

УДК 550.36; 551.24

## О ПРИЧИНАХ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЛЕБАНИЙ В СКВАЖИНЕ kun-1 (о. КУНАШИР)

© 2017 г. Д.Ю. Демежко, А.К. Юрков

Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

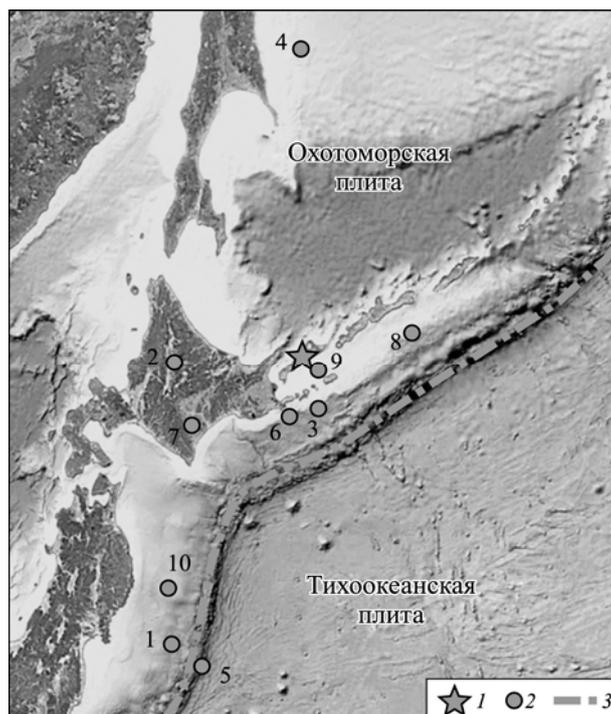
Рассмотрены результаты температурного мониторинга в 300-метровой скважине kun-1 (о. Кунашир) в 2011–2015 гг. К ранее наблюдавшимся здесь температурным вариациям, обусловленным приливными деформациями, свободной тепловой конвекцией и деформационными процессами, связанными с подготовкой и реализацией тектонических землетрясений, с ноября 2011 г. добавились квазипериодические температурные колебания с амплитудой до 0.3 °С и периодом колебаний 14–26 ч. Зарегистрировано 5 циклов таких колебаний продолжительностью от 2 месяцев до полугода. Каждый цикл был инициирован землетрясением с магнитудой  $M > 2.5 \lg(R)$ , где  $R$  – эпицентрального расстояние (км). По своим характеристикам колебания уникальны и ранее никем не были описаны. Выдвинуты предположения о возможной связи зарегистрированных колебаний с инерционными течениями океана либо с гидротермальными процессами в земных недрах. Обнаруженное явление требует дальнейшего изучения не только как объект фундаментальной науки, но и как признак неизвестного ранее типа геодинамической активности, которая может представлять значительную угрозу населению района.

*Ключевые слова:* геотермия, скважинный температурный мониторинг, температурные колебания, землетрясения, гидротермальные системы, инерционные течения, о. Кунашир.

PACS 91.35.Dc, 91.30.Px, 91.40.Ge, 92.10.A

### Введение

С 2007 г. в пос. Южно-Курильск (о. Кунашир) в 300-метровой наблюдательной скважине kun-1 функционирует система геотермического мониторинга Института геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН на основе регистратора АИТ и косы термисторных датчиков (разработка Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН [Казанцев, Дучков, 2008]). Полученные данные свидетельствуют о значительной нестационарности теплового поля по всему стволу скважины в этом сейсмически и вулканически активном районе (рис. 1). Ранее проведенный анализ [Демежко и др., 2010, 2012а, б; Миндубаев, Демежко, 2012] показал, что температурные колебания с периодичностью от нескольких десятков минут до нескольких месяцев и амплитудой от нескольких тысячных до нескольких десятых градуса связаны



**Рис. 1.** Расположение скв. kun-1 (1) и эпицентров наиболее значительных землетрясений, произошедших в 2011–2015 гг. (2)

3 – Курильский глубоководный желоб – зона субдукции Тихоокеанской плиты. Цифры – номера землетрясений, приведенных в таблице, там же см. характеристики землетрясений и температурную реакцию на них в скв. kun-1

