

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ЖУПАНОВСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 30.01.2016 г., $M_w=7.2$

Копылова Г.Н., Болдина С.В., Полетаев В.А.

Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», г. Петропавловск-Камчатский, gala@emsd.ru

Введение

Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) проводит многолетние наблюдения за режимом подземных вод на скважинах и источниках на территории Петропавловского геодинамического полигона с целью поиска гидрогеологических предвестников землетрясений и разработки методов их прогноза. Схема размещения пунктов наблюдений приводится на рис. 1. Работы выполняются лабораториями гидросейсмологии и геофизических исследований. В лаборатории гидросейсмологии в настоящее время наблюдения проводятся на шести самоизливающихся скважинах и двух источниках станций Пиначево, Морозная, Хлебозавод и Верхняя Паратунка. Отбор проб воды и растворенного газа, замеры дебита и температуры воды осуществляется один раз в 6 дней. Лабораторией геофизических исследований осуществляются измерения уровня, температуры и электропроводности подземной воды в трех скважинах Е-1, ЮЗ-5 и М-1 с интервалом 5 минут с использованием аппаратного комплекса Кедр ДМ-У (ООО Полином, г. Хабаровск) с телеметрической передачей данных по каналам сотовой связи [6].

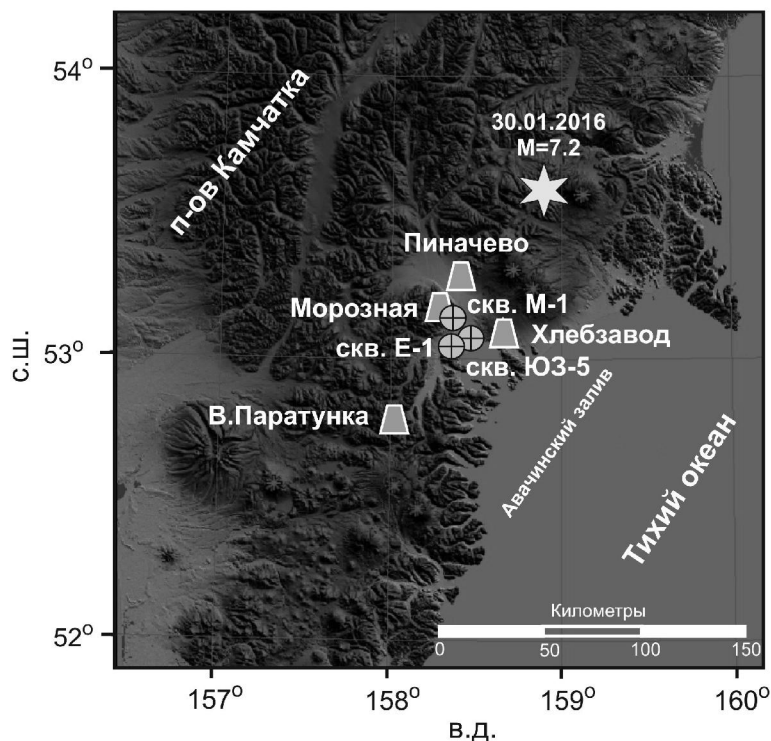


Рис. 1. Расположение пунктов наблюдений за параметрами подземных вод и эпицентра землетрясения 30 января 2016 г.

30 января 2016 г. на Камчатке произошло землетрясение с магнитудой $M_w=7.2$, $H=180$ км (Жупановское) (ЖЗ) на эпицентральных расстояниях $R=70-120$ км от наблюдательных пунктов (рис. 1). На ближайшей сейсмостанции Петропавловск (РЕТ) вступление сейсмических волн было зарегистрировано в 03 ч 25 мин. Интенсивность сотрясений в районе станций составила 5 баллов по шкале MSK-64 [8]. В работе рассматриваются предшествующие и сопутствующие ЖЗ вариации уровня и физико-химических параметров подземных вод. Приводится информация о прогнозе ЖЗ с заблаговременностью 9 сут по данным уровнемерных наблюдений в скважине Е-1.

Гидрогеосейсмические вариации уровня воды в скважинах ЮЗ-5 и Е-1.

