

## ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ГРЕЦИИ 7 АВГУСТА 2013 г. И ДИНАМИКА ГИДРОГЕОДЕФОРМАЦИЙ СКВАЖИН В УКРАИНЕ

**С.В. Щербина**

*Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,  
пр. Паладина, 32, Киев 03680, Украина, e-mail: pohup@ukr.net*

Развитие автоматизированной геофизической компьютерной системы исследования изменений локальных краткосрочных неотектонических процессов, вызванных активизацией глобальной системы общих тектонических деформаций, может способствовать определению источников этих изменений и успешному осуществлению физической и математической интерпретации данных процессов. Временные изменения уровня и температуры воды в скважинах Днепропетровской геофизической экспедиции “Днепрогеофизика” и Института геофизики НАН Украины и их причины исследованы с помощью корреляционной функции для точного подтверждения или опровержения связи таких процессов с подготовкой и реализацией греческого землетрясения 7 августа 2013 г.

**Ключевые слова:** землетрясения, скважина, уровень воды в скважине, температура воды в скважине, корреляционная функция, гидрогеодеформация, неотектоника.

**Введение.** Необходимым этапом развития гидрогеологического метода в целях прогноза землетрясений является достоверная диагностика изменений параметров режима скважин и источников воды под влиянием процессов подготовки и реализации землетрясений (гидрогеосейсмических вариаций). Изменение указанных параметров отражает специфические гидрогеодинамические и гидрогеохимические процессы в системах скважина – подземная вода, характеризующихся различием режимообразующих условий [1]. Изучение режима динамики подземных вод с помощью математических методов для решения таких задач проводилось в специально оборудованных для геодинамического мониторинга скважинах в городах Киев и Кривой Рог. Техническое описание скважин Киева (“Kiev”) и Кривого Рога (“KrivoyRog”) использовано в статье для соотнесения с точками их расположения и графиками их временных параметров. Измерения и анализ данных из скважины “KrivoyRog” проводились достаточно давно [5], гидросейсмические наблюдения в скважине “Kiev” выполнялись впервые.

Изменения уровня воды и ее температуры в обеих скважинах определялись с помощью специальных автономных регистрирующих “интеллектуальных” датчиков фирмы “Eijkelpamp Agrisearch Equipment BV” [12], которые установлены непосредственно в Криворожской скважине 14431 глубиной 815 м со статическим уровнем воды 106 м от земной поверхности скв. “KrivoyRog” и в скважине “Kiev” глубиной 300 м со статическим уровнем воды 97 м (рис. 1, 2).

На рис 1, 2 показано, что запуск и остановка процесса регистрации уровня воды и ее темпера-

туры в двух скважинах проводились в разное время. Длительность периода измерений в каждой скважине составляло примерно 3 мес, что определялось размерами памяти устройств [12], изменявших уровень и температуру воды в этих скважинах, и скоростью отсчетов получения данных, которая также настраивалась заранее и в данном варианте измерений соответствовала 5 мин. Для упрощения процесса сравнения уровней воды и температуры в скважинах с количеством землетрясений за определенный период времени в скважинной системе записей полученных данных было установлено абсолютное время GMT, все записи сведены в единое время с 25.06. 09:45:00 по 19.08.2013 19:35:00 соответственно.

При визуальном анализе изменений уровня воды в скважине “KrivoyRog” легко обнаруживается резкое изменение уровня в начале августа 2013 г. (рис. 3, а). На графике уровня воды в скважине “Kiev” (рис. 3, б) такое изменение не зафиксировано, но отмечается уменьшение осцилляции уровня воды после 10 августа 2013 г. Это может быть связано с геологическими параметрами структуры скважин, их глубиной, а также временным изменением объема современной неотектонической деформации.

Визуальный анализ графиков временного изменения температуры в скважинах (см. рис. 2) затруднителен вследствие высокочастотных шумовых осцилляций измеренных значений температуры воды в скважине. Для устранения влияния осцилляций выполнена сплайн-интерполяция разными методами (С-сплайн для температуры воды в скважине “KrivoyRog” (см. рис. 3, а) и Bezier-сплайн метод – в скважине “Kiev” (рис. 3, б))

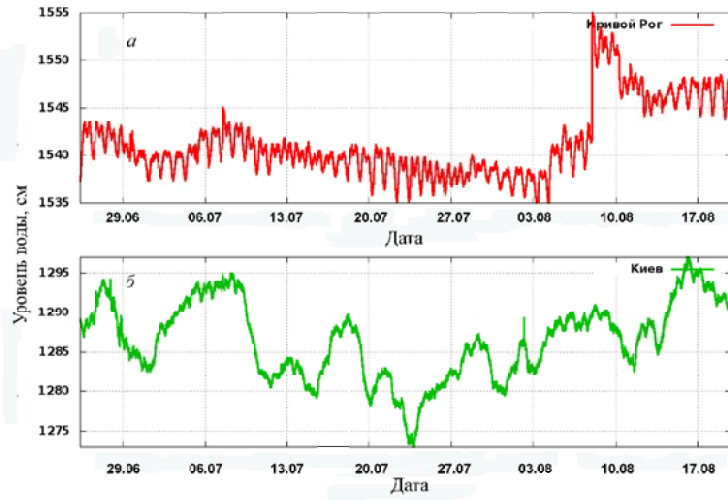


Рис. 1. Временные изменения уровней воды в скважинах “KrivoyRog” (а) и “Kiev” (б) за общий период времени с 25.06.2013 09:45:00 по 19.08.2013 19:35:00