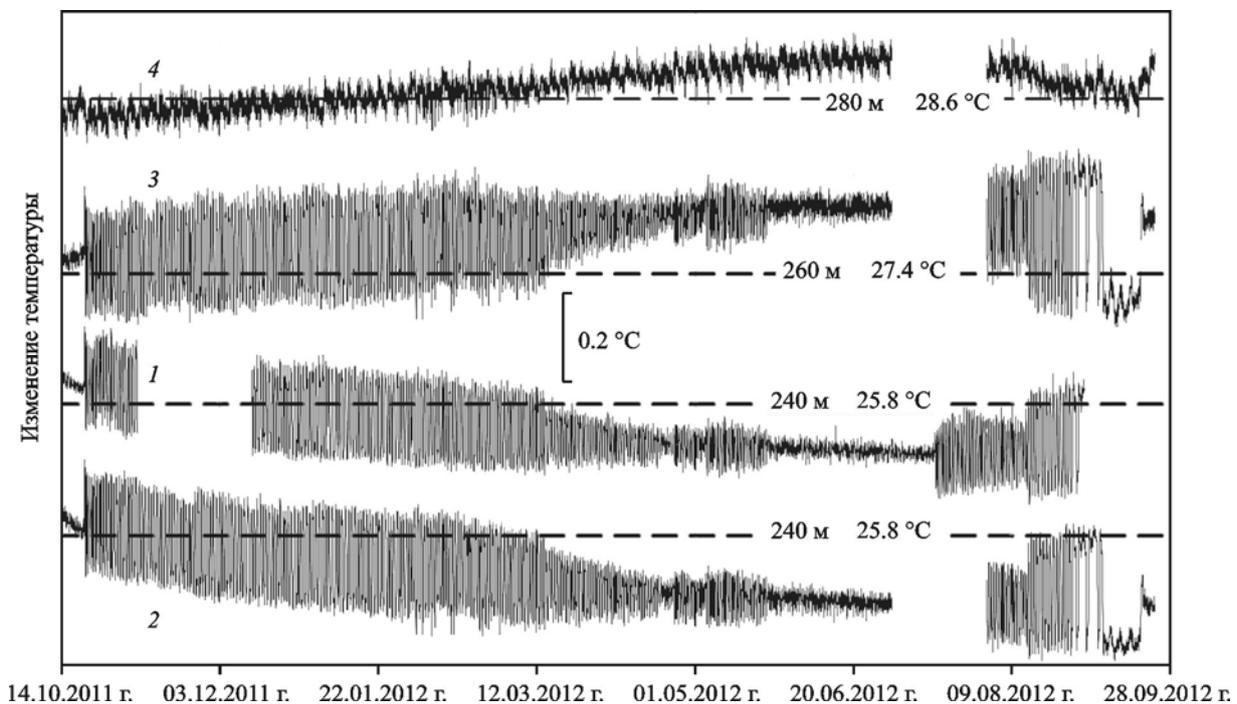
с движениями жидкости как внутри скважины, так и в незацементированном заколонном пространстве. В свою очередь, движения жидкости порождаются: 1) приливными воздействиями; 2) свободной тепловой конвекцией внутрискважинной жидкости; 3) деформациями водонасыщенной среды в районе скважины в процессе подготовки и реализации тектонических землетрясений. Наиболее отчетливо «тектонический» температурный сигнал проявлялся на глубине 240 м (максимальной до 2011 г.). Приливная деформационная чувствительность температурного поля была оценена величиной  $2 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}/\text{нанострейн}$ . Статистический анализ около 2000 землетрясений за период 2007–2011 гг. (сайт Геологической службы США (United State Geological Survey, USGS): <http://earthquake.usgs.gov>) показал, что реакция температурного поля в скв. kun-1 на тектонические события определяется пороговым значением гидродинамического критерия  $M/\lg(R) > 2.5$ , где  $M$  – магнитуда;  $R$  – эпицентральный расстояние, км [Roeloffs, 1998; King et al., 1999]. Как правило, моменту землетрясения соответствует локальный температурный минимум, отмечающий смену нисходящего течения подземных вод восходящим. Так, землетрясению 14.08.2008 г. ( $M = 5.3$ ;  $R = 132$  км; глубина эпицентра – 10 км), произошедшему на продолжении Малой Курильской гряды, предшествовало примерно недельное снижение температуры, достигшее к моменту землетрясения  $0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ . В момент землетрясения и последовавших за ним афтершоков происходили высокочастотные колебания температуры с амплитудой  $0.05 \text{ }^\circ\text{C}$ , а затем в течение двух суток – подъем температуры на  $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Перед катастрофическим землетрясением Тохоку 11.03.2011 г. ( $M = 9.0$ ;  $R = 700$  км) в течение 5.5 мес. также происходило медленное снижение температуры, составившее к моменту события  $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сразу после землетрясения температура поднялась на  $0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ . При этом изменения уровня воды в скважине

не наблюдалось, что указывает на локализацию движений подземных вод в заколонном пространстве скважины.

Осенью 2011 г. существующая система наблюдений была дополнена датчиками на глубинах 260 и 280 м. Кроме того, на глубине 240 м был установлен одноканальный автономный термометр на основе кварцевого резонатора (совместная разработка Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского и Института геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН). В сравнении с термисторными датчиками кварцевый термометр обеспечивает более высокие чувствительность ( $0.0005\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и стабильность градуировочных характеристик.

