

**Модернизация оборудования на скважинах Петропавловск-Камчатского полигона и некоторые результаты высокочастотной регистрации давления подземных вод**  
**С.В. Болдина, Г.Н. Копылова**

*Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», Петропавловск-Камчатский, 683006;  
e-mail: [boldina@emsd.ru](mailto:boldina@emsd.ru)*

В лаборатории геофизических исследований КФ ФИЦ ЕГС РАН проводятся наблюдения в скважинах для изучения сигналов современной геодинамической активности в изменениях давления воды, в т.ч. гидрогеодинамических предвестников и других эффектов землетрясений. В докладе представлены данные по модернизации скважинного оборудования в 2017-2020 гг. и примеры регистрации высокочастотных эффектов сейсмических волн в изменениях давления подземной воды.

**Введение**

Наблюдения за вариациями уровня/давления воды в скважинах традиционно используются в системах геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов и поиска предвестников землетрясений. При проведении таких работ необходимо оценивать свойства наблюдательных скважин в качестве «датчиков» изменения напряженно-деформированного состояния геосреды при сеймотектонических и вулcano-магматических процессах, барометрических, приливных и других природных и техногенных воздействиях. Высокочастотная регистрация эффектов сейсмических волн в изменениях уровня/давления воды дает новые экспериментальные данные при изучении вибрационного воздействия на флюидонасыщенную геосреду сейсмоактивного региона и гидрогеодинамических процессов в системе «скважина – водовмещающая порода».

В работе рассматривается современное состояние системы наблюдений в трех скважинах Петропавловск-Камчатского полигона (таблица) и результаты высокочастотной (до 20 Гц) регистрации эффектов сейсмических волн в изменениях давления воды.

**Модернизация системы наблюдений**

Цифровые наблюдения проводятся КФ ФИЦ ЕГС РАН на трех скважинах с 1996 г. В [2, 3, 5] представлены данные о строении скважин, свойствах водовмещающих пород, закономерностях гидрогеодинамического режима и зарегистрированных гидрогеодинамических предвестниках, косейсмических эффектах и гидрогеосейсмических вариациях (ГГСВ) в изменениях уровня воды при местных и телесейсмических землетрясениях. В состав установленного оборудования входят два вида однотипных погружных высокочувствительных датчиков PAA36 XiW CTD Si (давление, температура и электропроводность воды) и PAA36 XW (давление и температура воды).

На скв. Ю3-5 в качестве регистраторов использовались в различное время CR6 (был временно предоставлен Геологической службой Израиля), CR1000 и GSM-2. На этой скважине отрабатывался вариант технического и программного совмещения швейцарских датчиков с регистраторами фирмы Campbell. В сентябре 2017 – мае 2019 гг. проводилась регистрация давления воды на глубине 5.6 м с частотой 10 и 40 Гц; были получены высокочастотные записи ГГСВ при телесейсмических событиях с  $M_w=7.0-8.1$  в районах Аляски и Мексики [1]. В 2018 г. работал комплект аппаратуры производства фирмы Keller, Швейцария. Датчик PAA36XiW был установлен на глубине 8 м ниже уровня воды. С использованием этого оборудования получены непрерывные записи давления с периодичностью 1 мин и были зарегистрированы

ГГСВ при местных землетрясениях с  $M > 4$  и при телесеismicких событиях 30 ноября и 20 декабря 2018 г. [1].

Таблица. Наблюдательные скважины, полуостров Камчатка

Скважина	Координаты, с.ш./в.д.	Глубина, м открытый интервал, м	Возраст, состав пород	Дебит Q, дм <sup>3</sup> /с; уровень воды, h, м	Температура воды, °С; минерализация воды, г/дм <sup>3</sup>	Состав воды; состав газа	Оборудование (частота регистрации)
М-1	53.18°/158.28°	600 310-313 407-410 553-556	N, туфы	самоизлив, Q=1.5	16; 0.25	SO <sub>4</sub> -Ca-Na; растворенный газ, N <sub>2</sub>	<b>С июля 2020 г. датчик Keller PAA36 XiW CTD Si, Швейцария и миникомпьютер в качестве регистратора (частота 1 Гц)</b>
Е-1	53.26°/158.48°	665 625-645	N, туфы	пьезометрическая, h=28	10; 1.5	Cl-HCO <sub>3</sub> -Na; свободный газ, N <sub>2</sub> -CH <sub>4</sub>	С 2000 г. по н.вр. Кедр ДМ, ООО Полином, г. Хабаровск (5 мин). <b>С июля 2020 г. датчик Keller PAA36 XiW CTD и регистратор GSM-2, Швейцария (2 мин).</b>
ЮЗ-5	53.17°/158.41°	800 310-800	K <sub>2</sub> , алевролиты	пьезометрическая, h=1.5	14; 0.45	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Na-Ca; растворенный газ, N <sub>2</sub>	С 2000 по 2018 гг. Кедр ДМ, ООО Полином, г. Хабаровск (5 мин). <b>С окт. 2017 г. по май 2019 г. датчик Keller PAA36 XW, Швейцария и регистратор CR6, Campbell, США (10 и 40 Гц).</b> С мая по окт. 2019 г. датчик Keller PAA36 XiW CTD Si и регистратор GSM-2 (1 мин). <b>С января 2020 г. по н.вр. датчик Keller PAA36 XiW и регистратор CR1000, Campbell, США (20, 1 и 0.016 Гц).</b>

*Примечание:* жирным шрифтом выделены элементы оборудования, установленные на скважинах в 2017-2020 гг.