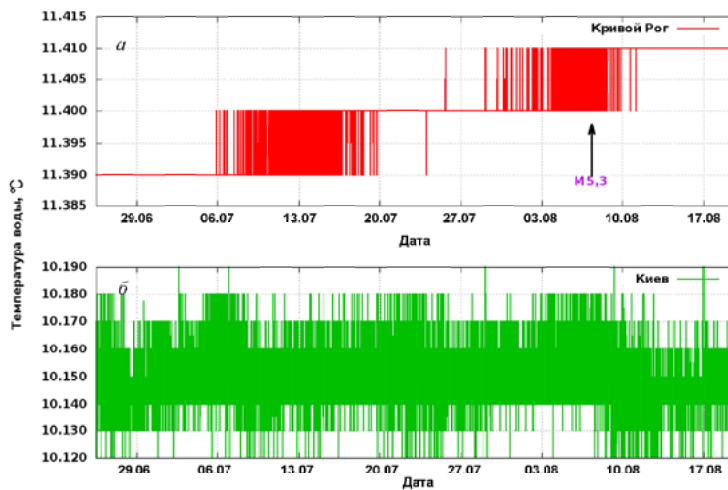


Рис. 2. Временные изменения температуры воды в скважинах “KrivoyRog” (а) и “Kiev” (б) за общий период времени с 25.06.2013 09:45:00 по 19.08.2013 19:35:00

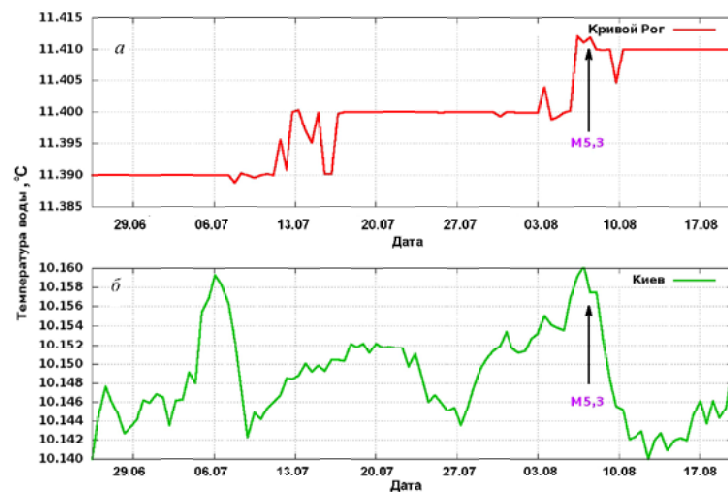


Рис. 3. Сглаженные сплайн-интерполяцией временные изменения температуры воды в скважинах “KrivoyRog” (а) и “Kiev” (б) за общий период времени

входных значений температуры, что позволило более четко выявить реальные изменения этих значений за общий и единый по времени период измерений с 25.06. 09:45:00 по 19.08.2013 19:35:00, составляющий 1329,83 ч, или 55,41 сут. Период времени в любых значениях (сутки, часы, минуты, секунды) вычислен с помощью специальной функциональной программы **date** [8], которая применяется для высокоточного вычисления и преобразования временных значений, что представляет собой важную программную функцию при математической работе с временными данными. Например, после преобразования стартовых и конечных дат начала и конца измерений уровня воды и ее температуры в скважинах “KrivojRog” и “Kiev”, с помощью этой программы в секунды с начала 01.01.1970 00:00:00 UTC легко вычислить другие по длительности значения периода наблюдений ( $1\ 376\ 940\ 900\ с - 1\ 372\ 153\ 500\ с = 1329,83\ ч = 55,41\ сут$ ).

**Землетрясения и уровень воды.** Анализ временных изменений параметров скважин “KrivojRog” и “Kiev”, таких как уровень воды и ее температура (см. рис. 1, 3), показал, например, что уровень воды в скважине “KrivojRog” резко возрастает по амплитуде за короткий период времени. Полагают, что такие изменения параметров скважин связаны с процессами реализации землетрясений [5, 6, 2, 10] и обусловлены изменениями пространственно-временных распределений деформаций неотектонических структур, вызванных реализацией землетрясений разной магнитуды – не меньше 6,5 и выше.

При сравнительном анализе записей уровня воды и ее температуры в скважинах “KrivojRog” и “Kiev” на трех графиках (рис. 1, а; 3, а, б) хорошо видны синхронные резкие изменения их значений за короткий период времени. С 03.08 по 10.08.2013 г. уровень воды в скважине “KrivojRog” изменился от 1542 до 1555 (на 13 единиц), в сква-

жине “Kiev” – от 1283 до 1291 (на 8 единиц), температура поднялась на 0,013 °С в скважине “KrivojRog” и на 0,006 °С – в скважине “Kiev”. При доверии результатам в опубликованных исследованиях [3], где показано, что изменения уровней воды связаны с реализацией сильных землетрясений, возникла необходимость найти ближайшее землетрясение со значительной магнитудой, время реализации которого близко ко времени резких изменений уровней воды и ее температуры в скважинах “KrivojRog”, “Kiev”.

Для любых информационных компьютерных систем поиска, сравнения, анализа и накопления величин любого типа существуют так называемые базы данных, которые позволяют легко и быстро выполнять необходимые процессы достаточно большого объема. В Институте геофизики НАН Украины создан автоматизированный программный комплекс для работы с базой данных MySQL [9], что дает возможность автоматически получать и сохранять необходимые параметры недавно происшедших землетрясений, публикуемые на сайте [7], а также делать из нее выборки по определенным структурам запросов, таких как временные периоды, географические диапазоны по долготе и широте, глубине и магнитуде и др.