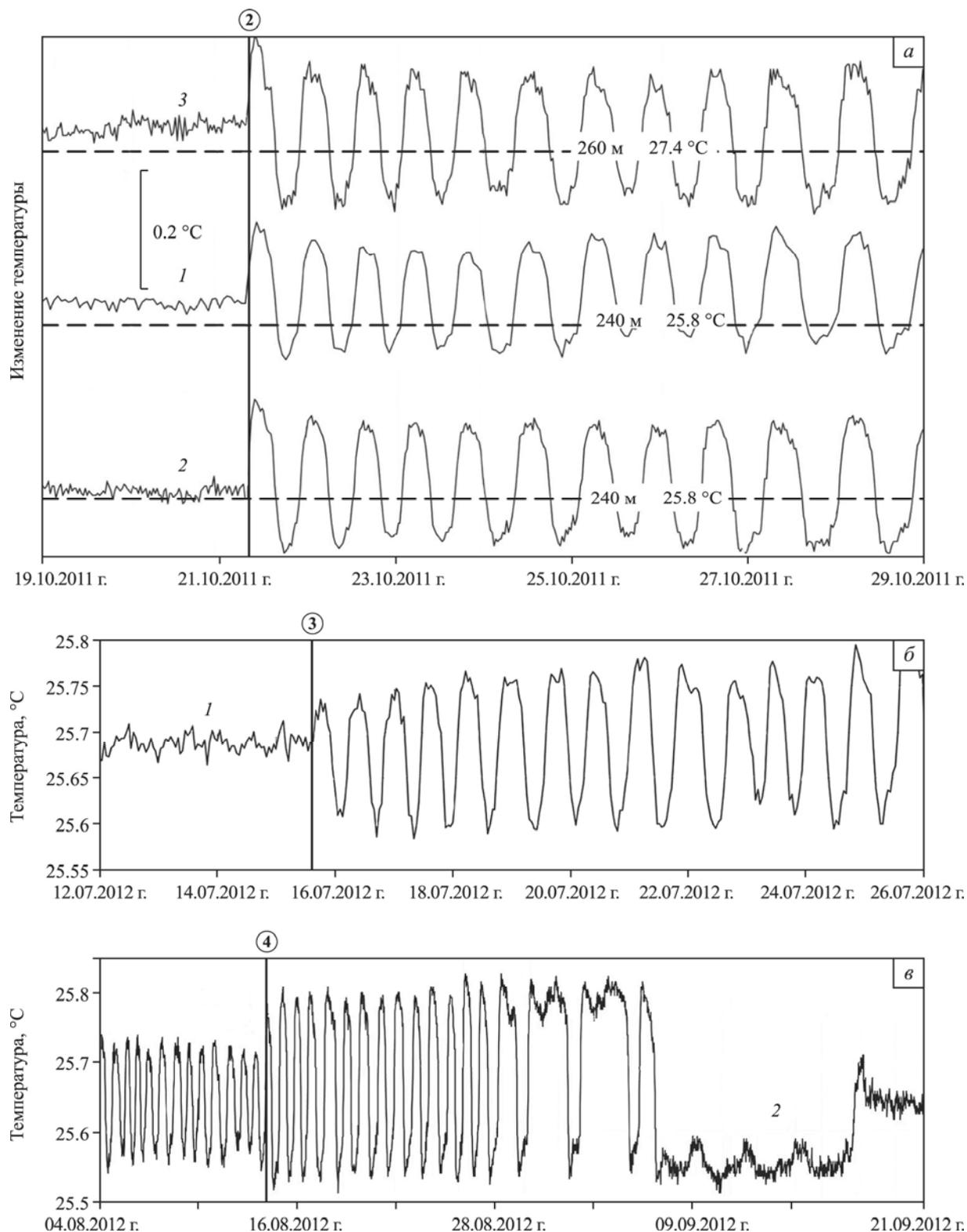
### Результаты наблюдений

После землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. температура в скв. куп-1 на глубине 240 м продолжала медленно снижаться, а на глубинах 260 и 280 м – повышаться. Характер поведения температуры изменился после землетрясения 21.11.2011 г. с  $M=6.1$  на о. Хоккайдо (таблица). Относительно плавные изменения температуры сменились периодическими колебаниями, происходившими синхронно в интервале 240–260 м с амплитудой до  $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  и с периодами от 16 до 26 ч (рис. 2, 3, а). Всего было зарегистрировано 5 циклов таких колебаний – продолжительностью от 2 мес. до полугода. Лишь включение в состав измерительного комплекса кварцевого термометра позволило надежно определить природный характер этих колебаний, в противном случае они были бы неминуемо отнесены к аппаратным помехам – столь необычным было их проявление. К середине мая 2012 г. первый цикл колебаний полностью прекратился. В этом



**Рис. 2.** Первый и второй циклы квазипериодических изменений температуры, зарегистрированные в скв. куп-1 с октября 2011 г. по сентябрь 2012 г. на глубинах 240–280 м кварцевым (1) и термисторными (2–4) датчиками

Пунктирные линии – уровни отсчета температур для каждой записи. Масштаб изменения температур обозначен вертикальным отрезком



**Рис. 3.** Детализация температурных записей первого и второго циклов температурных колебаний в скв. кп-1 в периоды проявления наиболее сильных землетрясений  
 а-в – соответственно землетрясения 2–4 согласно нумерации таблицы. Остальные усл. обозн. см. на рис. 2

цикле температурных колебаний, продолжавшемся более полугода, наблюдалось достаточно быстрое – в течение нескольких суток – увеличение периода с 16 до 25 ч и последующее медленное уменьшение до 17 ч. Одновременно с изменениями периода колебаний менялась и их амплитуда: к концу 2011 г., когда период колебаний увеличился до 22–25 ч, она достигла максимума – 0.15–0.17 °С, а затем стала падать. Вероятно, здесь имел место резонанс с приливными воздействиями.

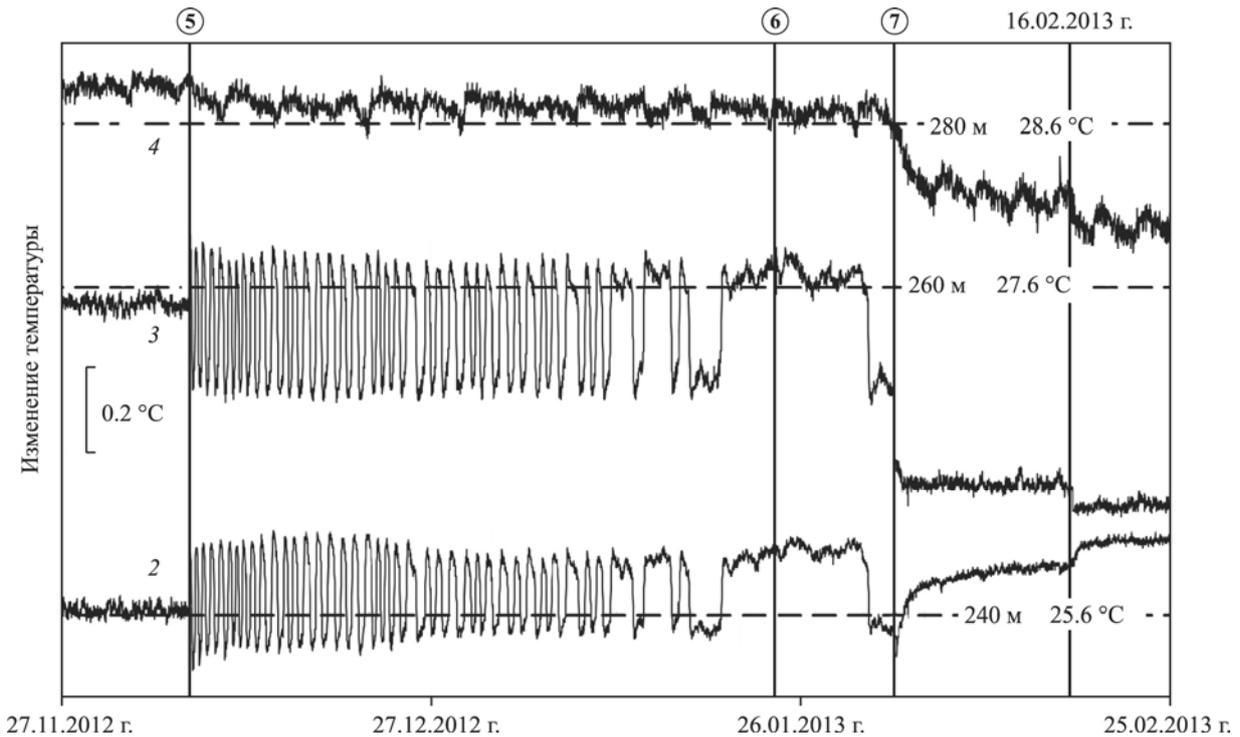
Следующий цикл колебаний был инициирован землетрясением  $M = 5.2$ , произошедшим 15.07.2012 г. к югу от Малой Курильской гряды (рис. 3, б и таблица). Так же, как и в первом цикле, амплитуда и период температурных колебаний в течение примерно 10 сут. возрастали, а затем – медленно уменьшались. Однако мощное глубокофокусное землетрясение 14.08.2012 г. с  $M = 7.7$  к востоку от о. Сахалин привело к резкому увеличению амплитуды и периода (рис. 3, в). Окончание второго цикла отличалось от предыдущего. С конца августа 2012 г. в колебаниях температуры стали наблюдаться пропуски – в течение нескольких периодов температура сохранялась на максимальном либо минимальном уровнях, а 19.09.2012 г. приняла средние значения (см. рис. 3, в). На этом колебания и закончились до декабря 2012 г.