Скважина ЮЗ-5 (рис. 2). После вступления сейсмических волн (03:25) в течение 45 мин уровень повышался с амплитудой 9.4 см (рис. 2 Б). В [1] аналогичное по форме и по продолжительности повышение уровня рассматривалось как наложение косейсмического скачка уровня вследствие объемного сжатия водовмещающих пород и притока воды в ствол скважины при образовании разрыва в очаге землетрясения и импульсного роста порового давления вблизи ствола скважины вследствие динамической деформации водовмещающих пород при прохождении сейсмических волн. С использованием моделирования оценена амплитуда косейсмического скачка

повышения уровня ($\Delta h = 7.3$ см), что соответствует косейсмической деформации объемного сжатия водовмещающих пород $D = -4.5 \cdot 10^{-8}$. Описание процедуры получения величины D приводится в [9].

В течение трех месяцев после ЖЗ уровень воды в скв. ЮЗ-5 понижался (рис. 2 В). С учетом характера сезонных изменений за многолетний период (см. график 2 рис. 2 В), амплитуда постсейсмического понижения уровня воды оценивается ≈ 40 см (см. график 3 рис. 2 В). Ранее эффекты интенсивного постсейсмического понижения уровня воды наблюдались в этой скважине дважды: после Кроноцкого землетрясения 05.12.1997 г., $M_w = 7.8$, $R = 200$ км [7] и после землетрясения 28.02.2013 г., $M_w = 6.8$, $R = 260$ км [6].

Ретроспективный анализ изменений уровня воды в скв. ЮЗ-5 перед землетрясением с учетом его внутригодовой среднесезонной функции и линейного тренда показал наличие аномального повышения уровня воды с сентября 2015 г. по январь 2016 г. Наиболее интенсивный подъем уровня воды наблюдался с середины октября по начало декабря 2015 г. Суммарная амплитуда повышения уровня воды составила примерно 20 см (см. график 3 рис. 2 В). Мы полагаем, что такое повышение уровня было связано с процессом подготовки ЖЗ и является его гидрогеодинамическим предвестником. Ранее гидрогеодинамический предвестник проявлялся перед Кроноцким землетрясением в виде бухтообразного понижения уровня с амплитудой 11 см в течение трех недель и, как предполагалось, был обусловлен падением флюидного давления при развитии квазиупругой деформации расширения водовмещающих пород [4].