Широкий поиск землетрясений в такой информативной базе данных MySQL с автоматизированными системами запросов позволил оптимально приблизиться ко времени резкого изменения уровня воды в скважине и ее температуры, а также найти ближайшее по времени к изменению уровня воды землетрясение. В итоге было выбрано землетрясение в Греции с магнитудой 5,3, которое произошло 07.08.2013 г. 09:06:51, так как время его реализации наиболее близко к времени резкого изменения уровня воды в скважине “KrivojRog” (рис. 4) [4]. Отметим, что после реализации японского землетря-

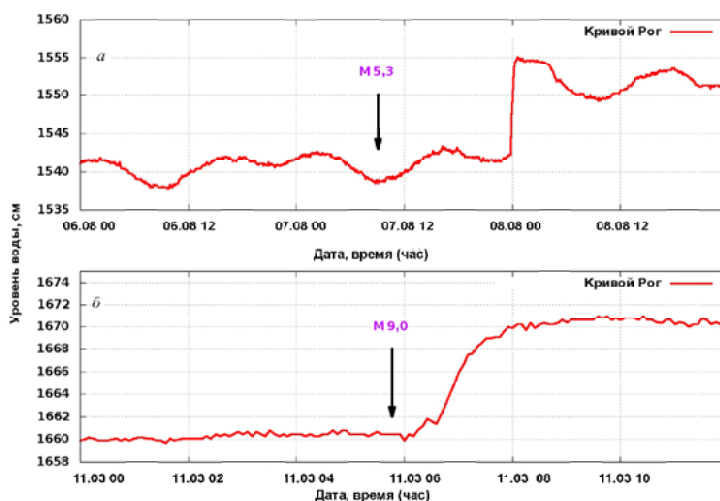


Рис. 4. Распределение по времени реализаций греческого землетрясения с магнитудой 5,3 (а) и японского землетрясения с магнитудой 9,0 (б), а также уровня воды в скважине “KrivojRog”

сения с магнитудой 9,0 уровень в скважине “KrivoyRog” достиг максимума за 2 ч, а после землетрясения в Греции – за 15 ч (рис. 4).

При сравнении этих временных интервалов возникает вопрос: Чем обусловлена столь значительная разница времени по длительности его периода – более чем в 3 раза? Первая и основная гипотеза, объясняющая такую временную разницу следующая: геотектоническое строение сейсмоактивных зон Греции и Японии существенно различается по размерам, строению и степени разрушенности. Экспериментальным подтверждением такого подхода могут служить существенные различия в распределении землетрясений этих сейсмоактивных областей по энергии и времени, что подтверждается диапазонами значений максимальных и минимальных магнитуд сейсмических событий Греции и Японии. Если для Японии средне-статистическое сейсмическое событие с магнитудой менее 4,5 – большая редкость и среднее значение магнитуды землетрясений за неделю составляет примерно 5,5, то для Греции среднее значение маг-

нитуды землетрясения за неделю равно не более 3,7, а землетрясение с магнитудой более 5,0 происходит очень редко. Это статистическое распределение средних значений максимальных магнитуд землетрясений за определенный период для рассматриваемых территорий обусловлено их тектоническим строением – территория Греции расположена над остатками древнего Тетиса с субокеаническим типом земной коры, а японский тип геоструктуры объединяет в своем составе крупные острова и мощную материковую кору, достигающую десятков километров, и является более сейсмоактивным [11].

Первичный визуальный анализ гистограмм распределения количества греческих сейсмических событий и процессов изменений уровней воды и ее температуры в скважинах “KrivoyRog” и “Kiev” (рис. 3, 5, 6) указывает на наличие некой параллельной по времени зависимости этих процессов, которая выражается в следующем:

- максимум энергии сейсмической последовательности (землетрясение с магнитудой М 5,3)

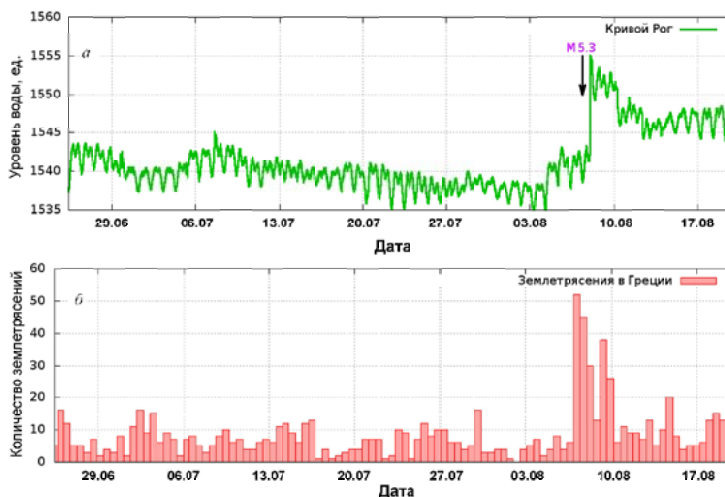


Рис. 5. Изменения по времени уровня воды в скважине “KrivoyRog” (а) и временное распределение землетрясений Греции (б) до и после основного с магнитудой 5,3, отмеченного стрелкой

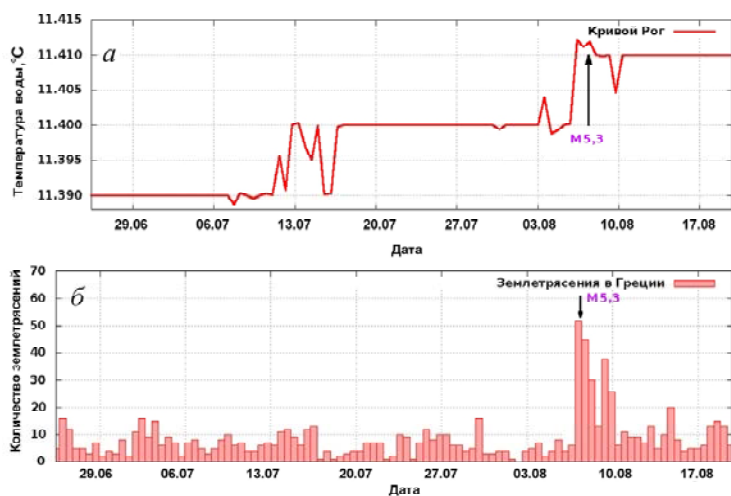


Рис. 6. Изменения по времени температуры воды в скважине “KrivoyRog” (а) и временное распределение землетрясений Греции до и после основного с магнитудой 5,3, отмеченного стрелкой (б)

по времени приходится на начало уменьшения температуры в обеих скважинах (см. рис. 3);

- максимум всей сейсмической последовательности совпадает по времени с максимальным значением температуры воды в обеих скважинах (см. рис. 3);
- динамика процесса минимизации температуры воды в обеих скважинах совпадает по времени с аналогичным поведением во времени количества греческих сейсмических событий (см. рис. 6);
- аналогичный процесс минимизации уровня воды в скважине “KrivoyRog” совпадает по времени с уменьшением количества сейсмических событий в Греции (см. рис. 5);
- после реализации всех активных сейсмических событий Греции стабилизируются уровни воды и значения температуры в обеих скважинах.

