

УДК 556.3:550.34

Развитие системы гидрогеодинамических наблюдений на Камчатке

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

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

Камчатский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) проводит длительные наблюдения в пьезометрических скважинах в целях поиска гидрогеодинамических предвестников землетрясений и других сигналов современной геодинамической активности в изменениях давления подземных вод. Наиболее длинные ряды данных получены по вариациям уровня воды с использованием цифрового оборудования. В докладе основное внимание уделяется описанию нового оборудования, установленного в 2017-2018 гг. в скважине ЮЗ-5, и результатам регистрации высокочастотных вариаций давления подземных вод.

Введение

Гидрогеосейсмология, как новое научное направление на стыке гидрогеологии и сейсмологии, развивается со второй половины XX в. Содержание гидрогеосейсмологии составляет изучение влияния сейсмичности на подземные воды, поиск гидрогеологических предвестников сильных землетрясений и разработка на их основе методов сейсмического прогнозирования. Реализация указанной цели предполагает решение комплекса технических, научно-методических и прикладных задач гидрогеосейсмологических исследований [3].

Одним из традиционных объектов гидрогеосейсмологии являются изменения давления подземных вод, вызванные процессами подготовки и реализации сильных землетрясений, извержений вулканов и других современных геодинамических процессов. В основе наблюдений за гидродинамическими параметрами подземных вод в скважинах лежат теоретические представления о чувствительности давления воды к изменениям напряженно-деформированного состояния водонасыщенных горных пород и о возможности проявления откликов давления в изменениях уровня воды в скважинах.

В докладе на примере работ КФ ФИЦ ЕГС РАН рассматривается современное состояние системы гидрогеодинамических наблюдений в скважинах и результаты работы в области изученности сигналов сейсмичности в изменениях давления подземных вод по данным уровнемерных наблюдений.

Система гидрогеодинамических наблюдений КФ ФИЦ ЕГС РАН

На Камчатке наблюдения на скважинах для поиска гидрогеодинамических предвестников землетрясений проводятся с конца 70-х гг. XX в. Основной вклад в их развитие внесли КФ ФИЦ ЕГС РАН, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, ОАО «Камчатгеология», Институт физики Земли РАН, г. Москва, другие организации.

В таблице отражены основные мероприятия по техническому развитию системы гидрогеодинамических наблюдений и методики обработки данных по измерениям уровня воды в скважинах Камчатки.

Гидрогеосейсмические вариации уровня воды (ГГСВ)

В 1997 г. в период сильнейшего Кроноцкого землетрясения (05.12.1997 г., $M_w = 7,8$) на скв. Е-1 и ЮЗ-5 системой цифровой регистрации уровня воды и атмосферного давления с периодичностью 10 минут разработки ОКБ ИФЗ РАН, г. Москва 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 землетрясения и

постсейсмическим эффектам воздействия сейсмических волн [2 и др.]. Ниже такие эффекты сейсмичности в изменениях уровня воды называются *гидрогеосейсмическими* вариациями – ГГСВ.

Таблица. Развитие системы гидрогеодинамических наблюдений в скважинах Камчатки и методики обработки уровневых данных, 1978-2019 гг.

Дата	Содержание работ	Организация
1978-1995 гг.	Организация и проведение уровневых наблюдений с использованием поплавковых самописцев, периодичность представления данных 1 раз в сутки.	ИВ, КОМСП
1996-1997 гг.	Организация цифровой регистрации уровня воды на скв. Е-1 и ЮЗ-5 (периодичность 10 мин) с использованием регистратора ГИП-3 и датчиков уровня ДУ и атмосферного давления ДА.	КЦМСиВА ИФЗ
2000-2002 гг.	Модернизация системы уровневых наблюдений на скв. Е-1 и ЮЗ-5: установка регистраторов Кедр А2 и ультразвуковых датчиков уровня воды (ООО Полином, г. Хабаровск); периодичность измерений 10 мин, съемные накопители;	КЦМСиВА ИФЗ КОМСП
2004 г.	- организация цифровых уровневых наблюдений на сети скважин ОАО «Камчатгеология» с использованием комплекса Кедр А2;	КГ КОМСП
	- разработка и внедрение программных средств ИС POLYGON для сбора, хранения и обработки данных уровневых наблюдений.	КОМСП
2007 г.	Создание методики обработки данных уровневых наблюдений для выделения гидрогеосейсмических вариаций уровня воды (ГГСВ).	КГ
2010 г.	Организация цифровых уровневых наблюдений на скважинах ОАО «Камчатгеология» с периодичностью 10 мин (Кедр А2).	КФ ГС РАН КГ
2015 г.	Модернизация системы уровневых наблюдений: установка комплексов Кедр-ДМ (ООО «Полином», г. Хабаровск) с телеметрической передачей данных; периодичность регистрации 5 мин.	КФ ФИЦ ЕГС РАН
2017 г.	Реализация комплекса научно-исследовательских мероприятий по систематизации, типизации и моделированию ГГСВ в отдельных скважинах.	КФ ФИЦ ЕГС РАН с участием GSI
2018 г.	Модернизация системы наблюдений: Организация высокочастотных (10-40 Гц) измерений давления с использованием аппаратуры производства фирм Keller, Швейцария (датчик давления) и Cambell, США (регистратор) в скв. ЮЗ-5. Замена комплекса Кедр ДМ аппаратурой производства фирмы Keller, Швейцария (регистратор GSM-2, датчик давления, температуры и электропроводности воды) с телеметрической передачей данных; периодичность регистрации 1 мин.	КФ ФИЦ ЕГС РАН
2019 г.	Отработка методики наблюдений, создание архивов и базы данных. Развитие методов обработки временных рядов уровневых наблюдений с целью диагностики кратковременных возмущений давления подземных вод. Завершение технической модернизации системы наблюдений на скв. ЮЗ-5 и Е-1	КФ ФИЦ ЕГС РАН, ИФЗ

