

УДК 556.3+550.34

DOI: 10.35540/903258-451.2021.8.75

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ СКВАЖИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ КФ ФИЦ ЕГС РАН В 2017–2020 гг.

*Кобзев В.А., Болдина С.В., Коркина Г.М., Долгих В.П.*

*Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба  
Российской академии наук», г. Петропавловск-Камчатский, kobzev@emsd.ru*

### **Введение**

На территории Петропавловск-Камчатского полигона Лабораторией геофизических исследований КФ ФИЦ ЕГС РАН проводятся прецизионные автоматизированные наблюдения за давлением подземных вод, а также температурой и электропроводностью воды в четырех скважинах – ЮЗ-5, Е-1, М-1 и 1303, вскрывающих скальные водовмещающие породы на глубинах 310 – 717 м. В [2, 3, 4] представлены данные о строении скважин, свойствах водовмещающих пород, закономерностях гидрогеодинамического режима и зарегистрированных гидрогеодинамических предвестниках, косейсмических эффектах и гидрогеосейсмических вариациях (ГГСВ) в изменениях уровня/давления воды при местных и телесеизмических землетрясениях.

Целью таких наблюдений является изучение закономерностей проявления откликов физико-химических параметров подземных вод при воздействии землетрясений, в т.ч. на стадиях их подготовки, образования разрывов и вибрационных эффектов при распространении сейсмических волн, а также разработка методов прогноза сильных землетрясений на основе гидрогеологических предвестников.

С 1996 г. для регистрации параметров подземной воды используется цифровое оборудование [3]. В последние три года проводится экспериментальное применение различных комплектов оборудования: высокочувствительных швейцарских датчиков совместно с регистраторами фирм Keller и Cambell с накоплением данных на твердотельную память и передачу по каналам сотовой связи, а также экономичного варианта регистрации параметров подземных вод, накопления и передачи данных с помощью миникомпьютера [1].

В работе рассматриваются различные комплекты оборудования, установленные на скважинах Петропавловск-Камчатского полигона, их характеристики и полученные с их помощью высокочастотные записи гидрогеосейсмических вариаций давления подземной воды при землетрясениях.

### **Модернизация системы наблюдений**

В состав оборудования, установленного в 2017–2021 гг. на скважинах ЮЗ-5, Е-1, М-1 и 1303, были включены однотипные погружные высокочувствительные датчики PAA36 XiW CTD Si (давление, температура и электропроводность воды) и PAA36 XW (давление и температура воды) фирмы Keller, Швейцария (рис. 1).

На скв. ЮЗ-5 (рис. 1А) в качестве регистраторов использовались в различное время CR6, CR1000 (фирма Campbell, США) и GSM-2 (фирма Keller, Швейцария). На этой скважине отработывался вариант технического и программного совмещения швейцарских датчиков с американскими регистраторами. В сентябре 2017 – мае 2019 гг. проводилась регистрация давления воды на глубине 5.6 м с частотой 10 и 40 Гц. В 2018 г. работал комплект аппаратуры производства фирмы Keller. Датчик PAA36XiW был установлен на глубине 8 м ниже уровня воды. С 2020 г. в скважине 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 (рис. 1Б) 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 (рис. 1В) также дополнительно к оборудованию Кедр ДМ 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.

В пьезометрической скв. 1303 (рис. 1Г) с мая 2021 г. проводятся измерения давления и температуры воды (датчик РАА 36ХiW) на глубине 5 м с частотой 1 Гц. В качестве регистратора используется миникомпьютер Ultra-Slim Computer STCK1A8LFC, Windows 8, с установленным программным обеспечением к датчику.

Энергообеспечение комплектов оборудования осуществляется от смонтированных систем электропитания на основе солнечных батарей.