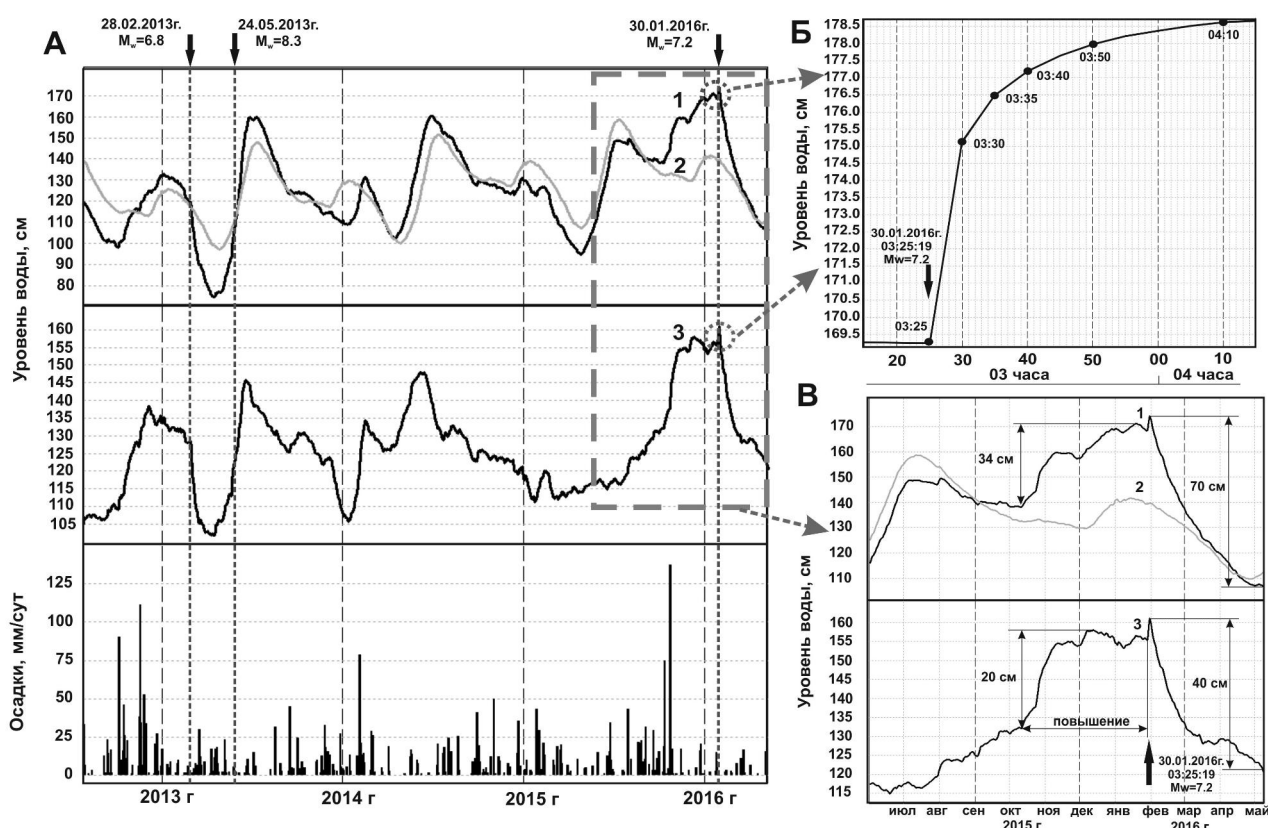


Рис. 2. Гидрогеосейсмические вариации уровня воды в скв. ЮЗ-5: А – графики изменений уровня воды с июля 2012 по май 2016 гг. в сопоставлении с осадками и землетрясениями с $M_w \geq 6.5$ (показаны стрелками): 1 – среднечасовые данные наблюдений с компенсированными баровариациями; 2 – выделенные сезонные вариации уровня воды совместно с линейным трендом; 3 – остатки в изменениях уровня воды после компенсации годовой сезонности и тренда: жирным пунктиром обозначен фрагмент графиков в период воздействия процессов подготовки и реализации ЖЗ, (см. рис. В – предположительно предвестниковые и постсейсмические изменения уровня воды в период подготовки и реализации ЖЗ); Б – кратковременное повышение уровня воды после вступления сейсмических волн от ЖЗ (03:25).

Скважина Е-1 (рис. 3). В период ЖЗ было зарегистрировано последовательное проявление гидрогеодинамического предвестника в форме понижения уровня с повышенной скоростью и повышение уровня после землетрясения с амплитудой 3.7 см в течение двух месяцев (рис. 3 Б). Такие вариации уровня по форме являются типичным для этой скважины при сильных ($M_w \geq 6.6$) местных землетрясениях на расстояниях до 300 км [2, 3, 5-7].

Гидрогеодинамический предвестник перед ЖЗ проявлялся в течение 20 сут (рис. 3 Бб). Такой предвестник проявляется примерно перед 70% землетрясений с $M_w \geq 5.0$ на расстояниях до 350 км. Для него имеется параметрическое описание и оценки его надежности для прогноза землетрясений с различными величинами магнитуды [3]. С использованием этого вида предвестника по текущим данным равномерных наблюдений осуществляется оценка опасности возникновения сильных землетрясений в районе г. Петропавловска-Камчатского с предоставлением прогнозных заключений в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС). В прогнозном заключении от 21 января 2016 г. указывалось на возможность землетрясения с $M_w \geq 5.0$ в течение ближайшего месяца в радиусе 350 км от скв. Е-1 [8].

Жупановское землетрясение с $M_w=7.2$, произошедшее на эпицентральной расстоянии 80 км от скважины, соответствовало прогнозу от 21 января по величине магнитуды, по времени и по местоположению, и этот прогноз признан КФ РЭС успешным [8].

