УДК 550.343

ОБ ИНФОРМАТИВНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА В СКВАЖИНАХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕКТОНИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Юрков А.К., Демежко Д.Ю., Уткин В.И. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. В работе представлены результаты анализа причин низкой эффективности гидрогеодинамического метода, в варианте измерения уровня столба жидкости по скважинам, при изучении изменений тектонического режима. Приведены примеры регистрации изменений геодинамической обстановки по вариациям температурных изменений в скважинах и изменениям уровня столба жидкости перед тектоническими событиями. Показаны преимущества температурных измерений по сравнению с измерением уровня столба жидкости.

Землетрясение, прогноз, уровень, мониторинг, температура.

INFORMATIVITY OF BOREHOLE TEMPERATURE MONITORING FOR TECTONIC REGIM INVESTIGATION

Yurkov A.K., Demezhko D.Yu., Outkin V.I. – Institute of Geophysics UB RAS, Yekaterinburg

Abstract. Low informativity of hydrogeodynamic method based on the water level measurements in boreholes for tectonic regime investigation is discussed. Examples of preseismic changes in water level and groundwater temperature show an advantage of the last one.

Earthquake, prognosis, level, monitoring, temperature.

Введение

Интерес к изучению геофизическими методами изменений геодинамического состояния земной коры возник в Институте геофизики (тогда геофизический сектор горно-геологического Института) в пятидесятые годы прошлого столетия. В 1953 году Ю.П. Булашевич (устное сообщение) провел натурные эксперименты в шахтах Кизеловского угольного бассейна с целью изучения информативности радона для прогнозирования внезапных выбросов газа при отработке угольных пластов. В начале девяностых годов прошлого века, в связи с проблемой горных ударов на шахтах Северо-Уральского бокситового рудника, в Институте геофизики возобновились работы по применению радона для прогнозирования динамических явлений. Именно 1991 год можно считать началом плановых работ в Институте по проблеме прогноза горных ударов и тектонических землетрясений на основе измерений изменения объемной активности почвенного радона. Накопленный теоретический и экспериментальный материал в результате крупномасштабных экспериментов на шахтах СУБРа, Северном Тянь-Шане, Курильских островах и Сахалине позволил составить определенные представления о деформационных процессах при подготовке тектонического события. В.И. Уткин показал, что основным видом деформации при подготовке тектонического события является деформация изгиба (Уткин, Юрков, 2008). При этом виде деформации в земных недрах могут образовываться зоны сжатия и зоны растяжения. Наличие таких зон позволило объяснить многие закономерности поведения объемной активности почвенного радона, в том числе и результаты эксперимента, проведенного в Калифорнии под руководством Chi-Yu King (Уткин, Юрков, 1997). Полученный в результате почти двадцатилетних исследований опыт позволил ответить на ряд вопросов, связанных с проблемой предвестников и прогноза землетрясений. В частности, стало возможным объяснить неудачное применение ряда используемых для прогнозирования геофизических методов. В первую очередь это касается гидрогеодинамического способа прогноза по измерению уровня жидкости в стволах скважин. Мнения о возможности осуществления прогноза, высказанные рядом ученых, зачастую диаметрально противоположны.

Имеется много публикаций, в которых убедительно доказывается невозможность какого-либо прогноза из-за наличия огромного количества трудно учитываемых факторов (Кондратьев, 2003). Тем не менее, во многих странах продолжаются работы по поиску надежных предвестников тектонических событий. Определенный импульс для активизации таких работ дают периодически происходящие в различных районах земного шара тектонические катастрофы. В России – на Камчатке и Сахалине, организованы филиалы Федерального центра прогнозирования землетрясений на базе учреждений РАН и ряда других организаций в основном геологического профиля (Гордеев, Салтыков, Серафимова, 2006). Результаты их работы представляют, кроме практического, большой научный интерес, особенно для оценки информативности и достоверности различных предвестников.