Все перечисленные выше выводы в эмпирическом варианте получены путем интерпретации прямых или косвенных временных зависимостей параметров скважины с реализацией сейсмического процесса в Греции за равный промежуток времени. Для более убедительного доказательства наличия этих зависимостей требуется провести математический расчет корреляционных коэффициентов.

**Корреляционный анализ.** Для подтверждения наличия связи или ее отсутствия между двумя процессами используется корреляционный анализ временных рядов, в котором вычисляется коэффициент корреляции, подтверждающий или опровергающий взаимовлияние процессов. Коэффициент корреляции может иметь значение от  $-1$  до  $+1$ . По значениям рассчитанного коэффициента корреляции можно судить о наличии либо отсутствии стохастической зависимости следующим образом:

- от 0 до  $\pm 0,3$  – отсутствует;
- от  $\pm 0,3$  до  $\pm 0,5$  – слабая;
- от  $\pm 0,5$  до  $\pm 0,7$  – умеренная;
- от  $\pm 0,7$  до  $\pm 1$  – сильная.

Если коэффициент корреляции больше нуля, то зависимость прямая, если меньше нуля – обратная. Если коэффициент равен  $\pm 1$  – связь между величинами является функциональной. Для расчета коэффициента корреляции  $r_{xy}$  используется формула

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где в качестве переменных  $x$  или  $y$  могут использоваться значения уровня воды, температуры и количества землетрясений за весь период наблюдения параметров воды в двух скважинах.

При расчете коэффициентов корреляции следует учитывать, что процессы реализации землетрясений в греческой сейсмоактивной зоне и процессы деформации районов расположения скважин для наблюдения изменений временных свойств воды в ней имеют разную геологическую природу. Для выявления наиболее четкой временной связи этих процессов и подтверждения их наличия с помощью коэффициента корреляции необходимо использовать разные по длительности интервалы времени, что позволит наиболее достоверно найти реальную связь разных по природе геодинамических процессов.

Для расчета истинных значений коэффициента корреляции между изменениями скважинных параметров в двух точках наблюдений по разным интервалам времени и количеством греческих землетрясений производилось сглаживание данных из скважин “KrivoyRog” и “Kiev” по разным интервалам времени – от 1 до 200 ч.

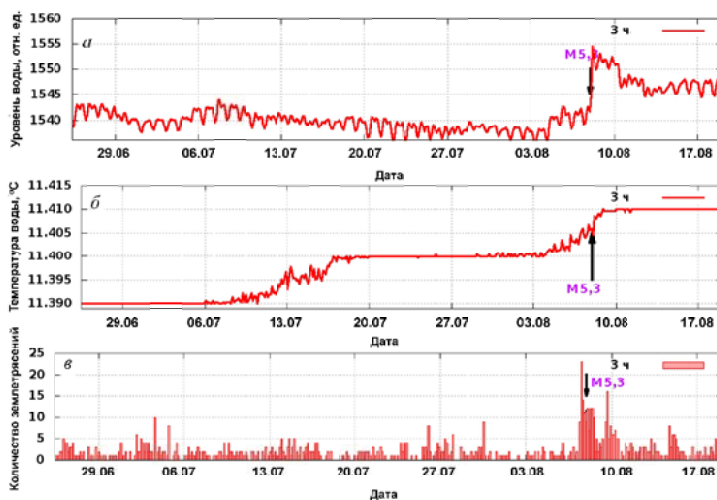


Рис. 7. Изменения по времени уровня воды в скважине “KrivoyRog” (а), ее температуры (б) и временное распределение (в) землетрясений Греции со сглаженным периодом времени в 3 ч. Основное событие (М 5,3) отмечено стрелкой



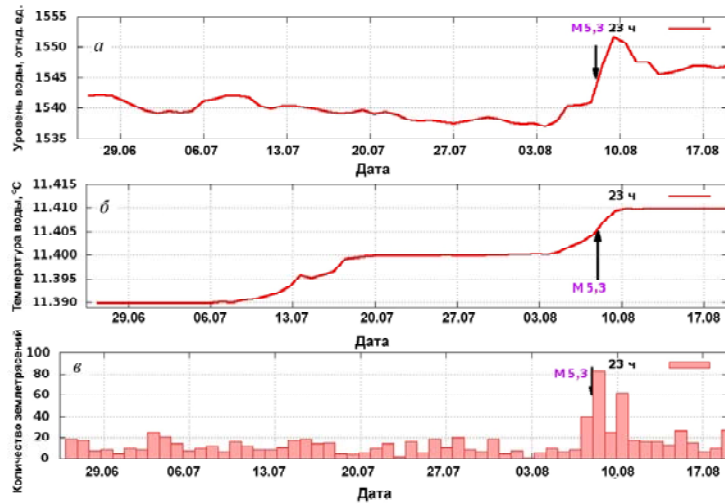


Рис. 8. Изменения по времени уровня воды в скважине “KrivojRog” (а), ее температуры (б) и временное распределение (в) землетрясений Греции со сглаженным периодом времени в 23 ч. Основное событие (M 5,3) отмечено стрелкой

При одночасовом сглаживании интервала наблюдений в обеих скважинах количество данных составляло 1330, при 200-часовом их оставалось уже только 7.