С 2020 г. в скв. ЮЗ-5 проводится регистрация давления воды на глубине 8 м с частотой 0.01, 1 и 20 Гц с использованием датчика PAA 36XiW и регистратора CR1000.

На скв. Е-1 в июле 2020 г., дополнительно к отечественному оборудованию для измерений уровня воды Кедр ДМ, было установлено оборудование фирмы Keller (датчик PAA36XiW CTD Si и регистратор GSM-2) для измерения давления на глубине 6 м ниже уровня воды.

В самоизливающейся скв. М-1 [5] с 2013 г. проводятся измерения температуры, электропроводимости воды и атмосферного давления с периодичностью 5 мин. с

использованием оборудования Кедр ДМ. Дополнительно к нему, в июле 2020 г. установлен комплект аппаратуры в составе датчика PAA 36XiW CTD Si и миникомпьютера (Lenovo IdeaCentre Stick 300, Windows 8) в качестве регистратора. На миникомпьютере было установлено программное обеспечение к датчику PAA 36XiW CTD Si для измерения давления, температуры и электропроводности воды на глубине 5 м с периодичностью 1 Гц.

### Результаты наблюдений

Результаты обработки данных по измерениям давления в скв. ЮЗ-5, полученные тремя комплектами аппаратуры, подтверждают их высокое качество в части выделения высокочастотных ГГСВ (рис. 1) и низкочастотного тренда, а также идентичность параметров барометрического и приливного отклика уровня и давления подземных вод. Соответствие данных и параметров откликов давления на зондирующие природные воздействия, полученные различными комплектами оборудования, позволяет рассматривать многолетний ряд наблюдений на этой скважине в качестве непрерывного и однородного в диапазоне частот  $<0.002$  Гц.

В 2020-2021 гг. в скв. ЮЗ-5 были записаны ГГСВ при землетрясениях:

– Северо-Курильское 25.03.2020 г.,  $M_w=7.5$ , эпицентральное расстояние  $d_e=450$  км; при этом землетрясении проявился косейсмический скачок давления  $\sim 1$  гПа, что соответствует деформации сжатия водовмещающих пород  $-4 \cdot 10^{-9}$  (теоретическая оценка деформации в районе скважины  $-2.3 \cdot 10^{-9}$ );

– 22.07.2020 г.,  $M_w=7.8$ ,  $d_e=2800$  км (Аляска) и 13.02.2021 г.,  $M_w=7.1$ ,  $d_e=2100$  км (Япония) (рис. 2); в обоих случаях проявились колебания давления воды, соответствующие типу I ГГСВ по [4]. При этих землетрясениях впервые зарегистрированы ГГСВ в изменениях давления воды в самоизливающейся скв. М-1.