Постановка задачи

К настоящему времени известно более 200 физических явлений, которые так или иначе связаны с процессом подготовки тектонических событий. Возможности и применение каждого метода, основанного на том или ином явлении, имеют свои индивидуальные ограничения как со стороны технической реализации мониторинговых наблюдений, так и наличия четкого прогностического эффекта и надежности его регистрации. В работе (Гордеев, Салтыков, Серафимова, 2006) группой камчатских ученых приведены статистические данные об эффективности ряда предвестников из числа реализуемых в данном регионе. Приведенные результаты показывают, что наибольшей эффективностью обладают методы, основанные на измерениях ионосферных полей. На втором месте стоит радоновый предвестник. И, что интересно, в списке анализируемых методов не нашлось места гидрогеодинамическому способу, основанному на измерении уровня столба жидкости в скважинах (Гордеев, Салтыков, Серафимова, 2006), хотя его используют в качестве основного на большинстве наблюдательных полигонов в сейсмоактивных районах России и за рубежом. В чем же причины низкой эффективности гидрогеодинамического метода в этом регионе и есть ли возможности для ее повышения?

Результаты и их обсуждение

Основываясь на результатах работ, проведенных нами на полигонах Урала, Северного Тянь-Шаня, Сахалина и Курильских островов, причины, определяющие низкую эффективность гидрогеодинамического метода по измерению уровня столба жидкости, можно объединить в две группы (Демежко и др., 2010; Юрков и др., 2007; Demezhko et al., 2009).

К первой группе относятся причины геологической направленности, включающие в себя особенности геологического строения рассматриваемого региона. Это, прежде всего, наличие разломной тектоники, протяженность водоносных горизонтов, величины геотермического градиента и ряд других факторов.

Ко второй группе относятся причины, связанные с организацией наблюдений и использованием скважины как геофизического инструмента. Сюда можно отнести выбор информативного водоносного горизонта, герметичность обсадной колонны до гидрогеологического фильтра, отсутствие заколонной циркуляции скважинной жидкости, влияние метеофакторов и ряд других причин.

Первая группа причин накладывает ограничения на «дальнодействие» метода. В общем случае при формировании очага землетрясения передача изменения давления к наблюдательной скважине через поровое пространство, заполненное водой, осуществляется благодаря слабой сжимаемости жидкости. Но если между скважиной и горными породами, в которых происходит изменение объема порового пространства за счет деформационных процессов, находится проницаемая тектоническая зона, то она выступает как демпфер, и давление пластовой жидкости за пределы такой зоны практически не передается. То есть тектонические зоны служат своеоб-

разным экраном, не пропускающим изменение давления, возникающее в очаге готовящегося землетрясения, через подземную гидросферу. Отсюда следует, что «дальнодействие» метода определяется степенью тектонической нарушенности горных пород, находящихся между очагом готовящегося события и наблюдательной скважиной, т.е. фактически размерами монолитных блоков горных пород. Размеры таких блоков, ограниченных тектоническими зонами, редко превышают первые десятки километров. Поэтому не удивительно, что используемые в работе (Гордеев, Салтыков, Серафимова, 2006) для оценки эффективности землетрясения не отразились в гидрогеодинамическом поле, так как все они произошли на значительных расстояниях от наблюдательных станций. Вторым существенным ограничением «дальнодействия» метода является глубина достижения критической температуры воды, равной 374,1 ^{o}C. При такой температуре и давлении 217,7·105 Па вода переходит в пароводяную смесь, обладающую существенно большей сжимаемостью по сравнению с жидкой водой (Кикоин И., Кикоин А., 1963). Последнее обстоятельство затрудняет передачу давления за пределы области деформации. Глубина, на которой достигается такая температура, зависит от величины геотермического градиента в месте расположения наблюдательной скважины. Так, для условий Южных Курил при геотермическом градиенте 0,1 ^{o}C/м, эта температура в ряде случаев достигается уже на глубинах 6–8 км. Таким образом, причины первой группы ограничивают «дальнодействие» метода до размеров монолитных блоков и глубин очага землетрясений до 8–20 км. Естественно, что глубокофокусные события и неглубокие, с небольшой магнитудой, происходящие на расстоянии сотен километров, непосредственно не должны отражаться в гидрогеодинамическом поле.

