

ГЛАВА 7

Наблюдения в пьезометрических скважинах

КФ ГС РАН проводит регистрацию уровня, температуры и электропроводимости воды в двух глубоких скважинах Е-1 (глубина 665 м, уровень на глубине 27 м ниже оголовка) и ЮЗ-5 (глубина 800 м, уровень на глубине 1 м). Данные о строении скважин и локальных гидрогеологических условиях приводятся в [Копылова, 2001, 2006], а также на сайте КФ ГС РАН по адресам <http://emsd.ru/lgi/places/e1> и <http://emsd.ru/lgi/places/uz5>.

В скважине Е-1 в интервале 625–647 м выполнена перфорация обсадной колонны. В скважине ЮЗ-5 в диапазоне глубин 310–800 м обсадка отсутствует и ствол скважины связан напрямую с водовмещающими породами. Скважины расположены на расстоянии около 290 км от эпицентра землетрясения 28 февраля 2013 г. (рис. 7.1).

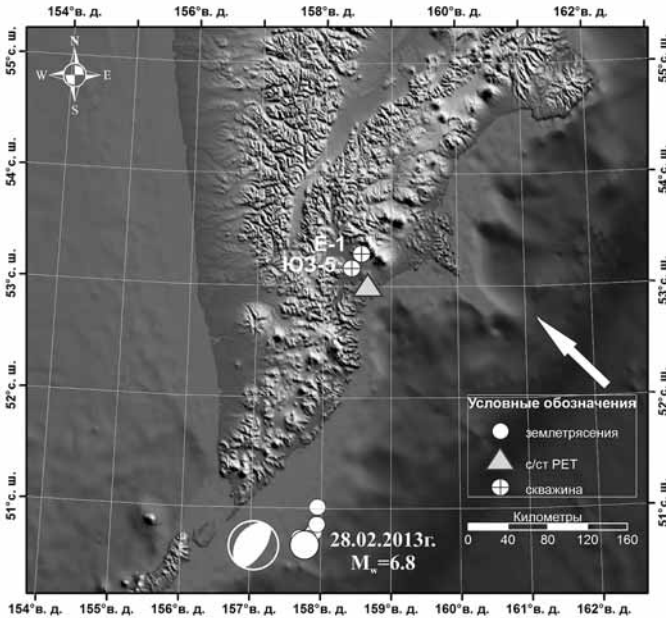


Рис. 7.1. Схема расположения скважин Е-1 и ЮЗ-5, эпицентров землетрясения 28 февраля 2013 г. и его сильнейших афтершоков. Стрелкой показано направление движения Тихоокеанской океанической плиты.

В обеих скважинах наблюдения проводятся с использованием аппаратурного комплекса Кедр-ДМ-У (ООО Полином, г. Хабаровск) с телеметрической передачей данных в КФ ГС РАН по каналам сотовой связи общего пользования [Кедр ДМ..., 2009; Калинов и др., 2012].

В состав Кедр-ДМ-У входят высокочувствительный ультразвуковой датчик уровня воды, позволяющий регистрировать изменения уровня воды с точностью ± 0.1 мм, и глубинный зонд для измерений электропроводности и температуры подземной воды. В скважине ЮЗ-5 зонд находится на глубине 97 м ниже оголовка, в скважине Е-1 – на глубине 20 м. Датчики атмосферного давления и температуры воздуха входят в состав блока регистрации БСИ 300, который устанавливается над оголовком скважины. Схема установки измерительного комплекса на скважинах приводится на рис. 7.2.

Измерения гидрогеологических и метеорологических параметров проводятся с интервалом 5 минут. Передача данных в КФ ГС РАН осуществляется один раз в час, обработка