Третий цикл колебаний также был инициирован землетрясением. Оно произошло 07.12.2012 г. к востоку от о. Хонсю (рис. 4, таблица). Характер колебаний в течение этого цикла не отличался от предыдущего. Так же в конце цикла наблюдались пропуски отдельных периодов, а в начале февраля 2013 г. колебания полностью прекратились.

Реакция температурного поля в скв. куп-1 на наиболее заметные  
( $M / \lg(R) > 2.46$ ) землетрясения\*

№ п/п	Дата	время UTC, ч:мин	$M$	$R$ , км	$h$ , км	Координаты, град.		$M/\lg(R)$	Реакция температурного поля
						с.ш.	в.д.		
1	11.03.2011 г.	05:46	9	700	30	38.30	142.37	3.16	Землетрясение Тохоку
2	21.10.2011 г.	08:02	6.1	271	187	43.89	142.48	2.51	Начало первого цикла колебаний
3	15.07.2012 г.	14:34	5.2	98	63	43.24	146.41	2.52	Начало второго цикла колебаний
4	14.08.2012 г.	02:59	7.7	641	583	49.80	145.06	2.62	Увеличение амплитуды и периода
5	07.12.2012 г.	08:18	7.3	700	31	37.89	143.95	2.57	Начало третьего цикла колебаний
6	23.01.2013 г.	21:34	5.2	99	59	43.09	145.68	2.61	Реакция отсутствует
7	02.02.2013 г.	14:17	6.9	263	105	42.76	143.11	2.85	Прекращение колебаний, «тектонический» сигнал
8	20.07.2014 г.	18:32	6.2	239	70	44.60	148.75	2.61	Начало четвертого цикла колебаний
9	18.09.2014 г.	05:56	4.8	42	78	43.85	146.31	2.95	Увеличение амплитуды
10	16.02.2015 г.	23:06	6.7	529	23	39.83	142.89	2.46	Начало пятого цикла колебаний

\*Характеристики землетрясений приведены по данным Геологической службы США (URL: <http://earthquake.usgs.gov>).



**Рис. 4.** Изменения температуры в третьем цикле колебаний, зарегистрированные в скв. kun-1 с ноября 2012 г. по февраль 2013 г. на глубинах 240–280 м