Примечание: ИВ – Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР; КОМСП – Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия (с 2004 г. – Камчатский филиал Геофизической службы РАН – КФ ГС РАН, в настоящее время – КФ ФИЦ ЕГС РАН); КЦМСиВА – Камчатский центр мониторинга сейсмической и вулканической активности при Администрации Камчатской области; ИФЗ – Институт физики Земли, г. Москва; КГ – ОАО «Камчатгеология»; GSI – Геологическая служба Государства Израиль.

С использованием цифровых комплексов Кедр А2 (регистрация с накоплением данных на съемную твердотельную память) и Кедр ДМ (периодичность измерений 5 мин и передача данных по каналам сотовой связи один раз в час), оборудованных высокочувствительными ультразвуковыми датчиками уровня воды (ООО «Полином»,

г. Хабаровск) [4] были получены уникальные данные о ГГСВ в скважинах ЮЗ-5 и Е-1 при сильных ($M_w \geq 6,6$) местных и сильнейших ($M_w \geq 7,6$) землетрясениях 2003-2018 гг., произошедших на эпицентральных расстояниях от 80 до 14600 км. Большая часть ГГСВ была связана с воздействием сейсмических волн.

На примере скв. ЮЗ-5 получены фундаментальные данные о закономерностях проявления ГГСВ при воздействии сейсмических волн в зависимости от параметров землетрясений – магнитуды и расстояния, плотности сейсмической энергии в волне и амплитудно-частотных характеристик максимальных фаз движения грунта. Была создана типизация ГГСВ при воздействии сейсмических волн и рассмотрены процессы их формирования [3].

В 2017 г. на скважине ЮЗ-5, в дополнение к комплексу Кедр ДМ, была установлена аппаратура производства фирм Keller, Швейцария (датчик давления РАА 36ХW+CR6) и Cambell, США (регистратор), предоставленные Геологической службой Израиля. Целью совместных исследований было изучение высокочастотных вариаций давления (уровня) воды при воздействии сейсмических волн от местных и удаленных землетрясений и других сигналов геодинамической активности. В течение времени с сентября 2017 г. по настоящее время получены непрерывные записи давления подземных вод на глубине 5,6 м с частотой 10 и 40 Гц. В таких записях оперативно выделялись ГГСВ при местных землетрясениях с $M_w = 4-5$ и при трех сильнейших удаленных землетрясениях 9 сентября, $M_w = 8,2$, Мексика, 23 января 2018 г., $M_w = 7,9$, Аляска и 30 ноября 2018 г., $M_w = 7,0$, Аляска.

В октябре 2018 г. на скв. ЮЗ-5, взамен физически и морально устаревшего комплекса Кедр ДМ, был установлен комплект аппаратуры производства фирмы Keller, Швейцария, для регистрации давления подземных вод на глубине 9 м ниже уровня воды (датчик давления 36ХiW CTD и регистратор GSM2). Получены непрерывные записи давления подземных вод с периодичностью 1 мин с октября 2018 г. по настоящее время, в которых проявлялись ГГСВ при местных землетрясениях с $M_w = 4-5$ и при землетрясении 30 ноября 2018 г., $M_w = 7,0$ в районе Аляски.

На рисинке приводится 5-минутная запись уровня воды во время землетрясения 23 января 2018 г., $M_w = 7,9$, Аляска, полученная Кедр ДМ, а также 1-минутная запись давления на глубине 9 м (датчик 36ХiW CTD) во время землетрясения 30 ноября 2018 г., $M_w = 7,0$, Аляска, в сопоставлении с высокочастотной (10 Гц) записью давления на глубине 5,6 м (датчик РАА 36ХW) и зарегистрированными на ближайшей сейсмостанции (с/ст. РЕТ, датчик STS-1, 20 Гц) вертикальными смещениями поверхности земли.