Вторая группа причин связана с особенностью использования скважины как геофизического инструмента. Здесь нет никакой оговорки, так как именно благодаря наличию скважины мы имеем возможность наблюдать за изменениями гидравлического давления в различных водоносных горизонтах. Успешная реализация гидрогеодинамического метода возможна в том случае, если рабочий водоносный горизонт гидравлически связан с деформируемым блоком горных пород. Поэтому, хотя в качестве рабочего горизонта выбирается самый нижний, нет никакой гарантии, что он будет самым информативным, особенно в районах слабого развития осадочного чехла.

Следующим важным условием успешной реализации рассматриваемого метода является отсутствие заколонных перетоков, т.е. хорошего качества цементирования затрубного пространства. Это обстоятельство является практически неконтролируемым при подготовке скважины к измерениям. В скважинах, где отсутствует обсадка, изменение давления в одном из водоносных горизонтов может быть компенсировано за счет перетока жидкости в другой, без изменения положения уровня воды в ней. Таким образом, физические и геологические предпосылки применения гидрогеодинамического метода для прогноза землетрясений свидетельствуют о том, что этот метод является локальным с радиусом действия десятки (редко – первые сотни) километров и при небольших глубинах очагов землетрясений. Именно об этом свидетельствуют многочисленные опубликованные данные по поведению уровня столба жидкости в скважинах до, во время и после землетрясения. Один из примеров такого поведения гидрогеодинамического поля приведен на рис. 1 (Монахов, Хантаев, Сапрыгин, 1979).

Практически всегда регистрируются разнообразные вариации гидрогеодинамического поля, но только в редких случаях отмечается его закономерные изменения именно в момент тектонического события. В большинстве же случаев предвестникового эффекта не наблюдается, что, исходя из вышесказанного, вполне объяснимо. Высказанные соображения о локальности гидродинамического способа прогноза ни в коей мере не умаляют его достоинств.

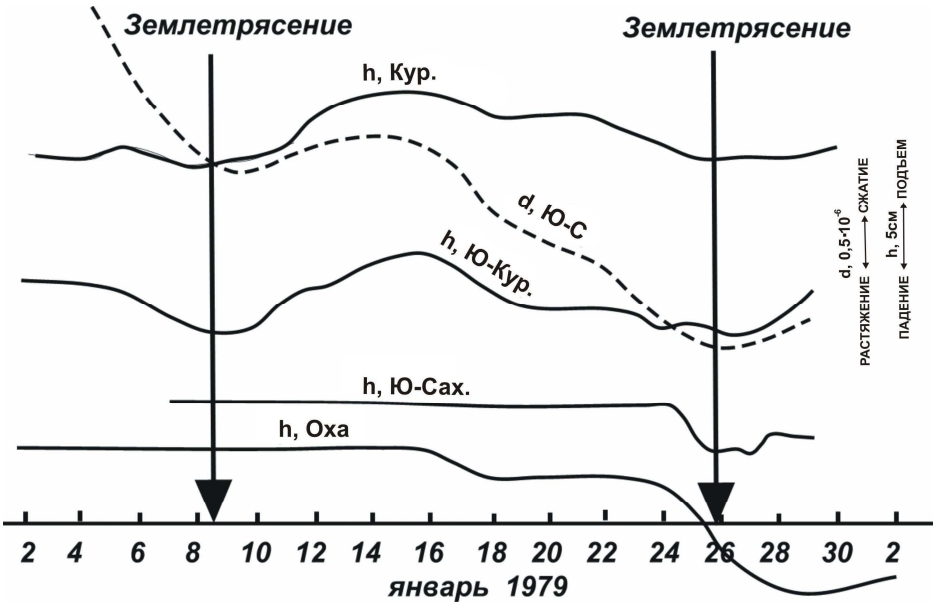


Рис. 1. Изменение уровня воды в скважинах (h) и деформация поверхности Земли (d) (Монахов, Хантаев, Сапрыгин, 1979)