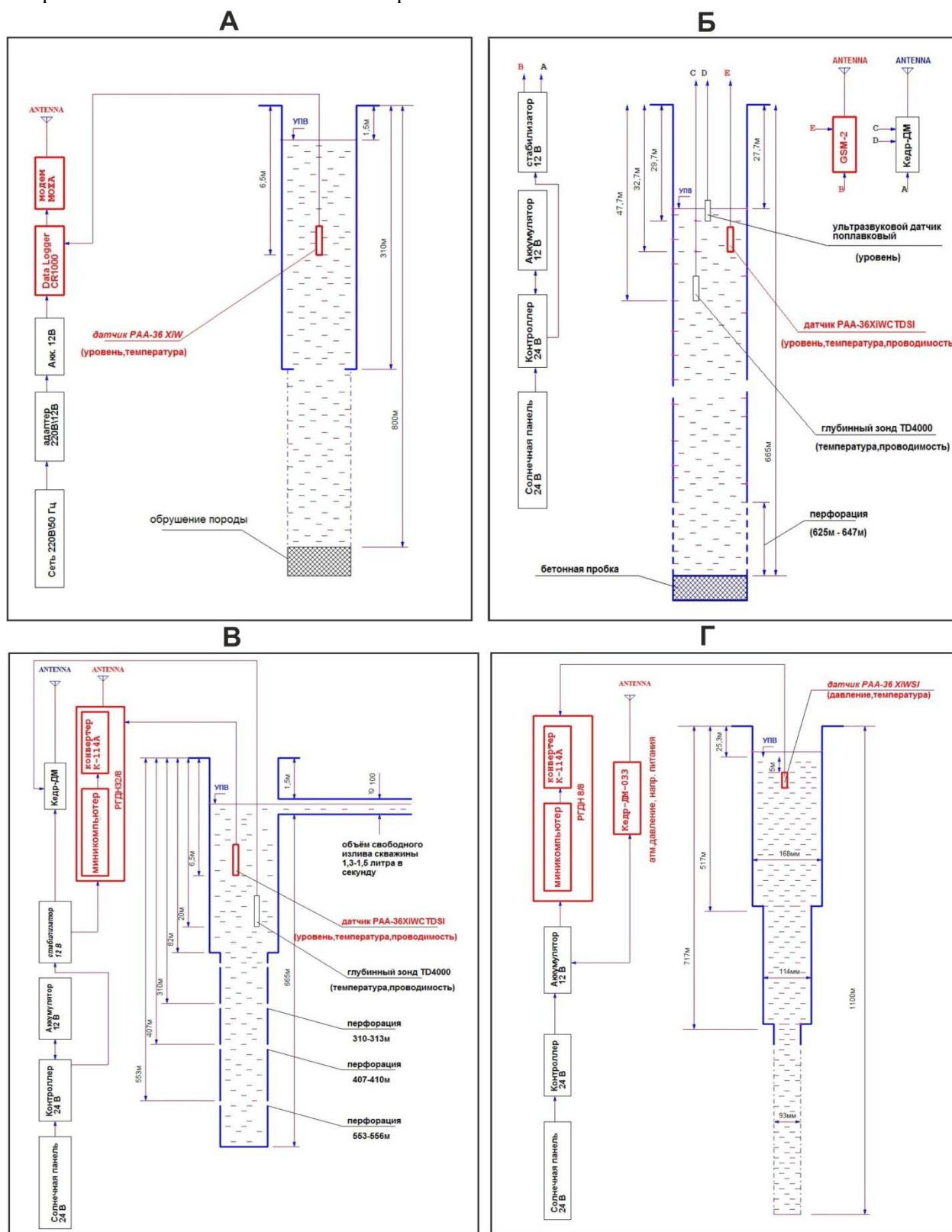


Рис. 1. Блок-схема оборудования скважин: А – ЮЗ-5; Б – Е-1; В – М-1; Г – 1303. Красным цветом показаны элементы, установленные в 2017 – 2020 гг. и обеспечивающие регистрацию давления, температуры и электропроводности подземной воды с частотой 0.01 – 20 Гц и передачу данных по каналам сотовой связи.

### Характеристики комплектов оборудования

Во всех скважинах используются датчики производства Keller (Швейцария) (рис. 1): PAA-36 XiW CTD Si (датчик давления, температуры и электропроводимости воды) и PAA-36 XiW (датчик давления и температуры воды).



Рис. 2. Датчик давления, температуры и электропроводимости воды PAA36 XiW CTD Si производства фирмы Keller (Швейцария)

#### Характеристики датчиков:

- разрешающая способность датчика давления воды – 0.002 гПа при погрешности измерения 0.05%,
- разрешающая способность датчика температуры – 0.001 град. С при погрешности измерения 0.1%,
- разрешающая способность датчика электропроводности – 0.002 мСм/см при погрешности измерения 1%.



Рис. 3. Регистратор данных CR1000 производства Campbell Scientific Inc, США.