На рис. 7, 8 показаны сглаженные данные о количестве землетрясений, уровне воды и ее температуре для скважины “KrivojRog” за разные периоды усреднений – от 1 до 200 ч. Наиболее интересным результатом визуального анализа этих графиков различных временных наблюдений может быть изменение усредненного количества событий в сторону их уменьшения перед реализацией основного греческого землетрясения с магнитудой M 5,3 и понижения уровня воды в скважине “KrivojRog” перед этим землетрясением, синхронное по времени.

Рассмотрим результаты расчетов коэффициента корреляции (1) между уровнем воды и ее температурой в скважине “KrivojRog” (рис. 9) и процессом реализации землетрясений в Греции с 25.06.2013 09:45:00 по 19.08.2013 19:35:00.

Сравнение коэффициента корреляции между уровнем воды, ее температурой и количеством землетрясений за определенный интервал времени в разных скважинах показало, что он достигает максимума при временном интервале для сглаживания, равном 83 ч (рис. 9) для обоих параметров скважины. Тем не менее для понимания, почему коэффициент корреляции параметров для скважины “Kiev” имеет малое значение (порядка 0,3) в процессе подготовки греческого землетрясения, рассмотрим временной ряд землетрясений до реализации основных событий с магнитудой M 5,3 (см. рис. 1, б).

Согласно сравнительному анализу трех временных процессов с задержкой времени параметров скважины “Kiev” в 83 ч (см. рис. 3, б), их изменение происходит в противофазе до момента реализации последовательности землетрясений, а затем становится синфазным. Кроме того, уровень воды в скважине понижался (до 27 июля) до момента его повышения после реализации основ-

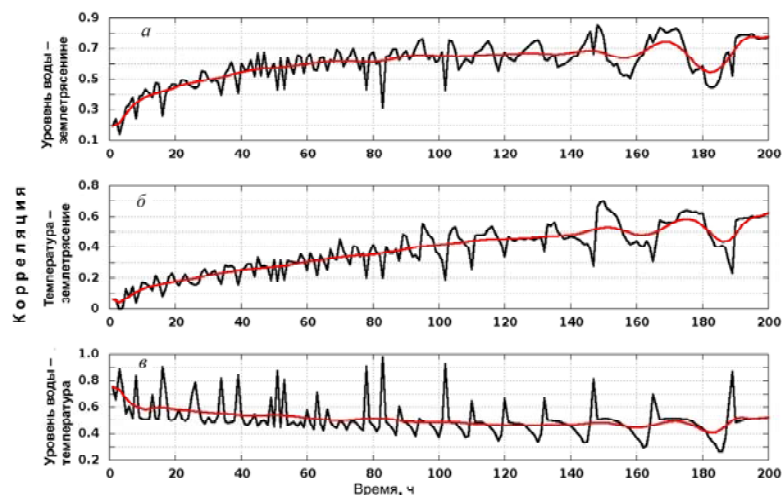


Рис. 9. Зависимость коэффициента корреляции между уровнем воды (а), ее температурой (б) в скважине “KrivojRog” и количеством землетрясений за разный период времени сглаживания, а также корреляции между уровнем воды и ее температурой (в)

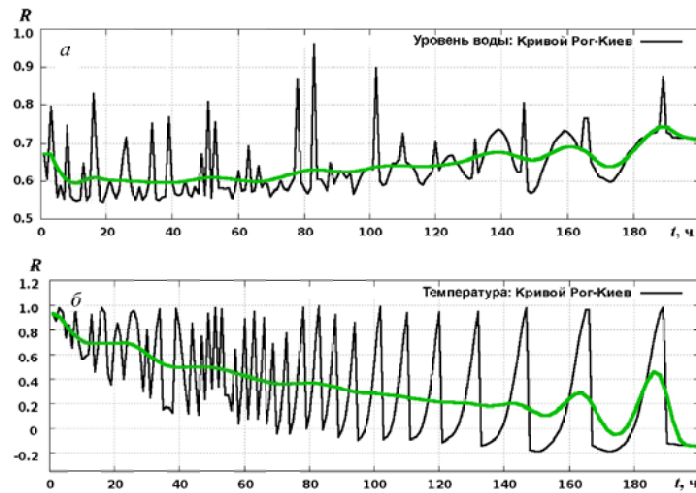


Рис. 10. Зависимость коэффициента корреляции  $R$  между уровнями воды (а) и их температурой (б) в скважинах “KrivojRog” и “Kiev” за разный период времени сглаживания – от 1 до 200 ч

ного землетрясения. Наличие синхронного по времени тренда снижения уровня воды в двух скважинах и в то же время низкая величина корреляции связи динамики уровня воды в скважине “Kiev” с процессом реализации слабых сейсмических событий перед основным землетрясением требуют более точных доказательств существования этих связей. Для подтверждения или опровержения этого предположения были вычислены коэффициенты корреляции между прямыми процессами изменений уровней воды и ее температуры в скважинах “KrivojRog” и “Kiev” при однозначном усреднении значений, как и при расчете количества землетрясений.

Сравнение коэффициентов корреляции (рис. 10) между уровнем воды и температурой при учете их значимости показало, что существует достоверная связь между этими параметрами при временном сглаживании в интервале времени 83 ч. При таком усреднении связь параметров двух скважин достаточно высокая, что подтверждается

коэффициентом корреляции 0,97 (рис. 10). На основании изложенного сделан вывод, что отрицательный тренд уровня воды в скважине “Kiev” (см. рис. 1, б) также связан с процессом подготовки греческого землетрясения с магнитудой  $M 5,3$ .