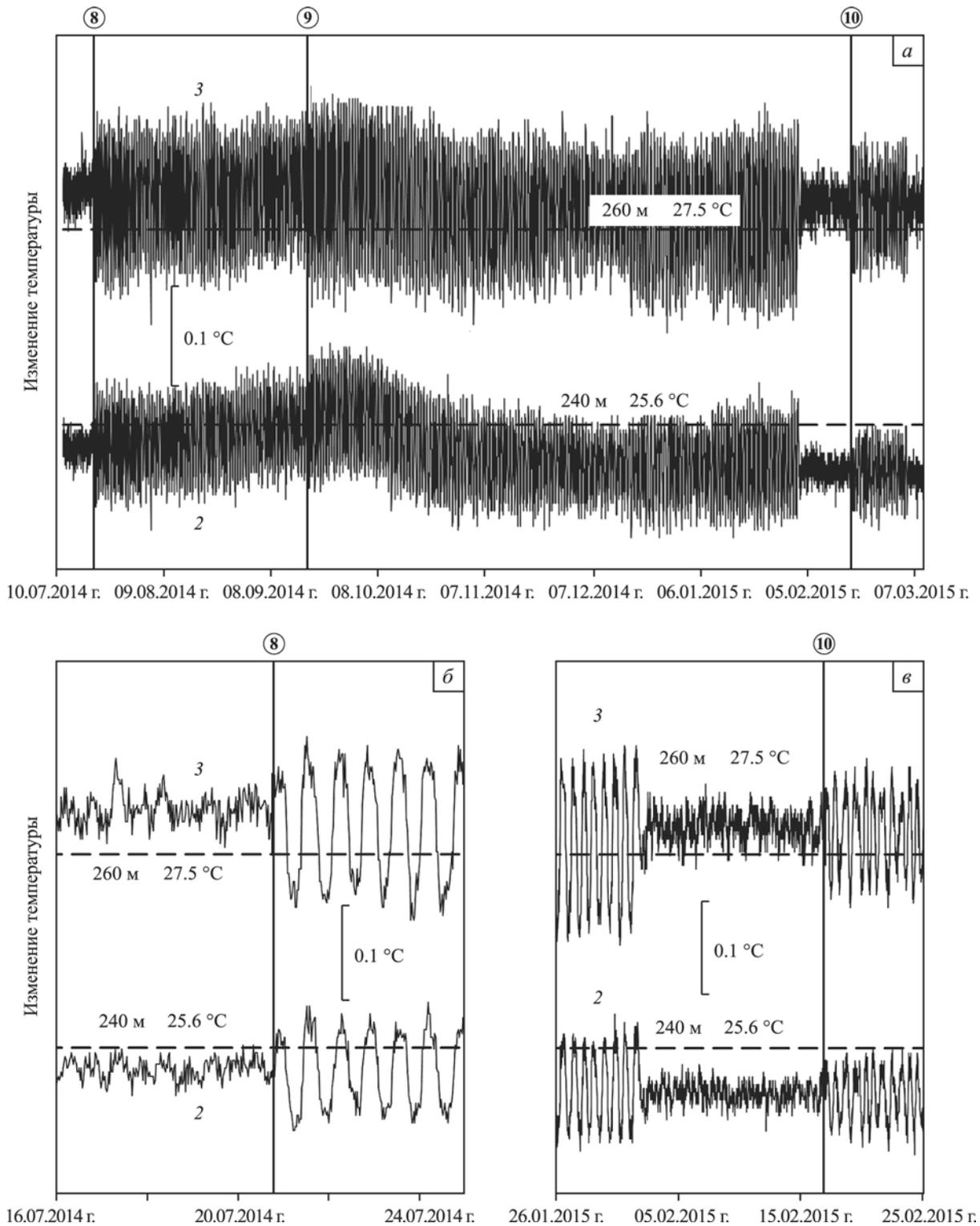
Усл. обозн. см. на рис. 2, 3. Характеристики землетрясения 16.02.2013 г.: время – 22 ч 17 мин UTC;  $M = 5.3$ ;  $R = 92$  км;  $h = 43$  км

Любопытно, что незадолго до этого произошло два значительных по величине гидродинамического критерия землетрясения (см. таблицу). Первое из них случилось 23.01.2013 г. в Тихом океане недалеко от г. Немуро на о. Хоккайдо и не было «замечено» колебательной системой скв. kun-1, второе (02.02.2013 г.) произошло непосредственно на о. Хоккайдо. Собственно оно и прекратило дальнейшие колебания.

После окончания третьего цикла квазипериодических колебаний не наблюдалось более года. За это время произошло несколько значительных землетрясений, косейсмическая реакция на которые не отличалась от той, что мы наблюдали в предыдущие годы, когда описываемых температурных колебаний не было: на глубине 240 м отмечалось косейсмическое повышение температуры, а на глубине 260 м – понижение. При этом «тектонический» сигнал на глубине 260 м был наиболее быстрым, что указывает на локализацию водоносного горизонта вблизи именно этой отметки.

Начало четвертого цикла связано с землетрясением 20.07.2014 г. ( $M = 6.2$ ), которое произошло к юго-востоку от о. Итуруп. Четвертый цикл продолжался более 6 мес. (рис. 5) и закончился неожиданно (без видимых изменений амплитуды и периода) 02.02.2015 г. В течение этого цикла случилось лишь одно незначительное, но близкое событие (18.09.2014 г.,  $M = 4.8$ ,  $R = 42$  км), приведшее к увеличению амплитуды колебаний.

Пятый, самый короткий цикл колебаний (см. рис. 5) начался 16.02.2015 г. после землетрясения с  $M = 6.7$  и закончился 03.03.2015 г. также без видимых причин.



**Рис. 5.** Изменения температуры в четвертом и пятом циклах колебаний, зарегистрированные в скв. kun-1 с июля 2014 г. по февраль 2015 г. на глубинах 240 и 260 м  
*a* – весь рассматриваемый период; *б, в* – соответственно для землетрясений **8** и **9** (см. таблицу).  
 Остальные усл. обозн. см. на рис. 2, 3

### Обсуждение результатов

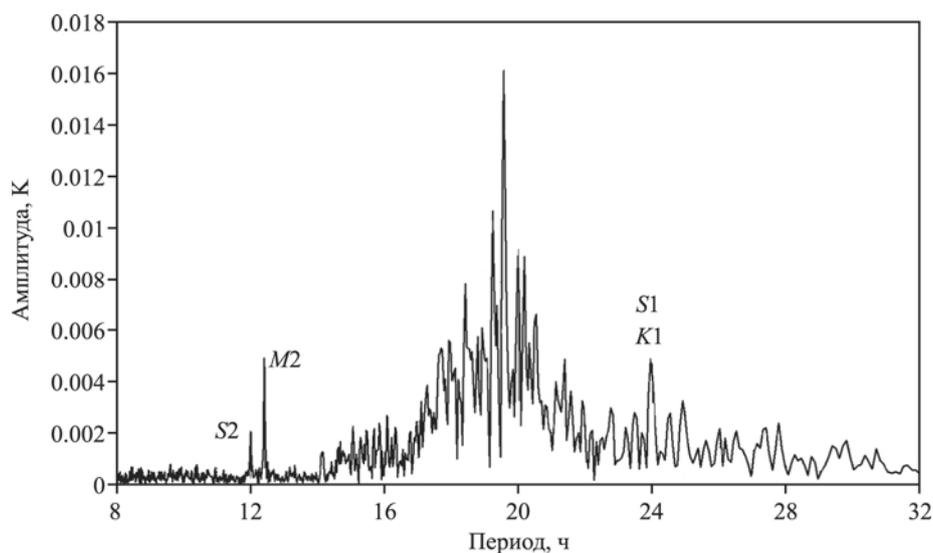
Наблюдение пяти циклов высокоамплитудных квазипериодических температурных колебаний в скв. kun-1 в 2011–2015 гг. позволяет отметить следующее.