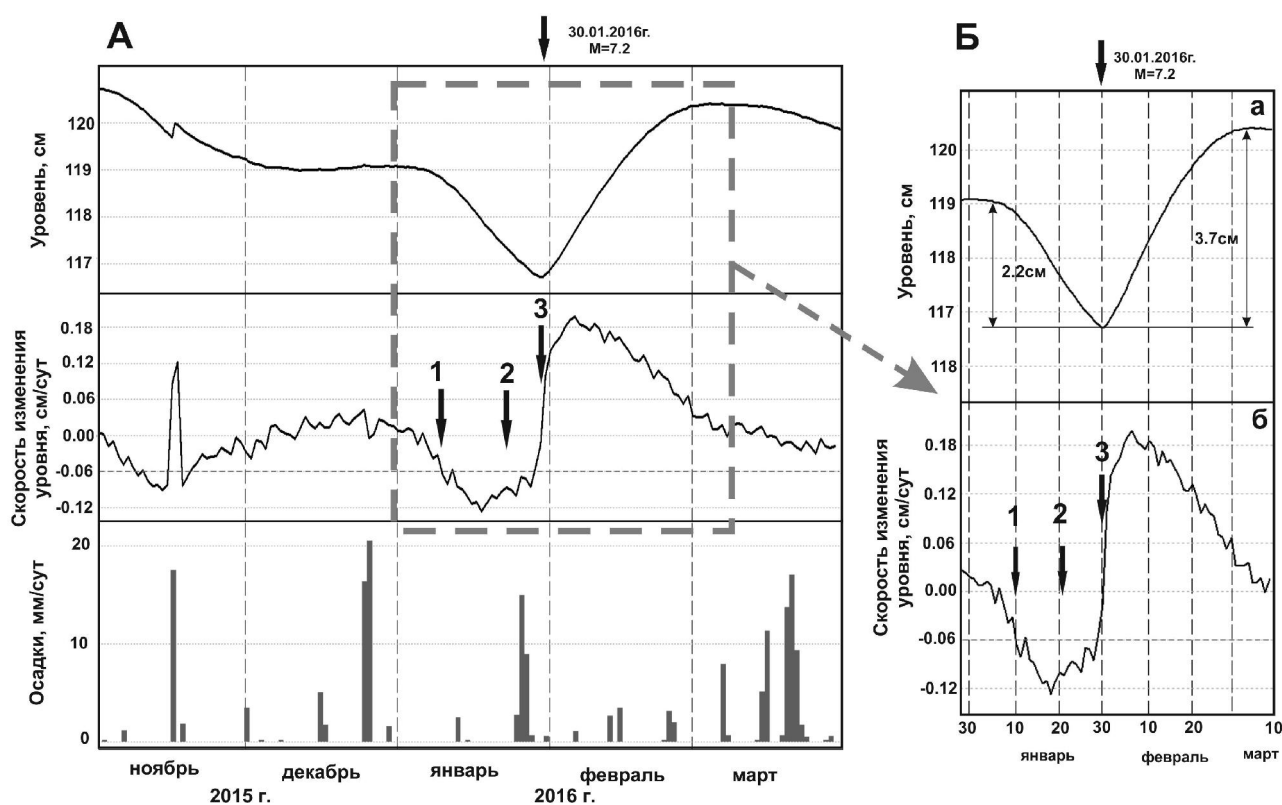


Рис. 3. Изменения уровня воды в скв. Е-1 в период ЖЗ: А – изменения уровня воды и его среднесуточной скорости с ноября 2015 по март 2016 гг. в сопоставлении с атмосферными осадками; ЖЗ показано стрелкой. На графике среднесуточной скорости изменения уровня воды цифрами показаны: 1 – 10 января – начало проявления гидрогеодинамического предвестника, 2 – 21 января – дата подачи прогнозного заключения в КФ РЭС о возможности сильного землетрясения, 3 – 30 января – момент ЖЗ; пунктирной линией показано пороговое значение скорости понижения уровня воды; жирной пунктирной линией выделен фрагмент изменений уровня воды, представленный на рис. Б: а – изменения уровня воды с 30 декабря 2015 по 10 марта 2016 гг., включающие гидрогеодинамический предвестник и постсейсмическое повышение; б – изменение среднесуточной скорости вариаций уровня воды в сопоставлении с ее пороговой величиной -0.06 см/сут.

Вариации физико-химических параметров, зарегистрированные в скважине М-1 и на Пиначевских источниках № 1 и № 2/1.

Скважина М-1. На рис. 4 представлены изменения температуры и электропроводности воды в скв. М-1. После ЖЗ наблюдалось повышение температуры воды в течение месяца с амплитудой 0.1°C и рост электропроводности на 14 мСм/см в течении 2.5 месяцев. Такие изменения температуры и электропроводности относятся к постсейсмическим вариациям физико-химических параметров подземных вод.