На скв. ЮЗ-5 установлен регистратор данных CR1000 (рис. 3). Регистрация производится с частотой 0.01–20 Гц. Данные записываются на CompactFlash карту и передаются в реальном времени на сервер КФ ФИЦ ЕГС РАН по сети сотовой связи. Настройка параметров регистрации, хранения и передачи данных осуществляется путем программирования в среде CRBasic. CR1000 имеет цифровой вход RS232, поэтому для подключения к нему датчиков фирмы Keller серии PAA36 требуется конвертер Keller K-114, преобразующий цифровой вход RS232 в RS485, в отличие от регистратора CR6 (работал раньше на этой скважине), у которого цифровой вход RS485 и использование конвертера не требуются. Стоимость комплекта оборудования составляет ~570 000 рублей.



Рис. 4. Автономный регистратор данных Keller GSM-2, Швейцария.

На скв. Е-1 установлен автономный регистратор данных Keller GSM-2 (рис. 4). Регистрация данных производится с периодичностью 2 мин. Данные записываются во внутреннюю память регистратора и сохраняются до двух недель, а также передаются на сервер посредством сетей сотовой связи. Регистратор GSM-2 имеет собственные элементы питания, замена которых осуществляется с частотой от 1 года до 10 лет в зависимости от настраиваемых параметров. При настройке регистрации данных с частотой 2 мин. и передачи данных каждые 20 мин., батарею питания необходимо менять 1 раз в 18 месяцев. Внешний блок питания приобретается отдельно. Стоимость комплекта оборудования составляет ~220 000 рублей.

На скважинах М-1 и 1303 в качестве регистраторов используются миникомпьютеры (рис. 5), на скв. М-1 – Lenovo 32GB of on-board storage (Windows 8), а на скв. 1303 – INTEL STCK1A8LFC 8GB of on-board storage (Windows 8). К миникомпьютерам подключены датчики (рис. 2): PAA-36 XiW CTD Si в скв. М-1 и PAA-36 XiW в скв. 1303.



Рис. 5 Миникомпьютер INTEL STCK1A8LFC 8GB of on-board storage.

Для обеспечения работы оборудования на скважинах, Кобзевым В.А. был создан комплекс, названный Регистратор Гидрогеодинамических Данных Наблюдений (РГДН) (рис. 6А), состоящий из пылевлагозащитного бокса, в котором размещены:

- миникомпьютер со встроенными модулями WiFi, Bluetooth и HDMI, позволяющими подключать внешние устройства, такие как монитор (рис. 6Б), планшет или ноутбук;
- конвертер Keller K-114, позволяющий подключать датчик (рис. 1) к миникомпьютеру, посредством преобразования цифрового выхода RS485 датчика к цифровому входу USB миникомпьютера;
- карта памяти Micro SD объемом 2 Гб и более для записи и накопления данных;

- 2-4G USB LTE модем для передачи данных по каналам сотовой связи и дистанционного управления миникомпьютером;
- USB Splitter hub 4 port для подключения к миникомпьютеру периферийного оборудования;
- стабилизатор LM 2596 HW-411 для обеспечения электропитания миникомпьютера и периферийного оборудования.

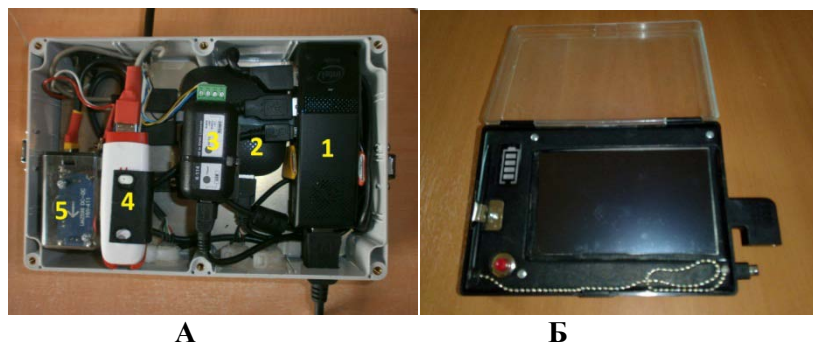


Рис. 6. А – Бокс РГДН: 1 – компьютер BOXSTK1A32SC 32GB of on-board storage с оперативной системой Windows 8; 2 – USB Splitter hub 4 port; 3 – конвертер Keller K-114; 4 – 2-4G USB LTE модем; 5 – стабилизатор LM 2596 HW-411. Б – Автономный мобильный монитор на основе емкостной сенсорной панели 5inch HDMI LCD.