1. Колебания возникли впервые в 2011 г. – через 7 мес. после катастрофического землетрясения Тохоку. В каждом из циклов колебания начинались после землетрясения, для которого значение гидродинамического критерия  $M/\lg(R)$  превышало 2.5. Исключение – пятый цикл, инициированный землетрясением с  $M/\lg(R) = 2.46$ . Амплитуда температурных колебаний (до 0.3 °С) сопоставима с наиболее мощным «тектоническим» сигналом от землетрясения Тохоку и более чем на порядок превышает амплитуду приливных колебаний ( $< 0.01$  °С).

2. Все циклы начинались в одной фазе (если аппроксимировать колебания синусоидой  $T = T_0 + \sin(\omega t + \varphi)$ , то в фазе  $\varphi = 0$ ), а прекращались – в произвольной.

3. Исследуемые колебания связаны с поступлением воды в заколонное пространство из водоносного горизонта, расположенного ниже 260 м, но выше 280 м. На это указывает синхронный характер колебаний на глубинах 240 и 260 м и отсутствие колебаний на глубине 280 м. Движение воды из этого горизонта возможно лишь вверх. Напротив, «тектонический» косейсмический сигнал связан с появлением избыточного давления в пласте, расположенном несколько выше отметки 260 м. Движение воды из этого пласта возможно как вверх, так и вниз, если там есть поглощающие пласты. При этом наблюдаются инверсные температурные аномалии: положительные – выше пласта, отрицательные – ниже.

4. На рис. 6 приведен амплитудный спектр температурных колебаний в четвертом, наиболее «ровном» цикле. Период квазипериодических колебаний лежит в пределах 14–26 ч. При этом верхнюю границу из-за влияния непериодических «тектонических» вариаций можно установить весьма приблизительно. Максимальная амплитуда соответствует периоду 19.5 ч. На фоне квазипериодических колебаний отчетливо выделяются приливные полусуточные ( $S_2$ ,  $M_2$ ) и суточные ( $S_1$ ,  $K_1$ ) волны. Приливные колебания уверенно регистрируются и в периоды, когда квазипериодические колебания отсутствуют.



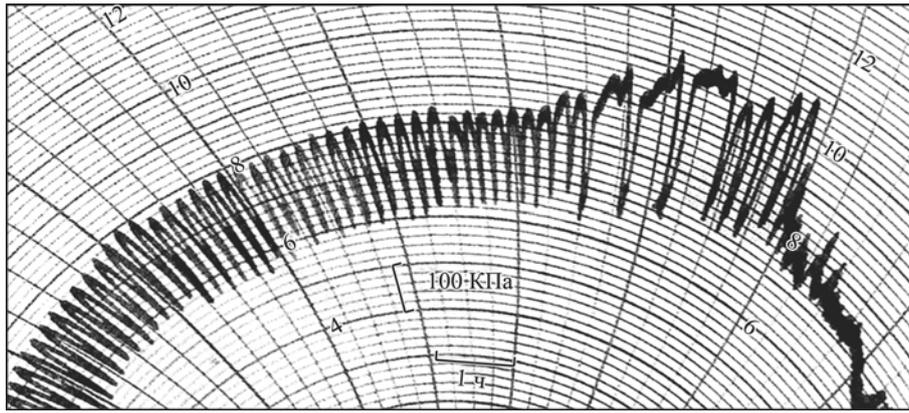
**Рис. 6.** Амплитудный спектр температурных колебаний, зарегистрированных в скв. kun-1 в четвертом цикле

Описываемые температурные колебания, по нашим сведениям, ранее никем не наблюдались. Их характеристики столь необычны, что позволяют высказать лишь предварительные соображения о природе этого явления. Вероятно, сами землетрясения не являются источником колебаний, а лишь обеспечивают водообмен между водоносными горизонтами через заколонное пространство скважины, изменяя (как правило, увеличивая) проницаемость пород. Прекращение колебаний может быть связано с естественными процессами залечивания трещин путем осаждения кремнезема из силикатных растворов. Рассмотрим несколько версий о возможных причинах квазипериодических колебаний.

**Версия I – инерционные течения океана.** Анализ приливных колебаний уровня воды в исследуемой скважине (см. [Копылова и др., 2007], где скважина описана как скв. 2272) не исключает гидравлическую связь водоносных горизонтов с океаном. Таким образом, периодические колебания давления в океане могут иметь температурный отклик в скважине. Помимо колебаний, связанных с океаническим приливом, проявляющихся на тех же частотах, что и приливы в твердой Земле, но запаздывающих по фазе, известны колебания так называемых инерционных течений, или инерционных волн [Морозов, 1985]. Частицы воды в этих течениях движутся по горизонтальным круговым орбитам с периодом  $\tau = 12/\sin\varphi$  (ч), где  $\varphi$  – географическая широта, и могут приводить к периодическим изменениям давления на дно океана. Для района расположения скв. куп-1 ( $\varphi = 44.035^\circ$  с.ш.)  $\tau = 17.3$  ч, что немного меньше наблюдаемого среднего значения периода температурных колебаний, равного 19.5 ч. Время жизни инерционных волн различными исследователями оценивается от 2–10 циклов (см. обзор в монографии [Бондаренко, 2012]) до 100 циклов и более [Munk, Phillips, 1968]. Сомнение в том, что именно этот источник является причиной квазипериодических температурных колебаний, вызывает отсутствие сезонности в их проявлении. С февраля по апрель вблизи западного побережья о. Кунашир широко распространены дрейфующие льды [Лоция..., 1974], препятствующие развитию инерционных течений. Однако первый и пятый циклы колебаний наблюдались именно в этот период.