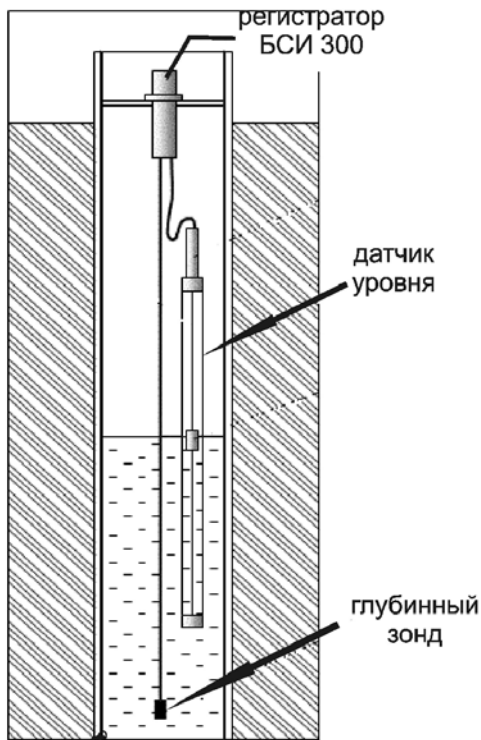


Рис. 7.2. Схема установки измерительного комплекса Кедр-ДМ-У и его компонентов в скважине. БСИ 300 – блок сбора информации, включающий датчики атмосферного давления и температуры воздуха.

данных проводится в лаборатории геофизических исследований ежедневно по будним дням. Результаты обработки в виде графиков временных рядов изменений уровня воды (исходных и очищенных от влияния факторов-помех) представляются на сайте КФ ГС РАН по адресу <http://emsd.ru/lgi/observations>. Обновление графиков проводится ежедневно.

Описание методики обработки данных уровнемерных наблюдений для выделения вариаций уровня воды, связанных с влиянием сейсмичности (гидрогеосейсмических вариаций), приводится в [Копылова и др., 2007], а также в других публикациях авторов настоящего раздела (см. <http://emsd.ru/lgi/result/hydro>).

Используемая система наблюдений позволяет выделять гидрогеосейсмические вариации в изменениях уровня, температуры и

электропроводности подземной воды в режиме, близком к реальному времени, с задержкой между измерением параметров и отображением временных рядов обработанных уровнемерных данных на мониторе оператора не более одних суток. Максимальная задержка между получением данных и их обработкой и визуализацией происходит по понедельникам и может составлять до 2.5–3 суток.

ГИДРОГЕОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ УРОВНЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ В СВЯЗИ С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 28 ФЕВРАЛЯ 2013 г.

В скважине ЮЗ-5 после вступления сейсмических волн (14:07) в течение 45-ти минут происходило повышение уровня с амплитудой 2.2 см (рис. 7.3). Мы полагаем, что такой эффект мог быть вызван наложением косейсмического скачка повышения уровня вследствие изменения напряженного состояния водовмещающих пород при образовании разрыва в очаге землетрясения (их объемного сжатия) и кратковременного повышения порового давления в системе «скважина – водовмещающая порода» при прохождении сейсмических волн. Более обоснованные выводы относительно механизма формирования наблюдаемого эффекта в изменениях уровня воды будут сделаны по результатам моделирования.

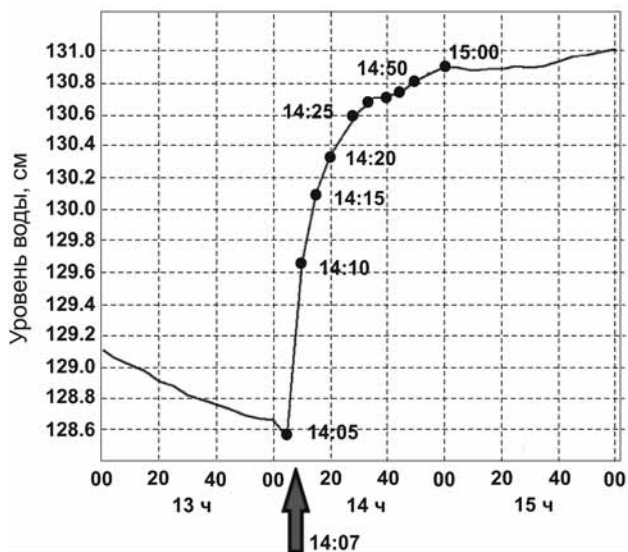


Рис. 7.3. Кратковременное повышение уровня воды в скважине ЮЗ-5 после вступления сейсмических волн от землетрясения 28 февраля 2013 г. (показано стрелкой).