Более того, именно его локальность является самой сильной стороной, так как появление предвестниковых изменений гидрогеодинамического поля свидетельствуют о готовящемся «близком» тектоническом событии, что является главным в пространственном прогнозе землетрясения. К этому следует добавить, что использование этого метода в режиме измерения только уровня столба жидкости не позволяет получить всю информацию, заложенную в изменениях гидрогеодинамического поля. Большей информативностью обладает модификация метода, основанная на измерениях движений жидкости в различных интервалах наблюдательной скважины. Такие наблюдения легко осуществляются путем измерения температуры жидкости стационарно расположенными по стволу скважины датчиками. На рис. 2 приведен фрагмент записи изменений температуры датчиками, стационарно расположенными на разных глубинах в наблюдательной скважине К-1 на острове Кунашир (Демежко и др., 2010). Поскольку изменения температуры датчиков связано с движением жидкости по стволу скважины (или за обсадной колонной), то можно сказать, что наиболее интенсивные движения жидкости происходит на глубинах 240, 120, 220 и 200 метров.

Интересно сравнить измерения температуры на глубине 40 метров с изменениями уровня столба жидкости в этой же сква-

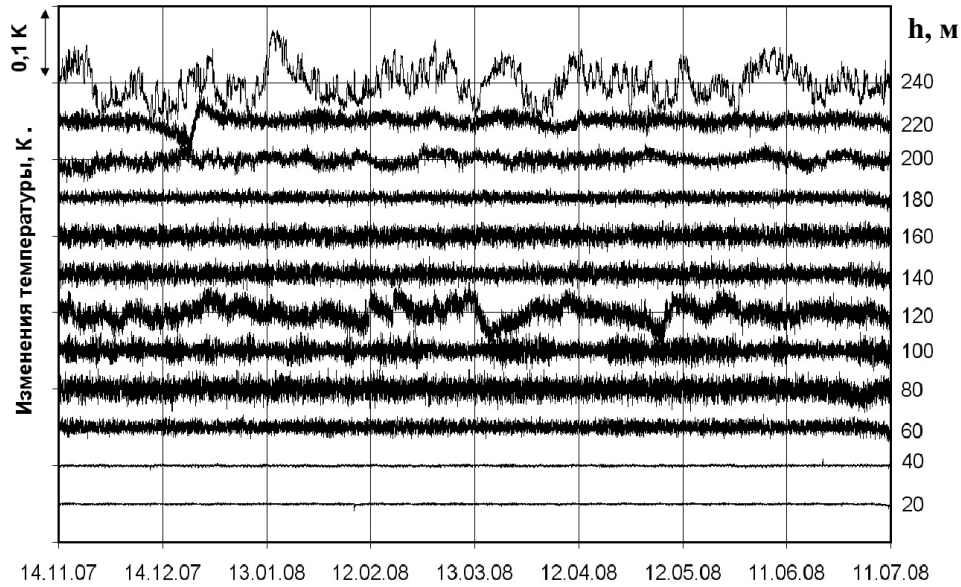


Рис. 2. Изменения температуры на различных глубинах (h) в скважине К-1 (остров Кунашир) (Демежко и др., 2010)

