск» // *Физика Земли*. 1989. № 11. С. 84-95.
2. *Болдина С.В., Копылова Г.Н.* Эффекты Жупановского землетрясения 30 января 2016 г., $M_w=7,2$, в изменениях уровня воды в скважинах ЮЗ-5 и Е-1, Камчатка // *Геодинамика и тектонофизика*. 2017. Т. 8. № 4. С. 863-880. DOI: 10.5800/GT-2017-8-4-0321.
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.* Влияние сейсмичности на подземные воды (по данным наблюдений на скважинах и источниках Камчатки) // *Триггерные эффекты в геосистемах: Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 6-9 июня 2017 г.* М.: ГЕОС, 2017. С. 137-144.
5. *Копылова Г.Н., Болдина С.В.* О механизме гидрогеодинамического предвестника Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., $M_w=7,8$ // *Тихоокеанская геология*. 2012. Т. 31. № 5. С. 104-114.
6. *Копылова Г.Н., Болдина С.В., Смирнов А.А., Чубарова Е.Г.* Опыт регистрации вариаций уровня и физико-химических параметров подземных вод в пьезометрических скважинах, вызванных сильными землетрясениями (на примере Камчатки) // *Сейсмические приборы*. 2016. № 4. С. 43-56. DOI: 10.21455/si2016.4-4.
7. *Фирстов П.П., Копылова Г.Н., Соломатин А.В., Серафимова Ю.К.* О прогнозировании сильного землетрясения в районе полуострова Камчатка // *Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле*. 2016. № 4. Вып. № 32. С.106-114.