В среднечасовых изменениях уровня воды проявилось интенсивное понижение после землетрясения (рис. 7.4), которое развивалось до середины апреля. Амплитуда понижения уровня в течение 1.5 месяцев составила 35 см. Следует отметить, что эффект интенсивного постсейсмического понижения уровня воды наблюдался ранее в скважине ЮЗ-5 лишь однажды, после Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., $M_w=7.8$, произошедшего на эпицентральной расстоянии 310 км. В случае Кроноцкого землетрясения понижение уровня с амплитудой около 1 м продолжалось три месяца [Копылова, 2006].

В среднечасовых изменениях уровня воды, максимально очищенных от влияния основных факторов-помех, к которым относятся барометрические, приливные вариации и сезонный тренд (график 4 на рис. 7.4), аномалии в диапазоне периодов сутки – десятки суток с амплитудами не менее 5 см перед землетрясением 28 февраля не фиксировались.

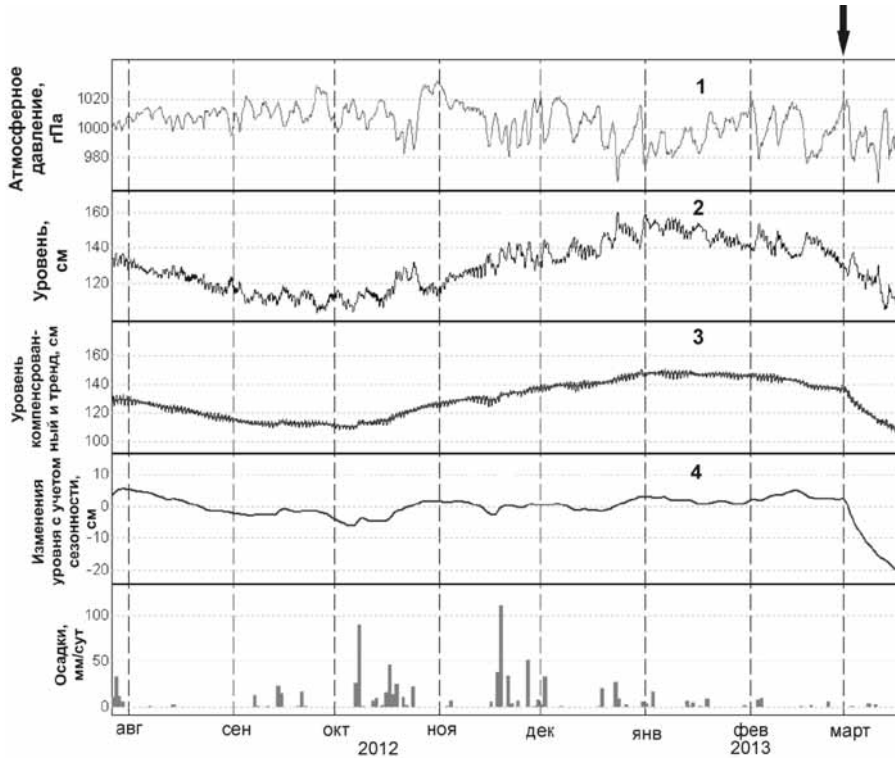


Рис. 7.4. Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5 с 27 июля 2012 г. по 17 марта 2013 г., включающие длительное постсейсмическое понижение после землетрясения 28 февраля 2013 г. (момент землетрясения показан стрелкой): **1** и **2** – данные 5-минутной регистрации атмосферного давления и уровня воды, **3** – среднечасовые изменения уровня воды с компенсированными баровариациями и выделенным трендом, **4** – среднечасовые изменения уровня воды, очищенные от барометрических, приливных вариаций и сезонного тренда.

Это указывает на отсутствие значимого проявления процессов подготовки этого сейсмического события в изменениях уровня воды в скважине ЮЗ-5 в течение суток – первых месяцев перед землетрясением.

На рис. 7.5 представлены изменения температуры и электропроводимости воды в скважине ЮЗ-5. После землетрясения 28 февраля 2013 г. произошло заметное понижение температуры воды (график 1) и повышение электропроводности (график 2). Эти изменения можно отнести к постсейсмическим вариациям в режиме подземных вод. 7 января, т. е. примерно за 8 недель до землетрясения 28 февраля, было зарегистрировано резкое повышение электропроводности воды с амплитудой 6 мСм/м.