**Версия II – геотермальные процессы.** Всего в 8 км от скважины находится действующий вулкан Менделеева с развитой гидротермальной системой. Периодические колебания давления пара с 2012 г. регулярно регистрируются в неработающей скважине на геотермальной станции «Менделеевская», расположенной на склоне вулкана. Период колебаний может составлять от первых минут до нескольких часов. На рис. 7 приведен фрагмент записи давления пара с периодом 5–7 мин. Характерной особенностью колебаний давления (как и описанных квазипериодических колебаний температуры) являются пропуски отдельных периодов незадолго до прекращения колебаний. Высоочастотные циклические изменения давления (до 700 периодов колебаний в сутки) отмечались в скважинах Паужетского [Аверьев, Сугробов, 1965] и Мутновского [Кирюхин и др., 2006] геотермальных месторождений Камчатки.

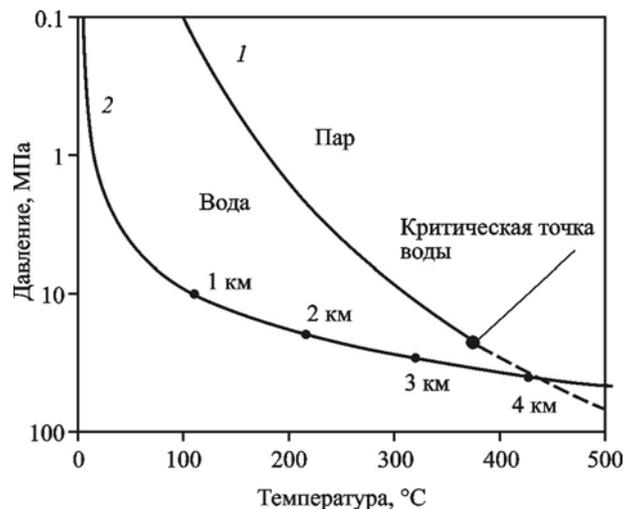
Наиболее изученной автоколебательной геотермальной системой являются гейзеры. Высказывались предположения о влиянии на периодичность извержений гейзеров атмосферного давления, земных приливов [Rinehart, 1972], землетрясений [Silver, Valette-Silver, 1992] и внутренних процессов [Rojstaczer et al., 2003], атмосферных осадков [Kiryukhin et al., 2010]. Численное моделирование показало, что эта характеристика весьма чувствительна к небольшим изменениям проницаемости в подводящем канале и окружающих породах [Ingebritsen, Rojstaczer, 1996] и все перечисленные процессы воздействуют на периодичность именно через изменение проницаемости. В работах [Husen et al., 2004; Manga, Brodsky, 2006] описана реакция гейзеров Йелоустонского



**Рис. 7.** Фрагмент записи изменения давления пара на устье неработающей скважины геотермальной станции «Менделеевская». Публикуется с разрешения руководства станции

национального парка на землетрясение Денали на Аляске (03.11.2002 г.,  $M = 7.9$ ,  $R = 3100$  км). Периодичность извержений гейзеров составляла от 2 до 16 ч. В большинстве случаев реакцией на землетрясение было резкое (в течение суток) уменьшение периода на 5–30 % вследствие увеличения проницаемости и последующее более медленное восстановление – возможно, вследствие выпадения осадков из силикатных растворов и залечивания трещин. В одном случае (гейзер Лон Пайн, Lone Pine geyser) уменьшения интервала не наблюдалось, а землетрясение привело к увеличению периода с 20 до 28 ч в течение трех недель.

Несмотря на наличие общих закономерностей, мы не можем пока однозначно связать наблюдаемые колебания в скв. куп-1 с геотермальными процессами вулкана Менделеева – все-таки расстояние до него значительно. Возможно, геотермальная система находится непосредственно в недрах под скважиной. Для ее функционирования необходимо наличие многофазного флюида. Прогноз температурного режима в районе скважины показывает, что температура критической точки воды  $T = 374$  °С достигается примерно на глубине 3.5 км (рис. 8). Давление здесь составляет 34 МПа, что на 12 МПа



**Рис. 8.** Прогнозное распределение температуры (1) и давления (2) в районе скв. куп-1 и фазовая диаграмма воды

Пунктир на диаграмме соответствует флюиду, содержащему диоксид углерода и хлорид натрия. Остальные пояснения см. в тексте

выше критического давления существования двухфазного флюида. Однако присутствие в воде диоксида углерода и хлорида натрия (до 5 %) позволяет продлить фазовую кривую вода–пар на большие глубины [Жатнуев и др., 1996]. И в этом случае на глубине 4 км уже возможно формирование парового резервуара.

Несомненно, описанное явление требует дальнейшего изучения – и в чисто научном плане, и как признак неизвестной геодинамической активности, которая может представлять значительную угрозу населению района.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность начальнику сейсмостанции «Южно-Курильск» В.Г. Корсунцеву за многолетнюю помощь в поддержании работоспособности аппаратуры температурного мониторинга и оперативную передачу данных.