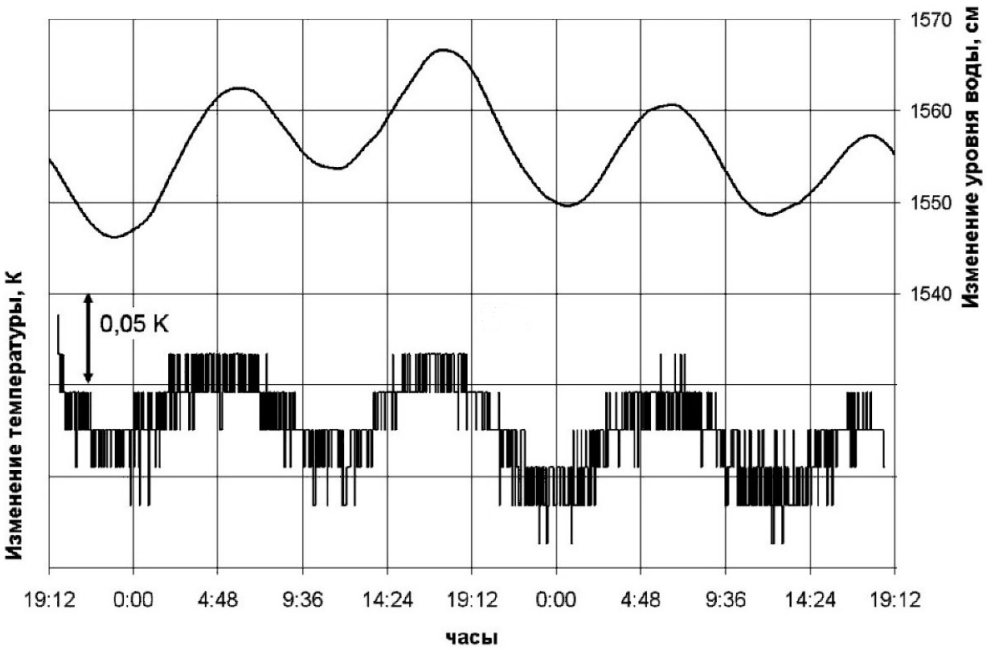
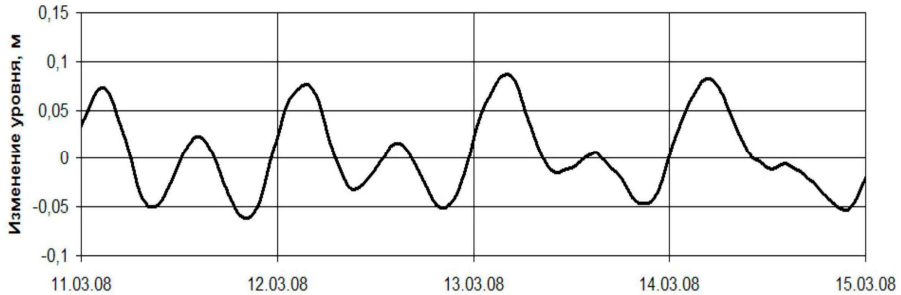


Рис. 3. Изменение уровня столба жидкости и температуры на глубине 40 метров в скважине К-1 (Демежко и др., 2010)

жине, приведенные на рис. 3 (Демежко и др., 2010). Хорошо видно, что даже те низкоаплитудные изменения температуры на глубине 40 метров, практически не види-