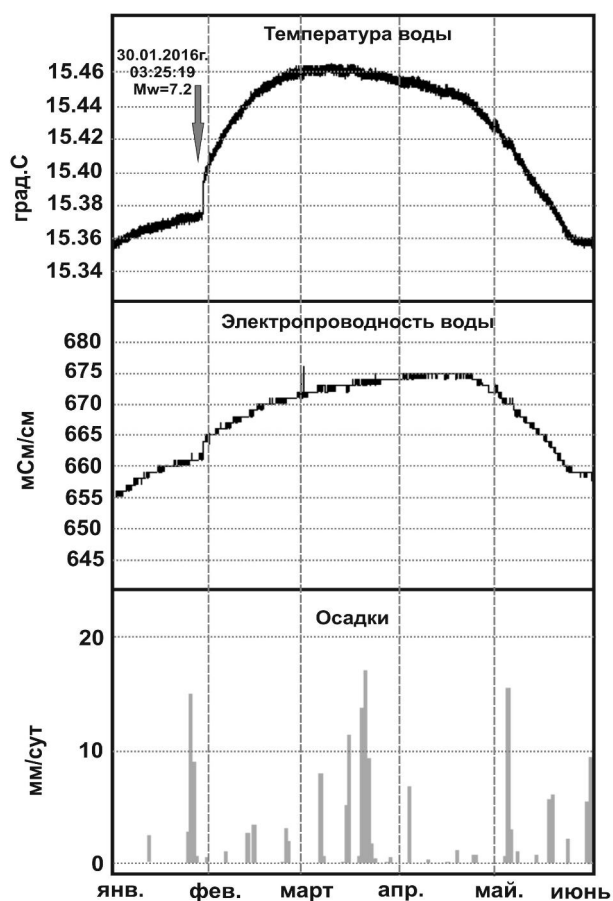


Рис. 4. Изменения температуры и электропроводности воды в скважине М-1 с 1 января по 1 июня 2016 г. в сопоставлении с осадками. ЖЗ показано стрелкой.

Пиначевский источник № 1. В изменениях режима Пиначевских источников № 1 и № 2 после ЖЗ наблюдалось увеличение дебитов и рост концентраций макрокомпонентов в составе воды. Дебит источников непосредственно после ЖЗ возрос примерно в три раза (в источнике № 1 с 0.3 до 0.9 л/с) (рис. 5). Затем наблюдалось возвращение дебитов к их фоновым величинам.

Рост концентраций макрокомпонентов происходил в течение полутора месяцев, и к середине апреля 2016 г. их величины составляли 150-200% по отношению к фоновым концентрациям. Общее время возмущенного состояния источников в результате воздействия ЖЗ оценивается от одного месяца (по дебиту) до полугода (по изменениям концентраций макрокомпонентов). Такие изменения дебитов и химического состава воды Пиначевских источников являются типичными при возникновении землетрясений с интенсивностью сотрясений 5-6 баллов и более. Они относятся к постсейсмическим вариациям физико-химических параметров подземных вод и свидетельствуют о значительном влиянии сильных землетрясений на вынос источниками на поверхность земли воды и минеральных компонентов в зоне разгрузки Пиначевской гидротермальной системы.

В изменениях параметров режима других самоизливающихся скважин влияние ЖЗ не обнаружено.

