

**Гидрогеодинамические эффекты Жупановского землетрясения 30.01.2016 г.,  $M_w=7,2$  (по данным уровнемерных наблюдений)****С.В. Болдина, Г.Н. Копылова***Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», г. Петропавловск-Камчатский, e-mail: boldina@emsd.ru*

Представлены данные по изменениям уровня воды в скважинах ЮЗ-5 и Е-1, Камчатка, в период Жупановского землетрясения 30 января 2016 г.,  $M_w=7,2$ . В изменениях уровня воды в скв. Е-1 последовательно проявились гидрогеодинамический предвестник в форме понижения уровня воды с повышенной скоростью и постсейсмическое повышение с амплитудой 3,7 см. Предвестник выявлен в режиме реального времени. На его основе 21 января 2016 г. был составлен официальный прогноз о возможности возникновения сильного землетрясения, который оправдался по времени, положению и по величине магнитуды. В скв. ЮЗ-5, кроме ко- и постсейсмического эффектов, ретроспективно обнаружено повышение уровня воды на 40 см в течение шести месяцев до землетрясения.

**Введение**

Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) проводит уровнемерные наблюдения на скважинах ЮЗ-5 ( $53,17^\circ$  с. ш.,  $158,41^\circ$  в. д., глубина 800 м) и Е-1 ( $53,26^\circ$  с. ш.,  $158,48^\circ$  в. д., глубина 665 м) с использованием измерительного комплекса Кедр ДМ-У производства ООО Полином, г. Хабаровск. Обеспечивается точность измерений вариаций уровня воды  $\pm 0,1$  см [6].

30 января 2016 г. на Камчатке произошло землетрясение с магнитудой  $M_w=7,2$ ,  $H=180$  км (Жупановское) на эпицентральной расстоянии  $R=80$  км от скважин ЮЗ-5 и Е-1. Вступление сейсмических волн было зарегистрировано в 03 ч 25 мин. на сейсмостанции Петропавловск (РЕТ). Интенсивность сотрясений в районах скважин составила 5 баллов по шкале MSK-64 [8]. В работе рассматриваются вариации уровня воды в обеих скважинах, предшествующие и сопутствующие этому сейсмическому событию. Приводится информация о прогнозе Жупановского землетрясения с заблаговременностью 9 сут по данным уровнемерных наблюдений на скв. Е-1.

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

*Скважина ЮЗ-5.* На рис. 1 представлены изменения уровня воды в скв. ЮЗ-5 в период Жупановского землетрясения. После вступления сейсмических волн от землетрясения (03:25) в течение 25 минут уровень повышался с амплитудой 9,4 см (рис. 1 Б) вследствие увеличения порового давления в системе «скважина – водовмещающая порода». Такой эффект мог быть вызван наложением косейсмического скачка повышения уровня вследствие объемного сжатия водовмещающих пород при образовании разрыва в очаге землетрясения и кратковременного роста порового давления при прохождении сейсмических волн [1]. С использованием моделирования оценена амплитуда косейсмического повышения уровня ( $\Delta h=7,3$  см), что соответствует величине деформации объемного сжатия водовмещающих пород  $4.5 \cdot 10^{-8}$  [9].

После землетрясения уровень понижался в течение 3 мес. с амплитудой около 70 см (рис. 1 В). С учетом характера сезонного тренда за многолетний период, амплитуда постсейсмического понижения уровня оказалась меньше и составила  $\approx 40$  см (рис. 1 В). Ранее эффект интенсивного постсейсмического понижения уровня воды

наблюдался в этой скважине после Кроноцкого землетрясения 05.12.1997 г.,  $M_w = 7,8$ ,  $R=310$  км и землетрясения 28.02.2013 г.,  $M_w = 6,8$ ,  $R=280$  км [5, 7].

Ретроспективный анализ изменений уровня воды в скв. Ю3-5 за многолетний период с учетом его внутригодовой среднесезонной функции и линейного тренда показал наличие аномального повышения уровня воды перед землетрясением. Наиболее интенсивный подъем наблюдался с середины октября 2015 г., его амплитуда составила примерно 20 см (рис. 1 В). Мы предполагаем, что таким образом проявлялся гидрогеодинамический предвестник Жупановского землетрясения. Ранее предвестник в виде бухтообразного понижения уровня с амплитудой 11 см и продолжительностью около трех недель проявлялся перед Кроноцким землетрясением и, как предполагалось, был обусловлен падением порового давления при развитии квазиупругой деформации расширения водовмещающих пород на стадии подготовки этого землетрясения [4].