**Спектральный анализ.** Спектральный анализ временных изменений уровней воды в скважинах “KrivojRog” и “Kiev” проверен стандартным способом преобразования Фурье при предварительном удалении длиннопериодного тренда с помощью линейной регрессии (рис. 11, 12). На рис.11 представлены графики спектров для скважин “KrivojRog” и “Kiev” в широкой полосе частот – 0 до 0,001 666 67 Гц. Предварительный анализ вычислений показал некоторое различие в распределении по частотам максимальных значений частотно-временных преобразований. Для более глубокого анализа диапазон частот был сужен до необходимого предела – от 0,000 01 до 0,000 03 Гц. На рис. 12 номерами и стрелками обозначены частоты, при которых БПФ принимает максимумы.

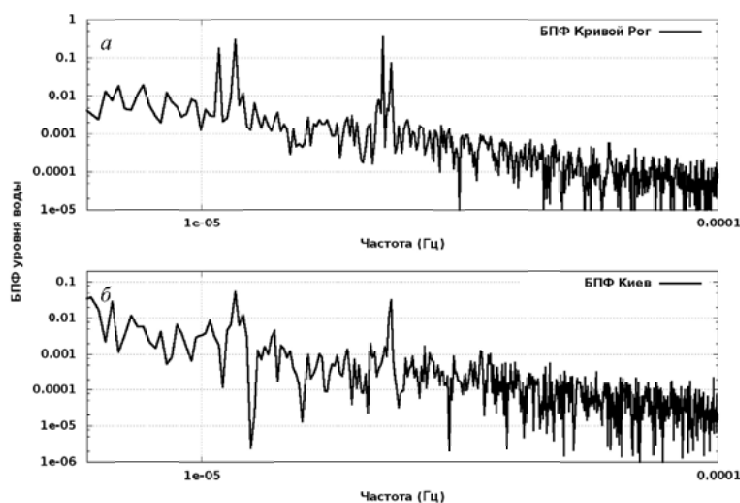


Рис. 11. Спектральный анализ временных рядов уровня воды в скважинах “KrivojRog” (а) и “Kiev” (б) за весь период наблюдений

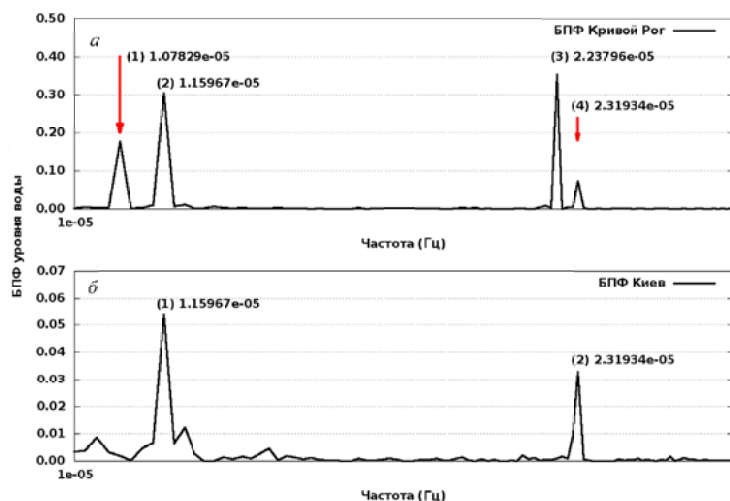


Рис. 12. Основные максимальные значения амплитуд спектров уровней воды в скважинах “KrivojRog” (а) и “Kiev” (б)

**Частоты и времена периодов для максимальных значений амплитуд БПФ колебаний уровней воды в скважинах “KrivojRog” и “Kiev”**

№ пп.	Скважина “KrivojRog” (рис. 12, а)		Скважина “Kiev” (рис. 12, б)	
	Частота (Гц)	Период (с, ч)	Частота (Гц)	Период (с, ч)
1	$1,07829 \cdot 10^{-5}$	92739,43; <b>25,76</b>	$1,15967 \cdot 10^{-5}$	86231,43; 23,95
2	$1,15967 \cdot 10^{-5}$	86231,43; 23,95	$2,31934 \cdot 10^{-5}$	43115,71; 11, 98
3	$2,23796 \cdot 10^{-5}$	44683,55; <b>12,41</b>	–	–
4	$2,31934 \cdot 10^{-5}$	43115,71; 11,98	–	–

Численные значения этих частот с их привязкой к соответствующим скважинам приведены в таблице.

Для понимания наличия дополнительных частот колебаний уровня воды в скважине “KrivojRog” (в данных из скважины “Kiev” они отсутствуют), расположенных левее основных значений частот, необходимо произвести их перерасчет в часы, минуты и секунды. Перерасчет для скважины “KrivojRog” показал следующее: максимум (1) равен 25,76 ч, что составляет разницу в 1 ч 48 мин 36 с с суточным периодом. Максимум БПФ (3), который отсутствует на данных скважины “Kiev”, имеет значение временного интервала в 25 мин 48 с соответственно. Эти значения времени периодов основных колебаний уровня воды и их пиков БПФ не являются кратными, поскольку их отношение нецелое и равно 4,2. Таким образом происхождение дополнительных частот колебаний уровня воды в скважине “KrivojRog” остается неизвестным и требует проведения дополнительных исследований.

**Выводы.** В результате исследований временных свойств гидрогеодинамики (уровня воды и ее температуры) и связи их изменений с процессами подготовки и реализации греческого землетрясения 7 августа 2013 г. в скважинах “KrivojRog” и “Kiev” можно прийти к следующим заключениям.

1. Глубина и геоструктура скважины – основные и ключевые качественные и количественные параметры системы долгопериодных геофизических измерений для получения наиболее достоверной информации о современных процессах деформации земной коры в современных неотектонических условиях.