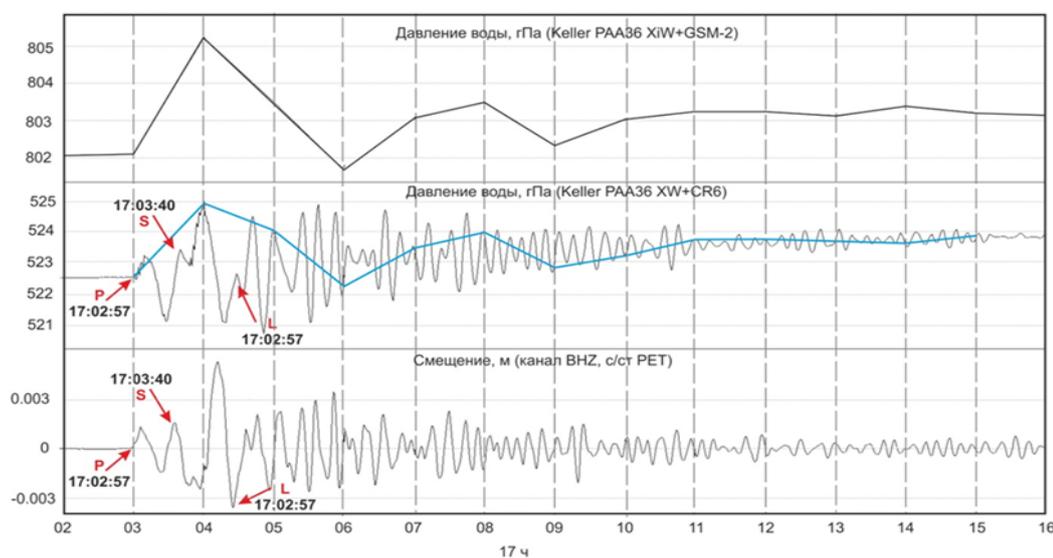


Рис. 1. Вариации давления воды при землетрясении Углового поднятия 20.12.2018 г.,  $M_w=7.3$ ,  $d_e=460$  км, зарегистрированные двумя комплектами оборудования PAA36XiW+GSM-2 на глубине 8 м и PAA36XW+CR6 на глубине 5.6 м в сопоставлении с записью смещений на канале BHZ с/ст. PET (нижний график). По 1-минутным измерениям (верхний график) наблюдался скачок повышения давления воды в течение 1-минутного интервала времени, включающего вступление P- и S-волн на с/ст. PET. Аналогичный скачок давления прослеживается по 1-минутным данным, полученным из записи вариаций давления с частотой 10 Гц (синяя линия на среднем графике).

### Заключение

Выполненная в 2017-2020 гг. модернизация системы скважинных наблюдений на Петропавловск-Камчатском полигоне с использованием оборудования от ведущих

мировых производителей выводит этот метод геофизического мониторинга флюидонасыщенной геосреды на передовые позиции в мире.

Особенностью проводимого эксперимента является использование различных комплектов оборудования, в т.ч. экономичного варианта регистрации параметров подземных вод, накопления и передачи данных с помощью миникомпьютера.

Получены высокочастотные данные по гидрогеосейсмическим вариациям давления подземной воды при землетрясениях в широком диапазоне магнитуд и эпицентральных расстояний.

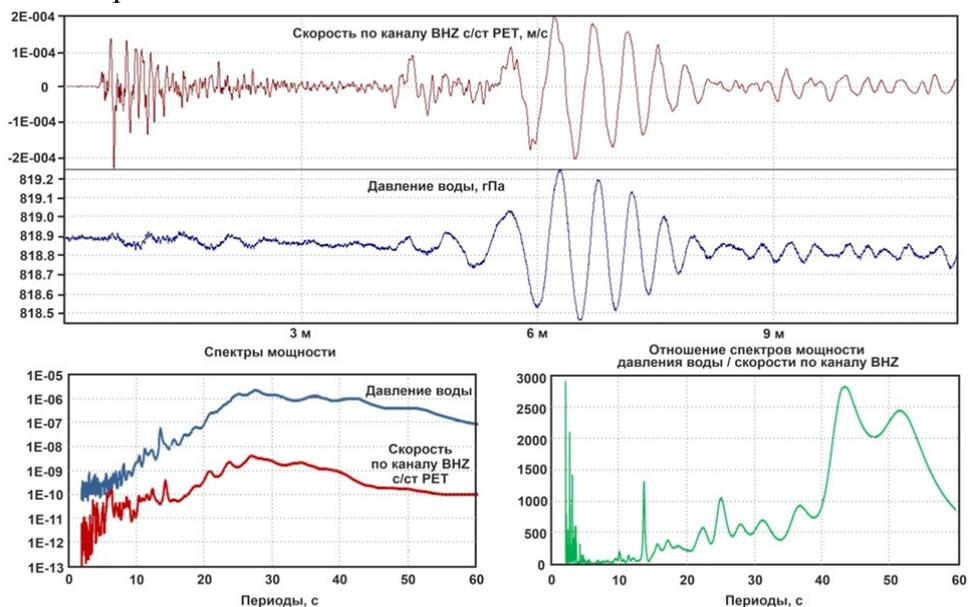


Рис. 2. Вариации давления воды в скв. ЮЗ-5 при землетрясении 13 февраля 2021 г.,  $M_w=7.1$  (Япония) в сопоставлении с записью на канале ВНЗ на с/ст. РЕТ (датчик STS-1, 20 Гц); спектры мощности вариаций давления воды и сейсмического сигнала и их отношение. На графике отношения спектров видно, что усиление вариаций давления в скважине происходит на периодах 40-50 с, что согласуется с оценкой резонансной частоты скв. ЮЗ-5 в 44 с.

### Благодарности

Модернизация скважинного оборудования выполнена с использованием средств по гранту РФФИ № 18-05-00337 и при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00576-21).

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории геофизических исследований КФ ФИЦ ЕГС РАН ведущим инженерам В.А. Кобзеву, В.П. Долгих и программисту Г.М. Коркиной.

### Список литературы

1. Болдина С.В., Копылова Г.Н., Чубарова Е.Г. Гидрогеодинамические эффекты сильных землетрясений 2017-2018 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Седьмой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября – 7 октября 2019 г. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. С. 27-31.
2. 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. Т. 52. С. 43-56.
3. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Гидрогеосейсмические вариации уровня воды в скважинах Камчатки. Монография. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2019. 144 с.
4. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Эффекты сейсмических волн в изменениях уровня воды в скважине: экспериментальные данные и модели // Физика Земли. 2020. № 4. С. 102-122.
5. Kopylova G., Boldina S. Hydrogeological earthquake precursors: a case study from the Kamchatka peninsula // Front. Earth Sci. 2020. 8:576017. <http://doi.org/10.3389/feart.2020.576017>.