Для обеспечения регистрации данных используется лицензионное программное обеспечение ControlCenterSeries30 (CCS30), поставляемое с датчиками Keller. Оно позволяет просматривать текущие данные на экране монитора в виде табличного и графического представления данных, накапливать и записывать их на твердотельную память, а также экспортировать в формат текстовых файлов и Windows Excel. Для автоматизации передачи данных по сети мобильной связи в Лабораторию геофизических исследований и запись их в базу данных на сервере КФ ФИЦ ЕГС РАН Коркиной Г.М. написано дополнительное программное обеспечение. Доступ к данным осуществляется посредством информационной системы POLYGON [2]. Регистрация данных может производиться с частотой до 10 Гц. Стоимость комплекта оборудования составляет ~40 000 рублей.

На рис. 7 представлены изменения давления воды в скв. Е-1 по данным регистрации комплексом Кедр ДМ и с использованием датчика Keller PAA36 XiW CTD Si и регистратора GSM-2. Результаты синхронных измерений показывают одинаковые амплитуды роста давления воды в скважине за длительный период. Изменения суточной скорости вариаций давления также достаточно хорошо согласованы.

В течение модернизации скважинного оборудования в 2017 – 2021 гг. были получены записи вариаций давления при телесеismicких событиях с  $M_w = 7.1 - 8.2$  в районах Аляски и Японии; при сильных местных событиях 25.03.2020 г.,  $M_w = 7.5$  и 16.03.2021 г.,  $M_w = 6.6$ , а также при камчатских землетрясениях с  $M_w \leq 5.2$ . На рис. 8 представлены записи вариаций давления воды в трех скважинах в связи с землетрясением 29.07.2021 г.  $M_w = 8.2$ ,  $d_e = 2870$  км, Аляска, в сопоставлении с сейсмической записью на канале ВНЗ на с/ст. РЕТ. В записях давления воды на всех скважинах хорошо выделяются вступления волн P, S и L, соответствующие их вступлениям на с/ст. РЕТ.

### Заключение

1. Выполненная в КФ ФИЦ ЕГС РАН модернизация системы наблюдений на четырех скважинах с использованием оборудования от ведущих зарубежных производителей, выводит этот метод геофизического мониторинга флюидонасыщенной геосреды на передовые позиции в Мире.

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

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

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00576-21 и целевой программы «Развитие») с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