2. Устройства для измерений гидрогеодинамических процессов деформаций скважин фирмы “Eijkelkamp Agrisearch Equipment BV” [12] довольно чувствительные и могут обеспечивать необходимые возможности для проведения исследований процесса подготовки землетрясений.
3. Корреляционный анализ позволяет с достоверностью при определенном уровне его значимости подтвердить или опровергнуть наличие прямой связи изменений гидрогеодинамических параметров различных скважин с процессом подготовки и реализации землетрясений.
4. Использование динамически изменяющихся периодов наблюдений в скважинах дает воз-



возможность оптимально точно найти связь параметров скважины с реальным процессом подготовки землетрясений, которые характеризуются своими собственными временными периодами.

5. Совпадение значений коэффициентов корреляции между собственными и внешними парными процессами каждой исследованной скважины позволяют использовать обнаруженный убывающий тренд греческих землетрясений как одну из наиболее достоверных по вероятности систем прогноза и других землетрясений.
6. Сдвиг по времени максимального значения уровня воды и момента реализации землетрясения в Греции с магнитудой  $M 5,3$  связан с фор- и афтершоковой последовательностью землетрясений, период окончания реализации которой совпал с подъемом уровня воды в скважине "KrivojRog".
7. Расчет коэффициента корреляции для синхронных параметров двух скважин "KrivojRog" и "Kiev" и его высоких значений (до 0,9) при усреднении их по времени в пределах 83 ч подтверждает наличие реальной связи между этими двумя точками наблюдений.

Результаты исследований временной гидродинамики скважин "KrivojRog" и "Kiev" показывают, что необходимо создание автоматизированной единой системы сбора и проведения системного анализа различных параметров скважин с помощью математического аппарата при исследованиях различных процессов сейсмоактивности в разных геотектонически активных регионах с целью более успешного прогнозирования землетрясений с более высокой вероятностью, чем прогноз только по одной точке наблюдений и только одним методом.

1. Гриц Г.Н. Некоторые результаты наблюдений за режимом подземных вод на Камчатке в связи с поиском предвестников сильных землетрясений / Гриц Г.Н., Сугробов В.М., Хаткевич Ю.М. // Вулканология и сейсмология. — 1983. — № 4. — С. 62–71.
2. Копылова Г.Н. Оценка сеймопрогностической информативности данных уровнемерных наблюдений на скважине E1, Камчатка (по данным наблюдений

1996–2007 гг.) // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока. Тр. науч.-техн. конф. Т. 2. — Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. С. — 24–28.

3. Копылова Г.Н. Сейсмогидрогеологические эффекты сильнейших землетрясений (на примере Камчатского региона) // Проблемы современной сейсмогеологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии / Копылова Г.Н., Пинегина Т.К., Смолина Н.Н. // Материалы Всерос. совещ. — Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. Т. 1. — С. 166–172.
4. Копылова Г.Н. Влияние сейсмичности на режим подземных вод (по данным специализированных наблюдений в сейсмоактивных районах мира) // Подземная гидросфера: Материалы Всерос. совещ. по подземным водам Востока России. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, — 2006. — С. 178–179.
5. Пигулевский П.И. Использование данных мониторинга гидродеформационных характеристик подземных вод для прогнозирования тектонических процессов в массивах горных пород / Пигулевский П.И., Свистун В.К., Толкунов А.П. // Науч. тр. УкрНИИМИ НАН Украины. Вып. 5, ч. 2 / Под ред. А.В. Анциферова. — Донецк, 2009.
6. Серафимова Ю.К. Среднесрочные предвестники сильных ( $M 6,6$ ) землетрясений Камчатки 1987–2007 гг.: ретроспективная оценка их информативности для прогноза / Серафимова Ю.К., Копылова Г.Н. // Вулканология и сейсмология. — 2010. — № 4. — С. 3–12.
7. Earthquake Information. — 2013 // <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/>
8. MacKenzie D. // User Commands. Print or set the system date and time. — March, 2012 // <http://unixhelp.ed.ac.uk/CGI/man-cgi?date>.
9. MySQL open source database. — 2013 // <http://www.mysql.com/products/>.
10. Gallowayb D.L. Water-level changes induced by local and distant earthquakes at Long Valley caldera, California. Evelyn Roeloffsa, Michelle Sneedb / D.L. Gallowayb, M.L. Soreyc, C.D. Farrard, J.F. Howled, J. Hughese // J. Volcanology and Geothermal Res. — 2003. — Vol. 127, iss. 3–4. — P. 269–303.
11. Sperner B. Tectonic stress in the Earth's crust: advances in the World Stress Map project / B. Sperner, B. Muller, O. Heidbach, D. Delvaux, J. Reinecker, K. Fuchs // New Insights into Structural Interpretation and Modeling. — London: Geol. Soc., Spec. Publ., 2102. — P. 101–116.
12. <http://www.diver-water-level-logger.com/diver-water-level-loggers/mini-diver.html>

## ЗЕМЛЕТРУС В ГРЕЦІЇ 7 СЕРПНЯ 2013 Р. І ДИНАМІКА ГІДРОГЕОДЕФОРМАЦІЙ СВЕРДЛОВИН В УКРАЇНІ

С.В. Щербіна

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,  
пр. Палладіна, 32, Київ 03680, Україна, e-mail: nohup@ukr.net

Розвиток автоматизованої геофізичної комп'ютерної системи дослідження змінення локальних короткострокових неотектонічних процесів, спричинених активізацією глобальної системи загальних тектонічних деформацій, може сприяти визначенню джерел цих змін і успішному здійсненню фізичної і математичної інтерпретації указаних процесів. Тимчасові змінення рівня і температури води в свердловинах Дніпропетровської геофізичної експедиції "Дніпрогеофізика" та Інституту геофізики НАН України та їх причини досліджено за допомогою кореляційної функції для точного підтвердження або спростування зв'язку подібних процесів з підготовкою та реалізацією грецького землетрусу 7 серпня 2013 р.

**Ключові слова:** землетруси, свердловина, рівень води у свердловині, температура води у свердловині, кореляційна функція, гідрогеодеформація, неотектоніка.