### Литература

- Аверьев В.В., Сугробов В.М.* Естественные термопроявления на Паужетском месторождении // Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука, 1965. С. 31–43.
- Бондаренко А.Л.* Крупномасштабные течения и долгопериодные волны Мирового океана. [Электронный ресурс]. М., 2012. URL: [http://meteoweb.ru/articles/mono\\_bondarenko.pdf](http://meteoweb.ru/articles/mono_bondarenko.pdf)
- Демежко Д.Ю., Юрков А.К., Уткин В.И., Климишин А.В.* Исследование температурных вариаций в скважине kup-1 (остров Кунашир) // Докл. РАН. 2010. Т. 434, № 6. С. 811–816.
- Демежко Д.Ю., Юрков А.К., Уткин В.И., Климишин А.В.* О природе температурных вариаций в скважине kup-1 (о. Кунашир) // Геология и геофизика. 2012а. Т. 53, № 3. С. 406–414.
- Демежко Д.Ю., Юрков А.К., Уткин В.И., Щапов В.А.* Температурные изменения в скважине kup-1 (о. Кунашир), вызванные землетрясением Тохоку (11.03.2011 г.,  $M = 9.0$ ) // Докл. РАН. 2012б. Т. 445, № 2. С. 200–204.
- Жатнуев Н.С., Миронов А.Г., Рычагов С.Н., Гунин В.И.* Гидротермальные системы с паровыми резервуарами. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996. 183 с.
- Казанцев С.А., Дучков А.Д.* Аппаратура для мониторинга температуры и измерения теплофизических свойств мерзлых и талых пород // Междунар. конф. «Криогенные ресурсы полярных и горных регионов: Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения», г. Тюмень, 21–24 апреля 2008 г. Тюмень: ИКЗ СО РАН, 2008. С. 236–239.
- Кирюхин А.В., Корнеев В.А., Поляков А.Ю.* О возможной связи сильных землетрясений с аномальными изменениями давления в двухфазном геотермальном резервуаре // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6. С. 3–11.
- Копылова Г.Н., Куликов Г.В., Тимофеев В.М.* Оценка состояния и перспективы развития гидрогеодеформационного мониторинга сейсмоактивных регионов России // Разведка и охрана недр. 2007. № 11. С. 75–83.
- Лоция Охотского моря. Л.: Изд-во ГУ навигации и океанографии, 1974. Кн. 1406, вып. 1. 334 с.
- Миндубаев М.Г., Демежко Д.Ю.* Свободная тепловая конвекция в буровых скважинах: Численное моделирование и экспериментальные данные // Мониторинг. Наука и технологии. 2012. № 4. С. 12–18.
- Морозов Е.Г.* Океанские внутренние волны. М.: Наука, 1985. 151 с.
- Husen S., Taylor R., Smith R.B., Healsler H.* Changes in geyser eruption behavior and remotely triggered seismicity in Yellowstone National Park produced by the 2002  $M 7.9$  Denali fault earthquake, Alaska // *Geology*. 2004. V. 32(6). P. 537–540.
- Ingebritsen S.E., Rojstaczer S.A.* Geyser periodicity and the response of geysers to deformation // *J. Geoph. Res.: Solid Earth*. 1996. V. 101 (B10). P. 21891–21905.

- King C.-Y., Azuma S., Igarashi G., Ohno M., Saito H., Wakita H. Earthquake-related water-level changes at 16 closely clustered wells in Tono, Central Japan // J. Geoph. Res. 1999. V. 104, N B6. P. 13073–13082.
- Kiryukhin A.V., Rychkova T.V., Droznin V.A., Chernykh E.V., Puzankov M.Y., Vergasova L.P. Geysers valley hydrothermal system (Kamchatka): Recent changes related to landslide of June, 3, 2007 // Proc. WGC-2010. Bali, Indonesia, 2010.
- Manga M., Brodsky E. Seismic triggering of eruptions in the far field: Volcanoes and geysers // Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 2006. V. 34. P. 263–291.
- Munk W., Phillips N. Coherence and band structure of inertial motion in the sea // Rev. of Geoph. 1968. V. 6, N 4. P. 447–472.
- Rinehart J.S. Fluctuations in geyser activity caused by variations in Earth tidal forces, barometric pressure, and tectonic stresses // J. Geoph. Res. 1972. V. 77. P. 342–350.
- Roeloffs E.A. Persistent water level changes in a well near Parkfield, California, due to local and distant earthquakes // J. Geophys. Res. 1998. V. 103. P. 869–889.
- Rojstaczer S.A., Galloway D.L., Ingebritsen S.E., Rubin D.M. Variability in geyser eruptive timing and its causes: Yellowstone national park // Geoph. Res. Let. 2003. V. 30, N 18. DOI 10.1029/2003GL017853.
- Silver P.G., Valette-Silver N.J. Detection of hydrothermal precursors to large Northern California earthquakes // Science. 1992. V. 257. P. 1363–1368.

#### Сведения об авторах

**ДЕМЕЖКО Дмитрий Юрьевич** – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геофизики УрО РАН. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 100. Тел.: +7 (904) 164-86-25. E-mail: ddem54@inbox.ru

**ЮРКОВ Анатолий Константинович** – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Институт геофизики УрО РАН. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 100. Тел.: +7 (343) 267-95-19. E-mail: akyurkov@mail.ru

## ON THE ORIGIN OF QUASIPERIODIC TEMPERATURE VIBRATIONS IN THE WELL kun-1 (KUNASHIR ISLAND)

**D.Yu. Demezhko, A.K. Yurkov**

Institute of Geophysics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

**Abstract.** The results of temperature monitoring in a 300-meter well kun-1 (Kunashir Island) in 2011–2015 are considered. To the previously observed temperature variations caused by tidal deformations, free thermal convection and deformation processes associated with the nucleation and occurrence of tectonic earthquakes, quasi-periodic temperature fluctuations with an amplitude of up to 0.3 °C and an oscillation period of 14–26 hours have been added since November 2011. Five cycles of such fluctuations lasting from 2 to 6 months have been recorded. Each cycle was initiated by an earthquake with a magnitude  $M > 2.5 \lg(R)$ , where  $R$  is the epicentral distance (km). According to their characteristics, the oscillations are unique and have not previously been described by anyone. Assumptions have been made about the possible connection of the registered oscillations with the inertial currents of the ocean or with hydrothermal processes in the Earth's subsurface interior. The phenomenon discovered requires further scientific study not only as an object of interest to fundamental science. It can be a sign of an earlier unknown type of geodynamic activity with a significant threat to the population of the area.

**Keywords:** geothermy, borehole temperature monitoring, temperature oscillation, earthquakes, hydrothermal systems, inertial currents, Kunashir Island.