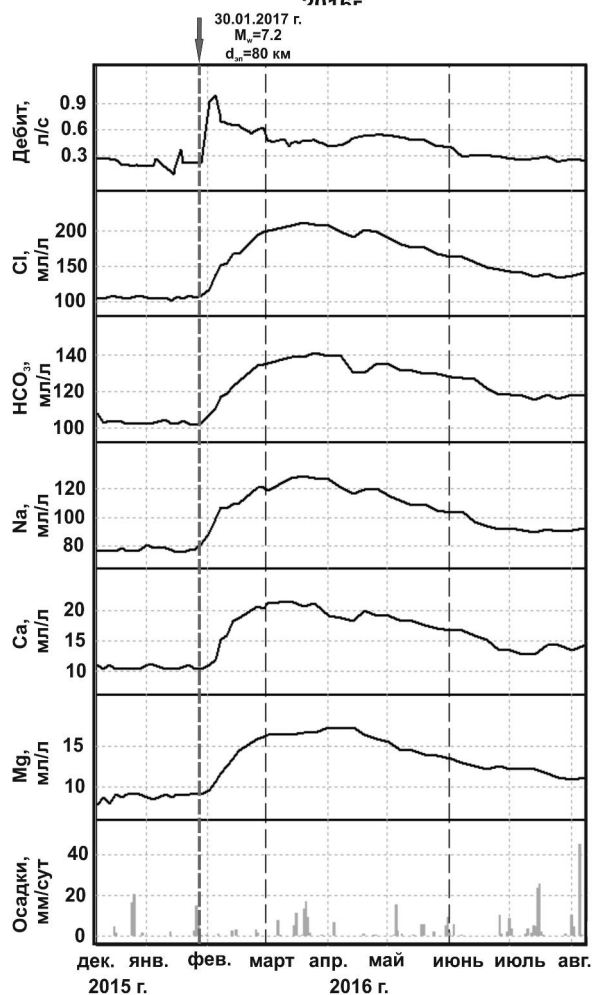


Рис. 5. Изменения дебита и концентраций макрокомпонентов в составе воды Пиначевского источника № 1 в период ЖЗ (показано стрелкой) в сопоставлении с осадками; время наблюдений - с декабря 2015 г. по июль 2016 г.

Заключение

1. Пример Жупановского землетрясения демонстрирует, что используемая в КФ ФИЦ ЕГС РАН система автоматизированных наблюдений за вариациями уровней и физико-химических параметров подземных вод в пьезометрических скважинах позволяет диагностировать в режиме близком к реальному времени различные типы гидрогеосейсмических вариаций при сильных землетрясениях, в т. ч. их гидрогеодинамические предвестники. Пример ЖЗ также показывает, что данные равномерных наблюдений могут использоваться в системе геофизического мониторинга и сейсмического прогнозирования для оценки времени сильного землетрясения и получения точечных оценок объемной косейсмической деформации водовмещающих пород.

2. По данным наблюдений за вариациями уровня воды в скв. Е-1 осуществлен успешный прогноз Жупановского землетрясения 30 января 2016 г., $M_w=7.2$ с временем упреждения 9 суток.

3. В скв. ЮЗ-5 ретроспективно обнаружено повышение уровня воды с амплитудой 20 см в течение не менее 3.5 месяцев перед Жупановским землетрясением, являющееся аномальным по отношению к его среднесезонному поведению и рассматриваемое нами в качестве гидрогеодинамического предвестника ЖЗ.

Работа выполнена в рамках плановых тем НИР КФ ФИЦ ЕГС РАН рег. №№ АААА-А16-116070550057-7, АААА-А16-116070550059-1.

Список литературы

1. Болдина С.В., Копылова Г.Н. Косейсмические эффекты сильных камчатских землетрясений 2013 г. в изменениях уровня воды в скважине ЮЗ-5 // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. 2016. № 2. Вып. № 30. С. 66-76.
2. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине Елизовская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями (по данным наблюдений в 1987-1998 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2001. № 2. С. 39-52.
3. Копылова Г.Н. Оценка сейсмопрогностической информативности данных уровнемерных наблюдений на скважине Е-1, Камчатка (по данным наблюдений 1996-2007 гг.) // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока. Т. 2. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. С. 24-28.
4. Копылова Г.Н., Болдина С.В. О механизме гидрогеодинамического предвестника Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., $M_w=7.8$ // Тихоокеанская геология. 2012. № 5. С. 104-114.
5. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Триггерное воздействие землетрясений на подземные воды (по данным наблюдений на Камчатке) // Триггерные эффекты в геосистемах (Москва, 16-19 июня 2015 г.): материалы третьего Всероссийского семинара-совещания. М.: ГЕОС, 2015. С. 70-78.
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, Т. 52. С. 43-56.
7. Копылова Г.Н., Болдина С.В., Смолина Н.Н. и др. Гидрогеосейсмические вариации уровня воды в пьезометрических скважинах Камчатки (по данным наблюдений 1987-2011 гг.) // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2012. С. 236-269.
8. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Абубакиров И.Р. и др. Жупановское землетрясение 30.01.2016 г. с $K_s=15.7$, $M_w=7.2$, $I=6$ (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. 2016. № 1. Вып. № 29. С. 5-16.
9. Kopylova G.N., Steblou G.M., Boldina S.V., Sdel'nikova I.A. The Possibility of Estimation the Coseismic Deformation from Water Level Observations in Wells // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2010. V. 46, № 1. P. 47-56.