## AUGUST 7, 2013 GREEK EARTHQUAKE AND DYNAMICS OF HYDROGEODEFORMATIONS OF WELLS IN UKRAINE

S.V. Shcherbina

Institute of Geophysics by S.I. Subbotin name NAS of Ukraine,  
ave Palladin, 32, Kiev 03680, Ukraine, e-mail: nohup@ukr.net

An automated computer system for geophysical studies of changes in short-term local neotectonic processes, caused by the activation of a global system of general tectonic deformations, can help to clarify the causes of these changes and to successfully carry out physical and mathematical interpretation of these complex processes. Temporal behavior of the level and temperature of water in the wells of Dnipropetrovsk Geophysical Expedition (DGE) "Dneprogeofizika" and of the Institute of Geophysics (IG) NAS, and the causes of the abrupt changes are presented in this article as research results, using the correlation function to accurately confirm or deny the connection between incipency of the processes and their actualization in August 7, 2013 Greek earthquake.

**Keywords:** earthquake, well, the water level in the well, the water temperature in the well, the correlation function, hydrogeodeformation, neotectonics.

### References:

1. Gric G.N. *Nekotorye rezul'taty nabljudenij za rezhimom podzemnyh vod na Kamchatke v svyazi s poiskom predvestnikov sil'nyh zemletrjasenij* [Some results of observations of the groundwater regime in Kamchatka in connection with the search for precursors of strong earthquakes]. *Vulkanologija i seismologija* [Volcanology and Seismology], 1983, № 4, pp. 62-71.
2. Kopylova G.N. *Ocenka sejsmoprognozticheskoy informativnosti dannyh urovnemernykh nabljudenij na skvazhine E1, Kamchatka (po dannyh nabljudenij 1996-2007 gg.)* [Prognostic assessment of seismic data informativeness level observations on the well E1, Kamchatka (according to observations 1996-2007)]. *Geofizicheskij monitoring i problemy sejsmicheskoy bezopasnosti Dal'nego Vostoka. Tr. nauchno-tehn. konf. T. 2. Petropavlovsk-Kamchatskij: GS RAN* [Proc. Inter. Conf. "Geophysical monitoring and seismic safety problems of the Far East"]. Petropavlovsk-Kamchatskiy, 2008, pp. 24-28.
3. Kopylova G.N. *Sejsmohidrogeologicheskie jeffekty sil'nejshih zemletrjasenij (na primere Kamchatskogo regiona)* [Seismic hydrogeological effects of the strongest earthquakes (on the example of the Kamchatka region)]. *Problemy sovremennoj sejsmogeologii i geodinamiki Central'noj i Vostochnoj Azii. Mater. vseross. Soveshhanija* [Proc. Inter. Conf. "Problems of modern seismology and geodynamics of Central and East Asia"]. Irkutsk: *IZK SO RAN*, 2007, T. 1, pp. 166-172.
4. Kopylova G.N. *Vlijanie sejsmichnosti na rezhim podzemnyh vod (po dannyh specializirovannykh nabljudenij v sejsmoaktivnykh rajonah mira)* [Influence of seismicity in the groundwater regime (according to specialized observations in seismically active areas of the world)]. *Podzemnaja gidrosfera: Materialu. Vseross. sovesh. po podzemnym vodam Vostoka Rossii* [Proc. Inter. Conf. "Underground hydrosphere: Materials. All-Russian Conference on Groundwater East Russia"]. Irkutsk, *Izd-vo IrGTU*, 2006, pp. 178-179.
5. Pigulevskij P.I., Svistun V.K., Tolkunov A.P. *Ispol'zovanie dannyh monitoringa gidrodeformacionnykh harakteristik podzemnyh vod dlja prognozirovanija tektonicheskikh processov v massivah gornyh porod* [Monitoring data hydrodeformation characteristics of groundwater for the prediction of tectonic processes in rock mass]. *Nauch. trudy UkrNIMI NAN Ukrainy. Pod red. A.V. Anciferova* [Scientific papers UkrNIMI NASU. Edited by A.V. Antsiferov]. Doneck, 2009, issue 5, part 2.
6. Serafimova Ju.K. Kopylova G.N. *Srednesrochnye predvestniki sil'nyh (M 6.6) zemletrjasenij Kamchatki 1987-2007 gg.: retrospektivnaja ocenka ih informativnosti dlja prognoza* [Medium-term precursors of strong (M 6.6) earthquake in Kamchatka

region 1987-2007.: retrospective evaluation of their informativeness for the forecast]. *Vulkanologija i seismologija* [Volcanology and Seismology], 2010, № 4, pp. 3-12.

7. Earthquake Information. Available at: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/> (accessed 11 January 2014)
8. David MacKenzie. *User Commands. Print or set the system date and time*. Available at: <http://unixhelp.ed.ac.uk/CGI/man-cgi?date>. (accessed 11 January 2014).
9. MySQL open source database, 2013. Available at: <http://www.mysql.com/products/>.- (Accessed 11 January 2014).
10. Galloway D.L., Soreyc M.L., Farrard C.D., Howled J.F., Hughese J., Roeloffsa E., Sneed M.. Water-level changes induced by local and distant earthquakes at Long Valley caldera, California. *Journal Volcanology and Geothermal Res.*, 2003, vol. 127, issue. 3-4, pp. 269-303.
11. Sperner B., Muller B., Heidbach O., Delvaux D., Reinecker J. & Fuchs K. Tectonic stress in the Earth's crust: advances in the World Stress Map project. New Insights into Structural Interpretation and Modeling. London, *Geol. Soc., Spec. Publ.*, 2102, pp. 101-116.
12. Mini-Diver the original water level logger and datalogger. Available at: <http://www.diver-water-level-logger.com/diver-water-level-loggers/mini-diver.html> (accessed 11 January 2014).

*Поступила в редакцию 09.12.2013 г.*

*Received 09/12/2013*