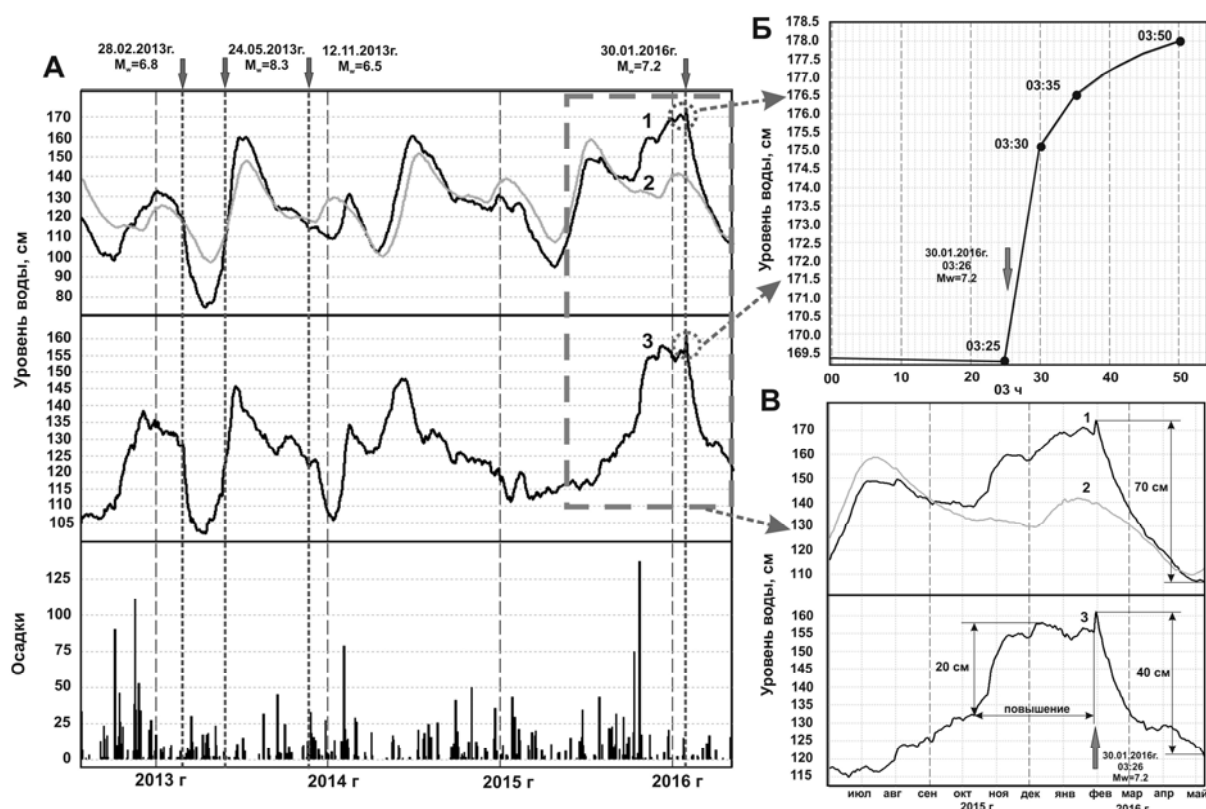


Рис. 1. Гидрогеосейсмические вариации уровня воды в скважине Ю3-5: А – графики изменений уровня воды с июля 2012 по май 2016 гг. в сопоставлении с осадками и землетрясениями с  $M_w \geq 6,5$  (показаны стрелками): 1 – среднечасовые данные наблюдений с компенсированными баровариациями; 2 – выделенные 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 подготовки и реализации Жупановского землетрясения, см. рис. В); Б – косейсмическое повышение уровня воды после вступления сейсмических волн от Жупановского землетрясения (03:25); В – предположительно предвестниковые и постсейсмические изменения уровня воды в период подготовки и реализации Жупановского землетрясения.

*Скважина Е-1.* Изменения уровня воды в скважине Е-1 представлены на рис. 2. В период Жупановского землетрясения 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. Такие вариации уровня являются типичным для этой скважины при сильных ( $M_w \geq 6,6$ ) местных землетрясениях на расстояниях до 300 км [2, 3, 5-7].