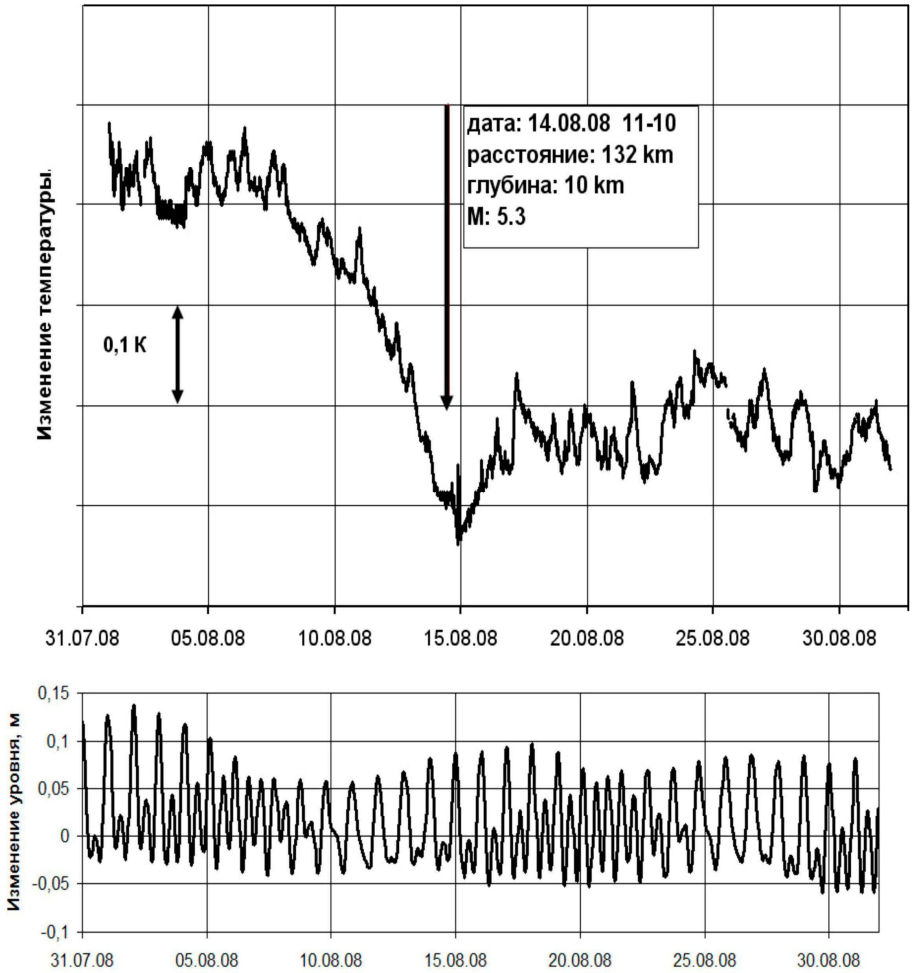


Рис. 5. Изменение температуры на глубине 240 метров и уровня столба жидкости в скважине К-1 в августе 2008 г; стрелками выделены моменты основных землетрясений

мые в масштабе рис. 2, повторяют вариации уровня столба жидкости, т.е. температурные измерения на небольшой глубине можно использовать для контроля изменения уровня столба жидкости.

Результаты сравнения измерений температуры и уровня жидкости, приведенные на рис. 4 и 5, подтверждают выдвинутый выше тезис о большей информативности температурных измерений для изучения изменений гидрогеодинамического поля.

Аналогичный вывод можно сделать и на основе анализа данных, приведенных на рис. 6. Видно, что хорошо отмечаемое на уровне 240 метров по изменениям температуры движение жидкости совершенно не влияет на изменение уровня.

Процесс подготовки тектонического события никак не отразился в температурных изменениях, и только само динамическое явление (землетрясение) привело к перестройке гидрогеодинамического поля. Такое поведение температурной кривой подтверждает высказанное выше утверждение о небольшом радиусе действия гидрогеодинамического предвестника.

Выводы

Анализ результатов температурного мониторинга по скважинам показал, что низкая эффективность гидрогеодинамического метода в варианте измерения уровня столба жидкости обусловлена, с одной стороны, геологическими условия-