В скважине Е-1 в связи с землетрясением 28 февраля было зарегистрировано последовательное проявление гидрогеодинамического предвестника в изменениях уровня воды и его постсейсмическое повышение (рис. 7.6). Гидрогеодинамический предвестник в форме понижения уровня воды с повышенной скоростью ранее был описан в [Копылова, 2001, 2008; Копылова, Болдина, 2012]. Важными особенностями этого вида предвестника являются: 1 – его относительно регулярная повторяемость перед землетрясениями с величинами магнитуд $M \geq 5.0$ на расстояниях до 350 км, что позволяет использовать его для прогнозирования местных землетрясений; 2 – увеличение связи предвестника и землетрясений с ростом величины их магнитуды [Копылова, Сизова, 2012].

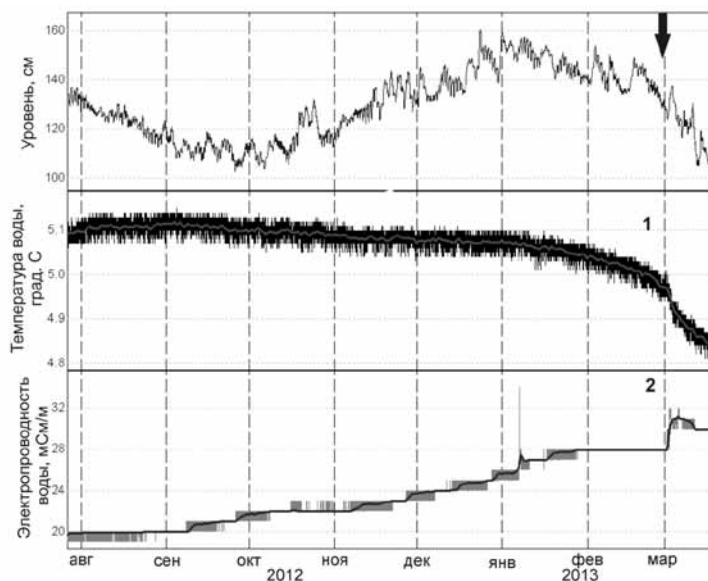


Рис. 7.5. Изменения температуры (1) и электропроводности (2) воды в скважине ЮЗ-5 на глубине 97 м с 27 июля 2012 г. по 17 марта 2013 г., включающие постсейсмические вариации после землетрясения 28 февраля 2013 г. (момент землетрясения показан стрелкой).