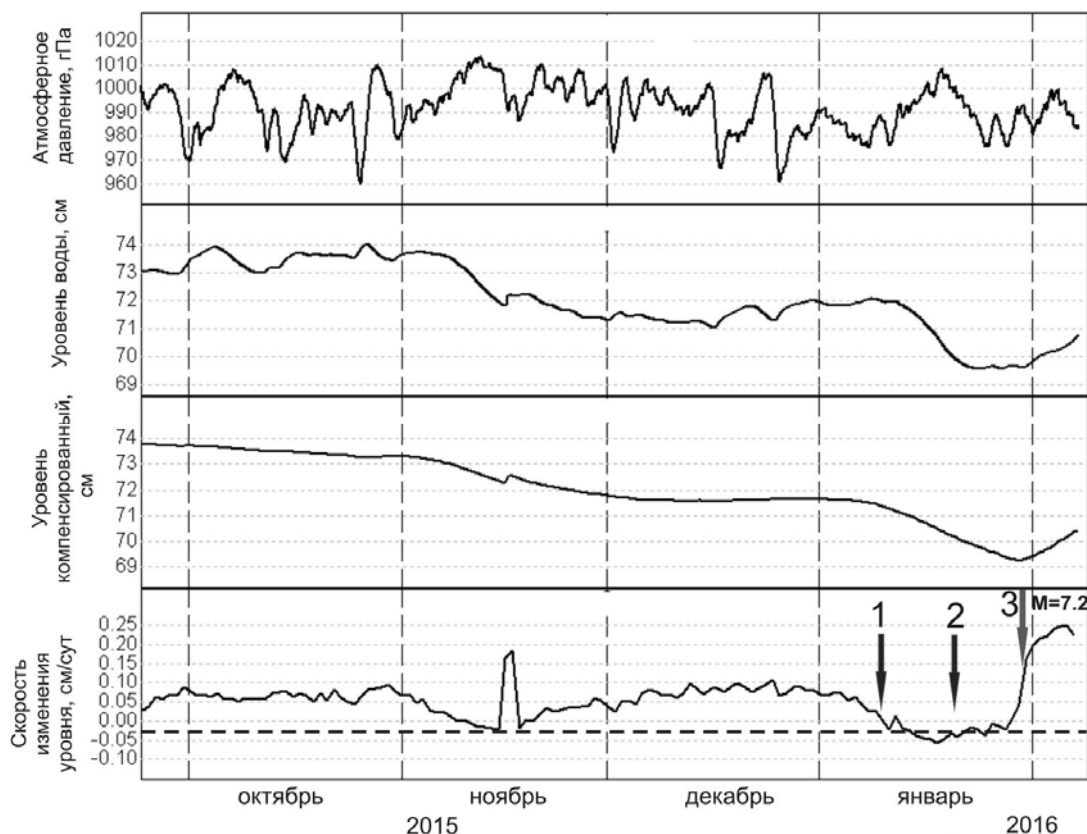


Рис. 2. Изменения уровня воды в скв. Е-1 в сентябре 2015 – феврале 2016 гг. в период подготовки и реализации Жупановского землетрясения 30.01.2016 г.,  $M_w=7,2$ . На нижнем графике цифрами показаны: 1 – 10 января - начало формирования гидрогеодинамического предвестника, 2 – 21 января - дата подачи прогнозного заключения в КФ РЭС о возможности сильного землетрясения, 3 – Жупановское землетрясение; пунктирной линией показано пороговое значение скорости понижения уровня воды.

Гидрогеодинамический предвестник проявлялся в течение 20 сут (см. нижний график на рис. 2). 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 для землетрясений с различными величинами магнитуды, основывающиеся на результатах ретроспективного анализа проявлений гидрогеодинамического предвестника за период многолетних наблюдений [3]. С использованием этого вида предвестника по текущим данным уровнемерных наблюдений на скв. Е-1 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 прогножном 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 скважины Е-1.

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 прогноз, поданный 21 января в КФ РЭС, является успешным [8].

## Заключение

Пример Жупановского землетрясения демонстрирует, что используемая в КФ ФИЦ ЕГС РАН система уровнемерных наблюдений позволяет диагностировать в режиме близком к реальному времени различные типы гидрогеосейсмических вариаций уровня воды при сильных землетрясениях, в т. ч. их гидрогеодинамические предвестники.

По данным наблюдений за вариациями уровня воды в скважине Е-1 осуществлен успешный прогноз Жупановского землетрясения 30 января 2016 г.,  $M_w=7,2$  с временем упреждения 20 суток. Прогноз сопровождался вероятностной оценкой его реализации, основанной на параметрическом описании связи между проявлениями предвестника и произошедшими землетрясениями по данным многолетних наблюдений.

В изменениях уровня воды в скв. ЮЗ-5 ретроспективно обнаружено аномальное повышение уровня воды в течение не менее 3,5 месяцев, предшествующее Жупановскому землетрясению.

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 / Под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. 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. DOI: 10.21455/si2016.4-4
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. DOI:10.1134/S1069351310010040