Предварительные результаты обработки данных по эффектам сейсмических волн в изменениях гидрогеодинамических параметров на скв. ЮЗ-5, полученных тремя комплектами аппаратуры, показывают их идентичность в части выделения низкочастотного тренда, барометрического и приливного откликов и высокочастотных ГГСЭ в изменениях уровня и давления подземных вод.

Гидрогеодинамические предвестники

В изменениях уровня воды в скв. Е-1 выделены два типа гидрогеодинамических предвестников ГП_I и ГП_II, которые проявляются с различной заблаговременностью на стадиях подготовки местных землетрясений с величинами магнитуд порядка 7 и более. В работах [3 и др.] приводится их описание. ГП_I и ГП_II, при их оперативном выделении, используются для составления заключений прогнозного характера, которые предоставляются в специализированные экспертные советы по прогнозу землетрясений в Камчатском крае.

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., $M_w = 7,8$ [2] и

перед Жупановским землетрясением 30 января 2016 г., $M_w = 7,2$ [1]. Такие изменения рассматриваются как предполагаемые гидрогеодинамические предвестники наиболее сильных местных землетрясений.

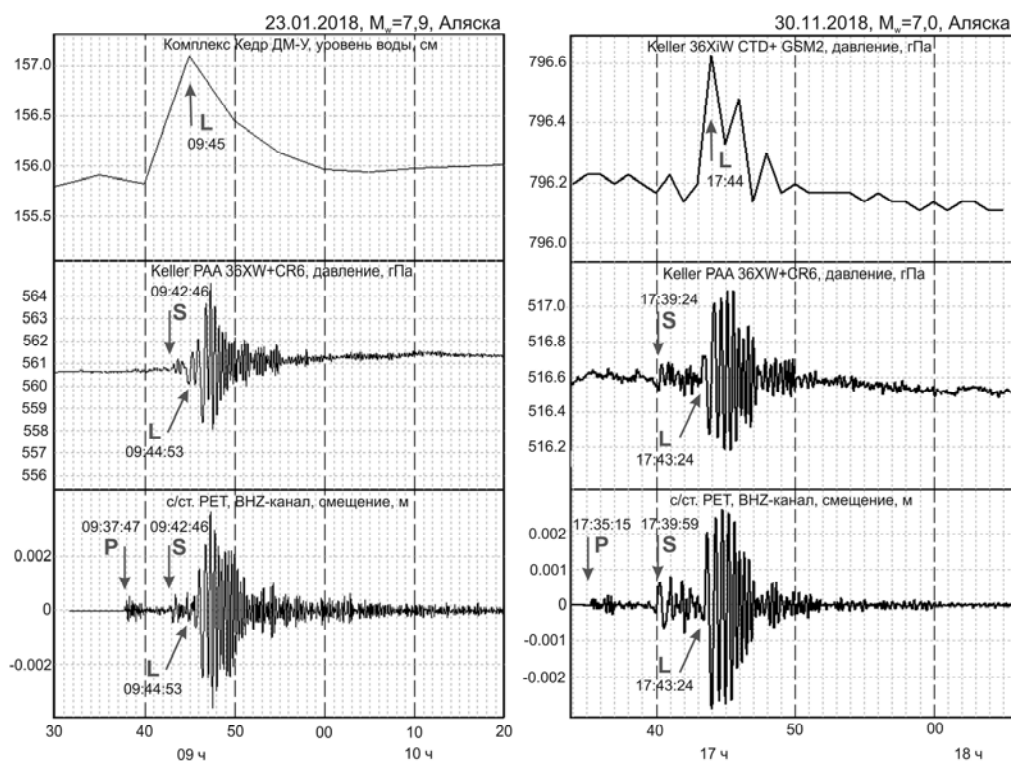


Рисунок. Вариации уровня и давления подземных вод в скважине ЮЗ-5 при прохождении сейсмических волн от двух сильнейших землетрясений в сопоставлении с записью смещений на канале ВНЗ на сейсмостанции РЕТ.

Заключение

Перспективы развития гидрогеодинамических исследований связаны с дальнейшим накоплением достоверных данных о разнообразных откликах давления подземных вод на сейсмические воздействия, в первую очередь, о гидрогеодинамических предвестниках. Важными направлениям работ также являются исследования процессов формирования гидрогеодинамических эффектов сейсмичности в природно-технических системах «скважина – водовмещающая порода» с использованием моделирования, а также техническое развитие системы специализированных гидрогеодинамических наблюдений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 18-05-00337 «Типизация и модели гидрогеосейсмических эффектов землетрясений по данным равномерных наблюдений в скважинах (на примере Камчатского региона)».

Список литературы

1. 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.
2. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, вызванные землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6. С. 52-64.
3. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Гидрогеосейсмологические исследования на Камчатке: 1977 – 2017 гг. // Вулканология и сейсмология. 2019. № 2. (в печати).
4. 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.