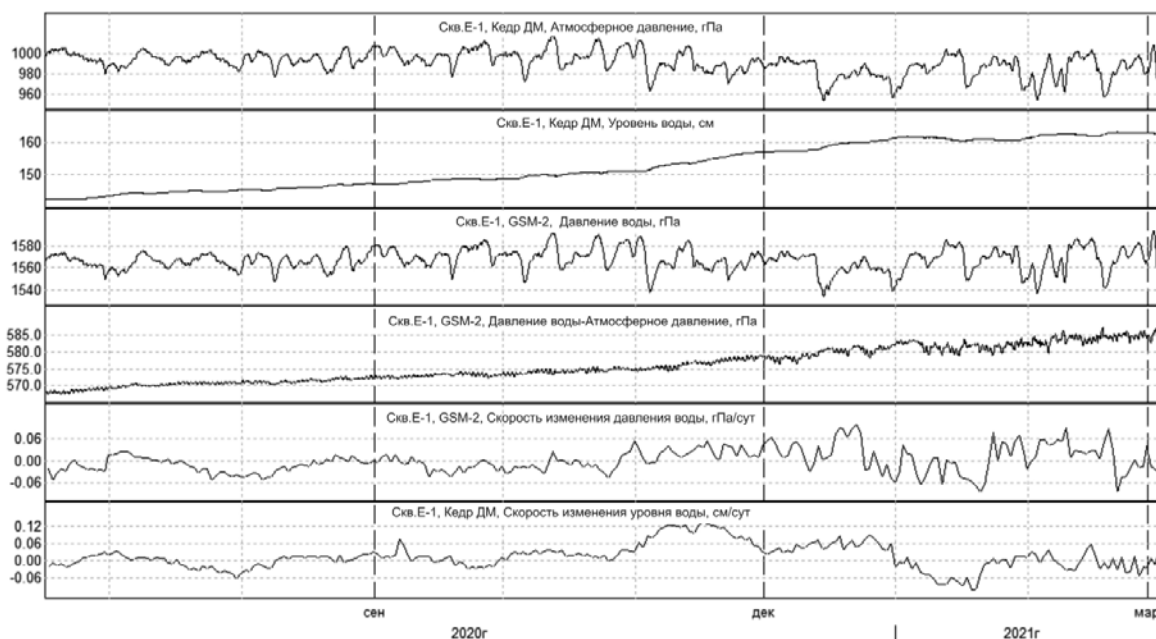


Рис. 7. Изменения уровня/давления воды и суточных скоростей их изменения в скв. Е-1 по данным цифрового комплекса Кедр ДМ и с использованием датчика Keller PAA36 XiW CTD Si и регистратора GSM-2.

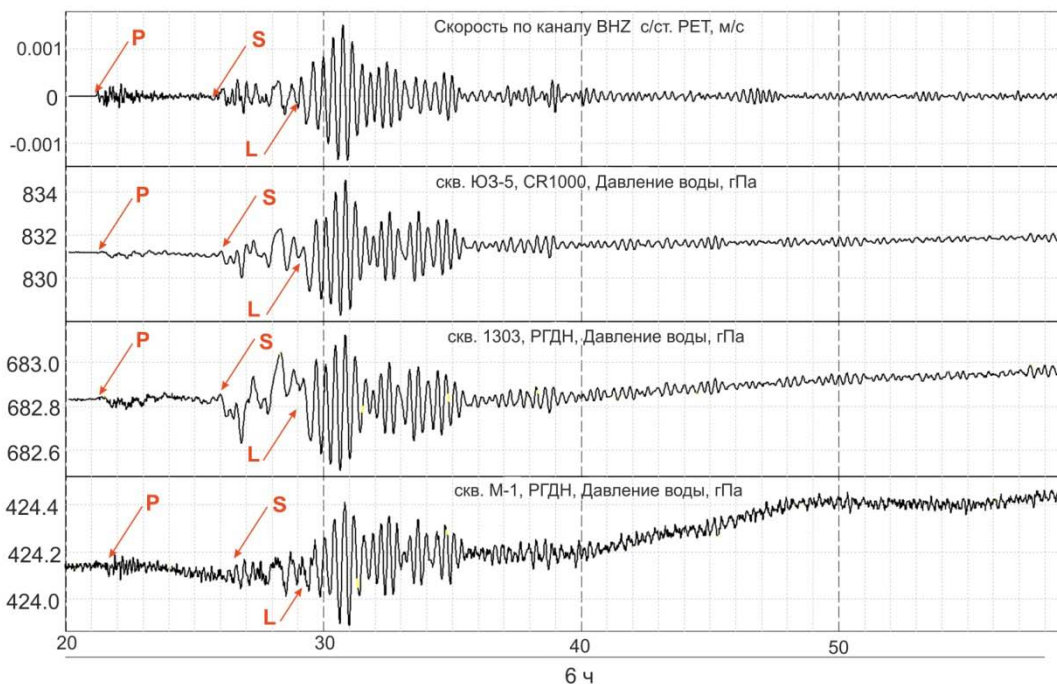


Рис. 8. Изменения давления воды в скважинах ЮЗ-5, 1303 и М-1 при землетрясении 29.07.2021 г.  $M_w = 8.2$ ,  $d_c = 2870$  км, Аляска, в сопоставлении с сейсмической записью на канале BHZ на с/ст. PET (датчик STS-1, 20 Гц). Вступление сейсмических волн P, S и L показано красными стрелками.

### 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. Тр. Седьмой научно-техн. конф. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября–7 октября 2019 г. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. С. 27–31.
2. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Гидрогеосейсмологические исследования на Камчатке: 1977 – 2017 гг. // Вулканология и сейсмология. 2019. № 2. С. 3–20. <https://doi.org/10.31857/S0205-9614201923-20>.
3. 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. <https://doi.org/10.21455/si2016.4-4>.
4. Kopylova G. and Boldina S. Hydrogeological Earthquake Precursors: A Case Study From the Kamchatka Peninsula. Front. Earth Sci. 2020. 8:576017. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.576017>.