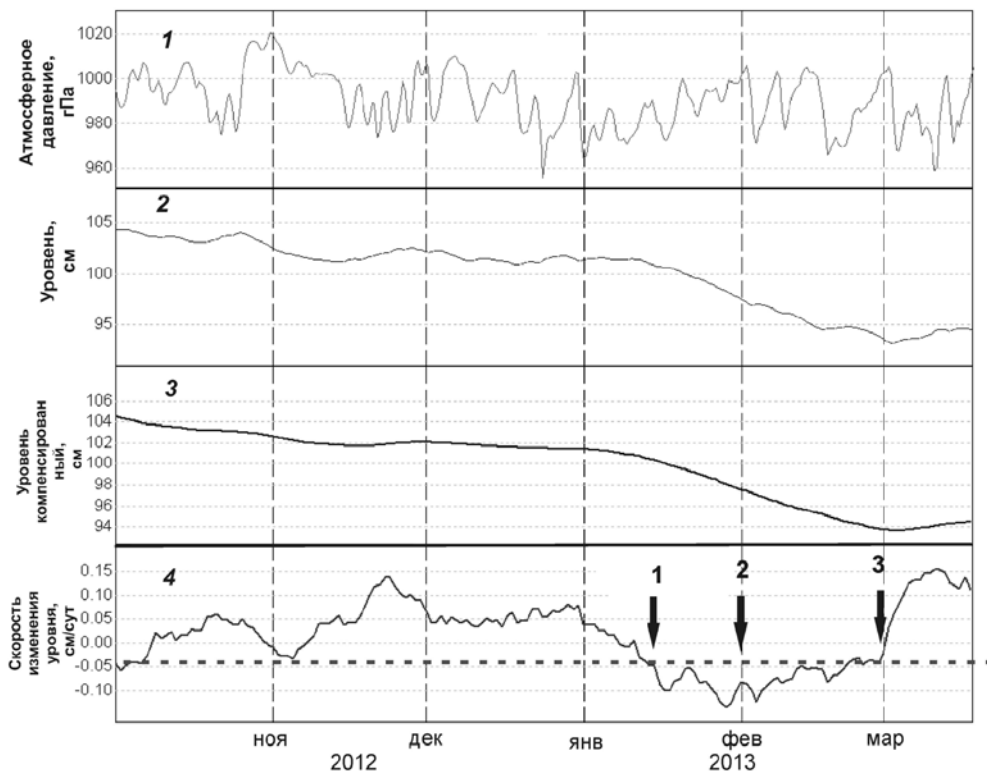


Рис. 7.6. Изменения уровня воды в скважине Е-1 с 1 октября 2012 г. по 18 марта 2013 г., включающие проявление гидрогеодинамического предвестника и постсейсмическое повышение в связи с землетрясением 28 февраля 2013 г.: **1** и **2** – данные 5-минутной регистрации атмосферного давления и уровня воды, **3** – среднесуточные изменения уровня воды с компенсированными баровариациями, **4** – суточная скорость изменения уровня воды с учетом скорости нисходящего тренда. На графике **4** стрелками показаны: **1** – 16 января 2013 г., начало проявления гидрогеодинамического предвестника; **2** – 1 февраля 2014 г., дата подачи прогнозного заключения в КФ РЭС; **3** – 28 февраля 2013 г., дата землетрясения. Горизонтальная пунктирная линия – пороговое значение суточной скорости изменений уровня воды.

По текущим данным уровнемерных наблюдений на скважине Е-1 с использованием этого вида предвестника осуществляется оценка сейсмической опасности 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 1 февраля 2013 г., поданном в КФ РЭС, указывалось, что «в течение времени 1–2 месяца повышена вероятность возникновения землетрясения с $M \geq 5.0$ на расстоянии до 350 км от скважины». В заключении также были приведены оценки надежности сейсмического прогноза для землетрясений с различными величинами магнитуды.

ды, основывающиеся на результатах ретроспективного анализа проявлений гидрогеодинамического предвестника за период многолетних наблюдений [Копылова, Сизова, 2012]: «вероятность события с $M \geq 5.0$ $p=0.45$, вероятность события с $M \geq 5.9$ $p=0.73$ ». Произошедшее 28 февраля землетрясение с $M=6.8$ на расстоянии 290 км от скважины Е-1 соответствует прогнозу от 1 февраля по величине магнитуды, по времени и по местоположению.

Изменение уровня воды в скважине Е-1 в период землетрясения 28 февраля (понижение с повышенной скоростью в течение 44 суток перед землетрясением и его повышение с амплитудой около 2 см после землетрясения (см. рис. 7.6)) является типичным для периодов возникновения сильных ($M \geq 6.6$) местных землетрясений на расстояниях до 300 км [Копылова, 2001].

По данным регистрации физико-химических параметров подземных вод на глубине 20 м с использованием глубинного зонда было обнаружено слабое повышение электропроводности воды с амплитудой 1–2 мСм/м в течение двух суток после землетрясения. В изменениях температуры воды гидрогеосейсмические вариации не проявлялись.

Пример землетрясения 28 февраля 2013 г. показал:

– используемая в КФ ГС РАН система специализированных наблюдений за режимом подземных вод в пьезометрических скважинах позволяет диагностировать различные типы гидрогеосейсмических вариаций уровня, температуры и электропроводности воды, в т. ч. гидрогеодинамические предвестники сильных землетрясений, в режиме близком к реальному времени;

– предложенный ранее в [Копылова, 2001, 2008; Копылова, Сизова, 2012] метод вероятностного среднесрочного сейсмического прогноза времени сильных землетрясений Камчатки с заблаговременностью месяцы – недели, основывающийся на данных уровнемерных наблюдений на скважине Е-1, продемонстрировал свою практическую полезность в системе прогнозирования сейсмической опасности в Камчатском крае.