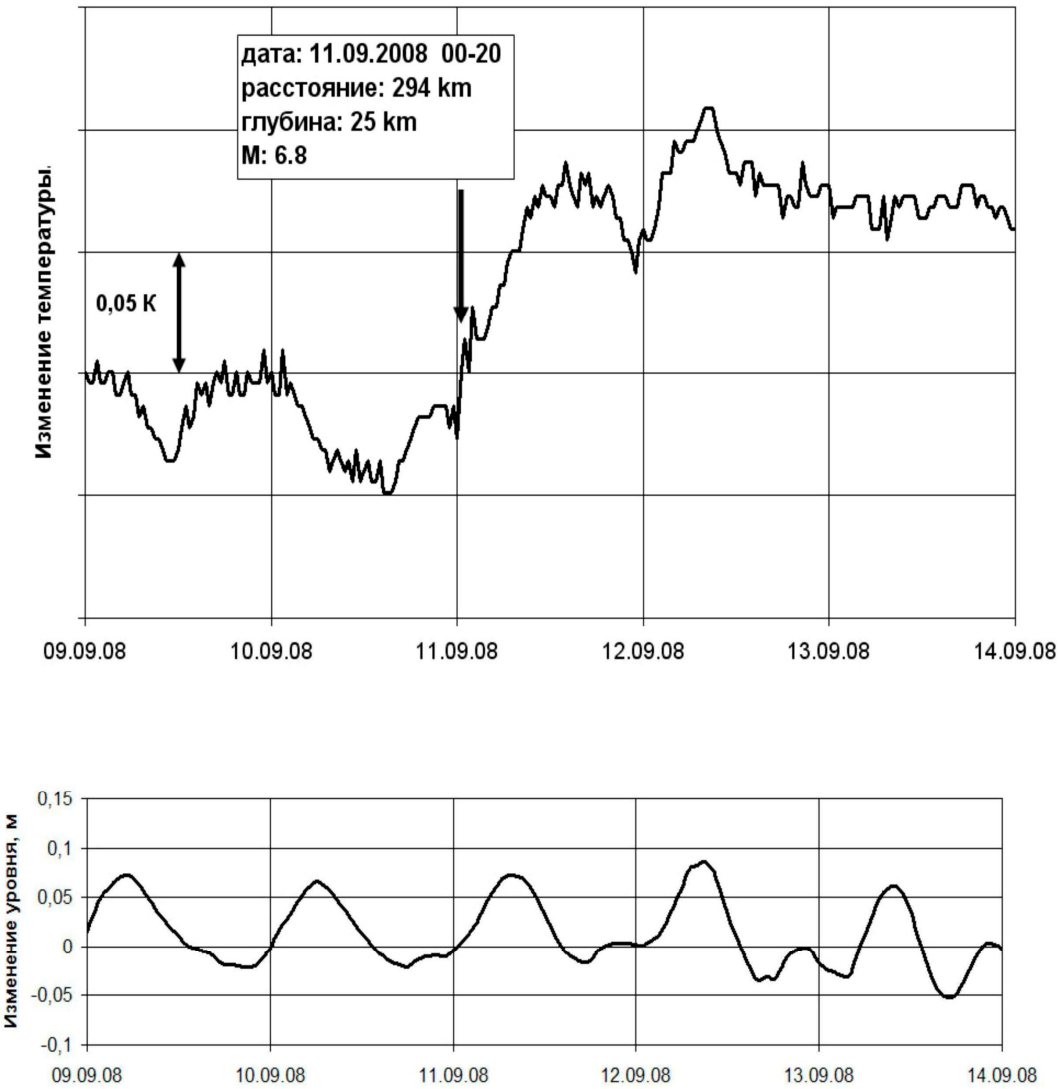


Рис. 6. Изменение температуры на глубине 240 метров и уровня столба жидкости в скважине К-1 в сентябре 2008 г; стрелками выделены моменты основных землетрясений

ми района расположения наблюдательных скважин и, с другой стороны, техническими сложностями их оборудования для наблюдений.

Приведенные экспериментальные данные подтверждают, что мониторинговые температурные измерения в скважинах позволяют получить существенно больше информации об изменениях гидрогеодинамического поля перед тектоническими событиями по сравнению с традиционными измерениями уровня столба жидкости. Важно отметить, что организация мониторинговых температурных измерений не предъявляет особых требований к оборудованию скважин для наблюдений.

Литература

Гордеев Е.И., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К. Предвестники Камчатских землетрясений (по материалам Камчатского отделения федерального центра прогнозирования землетрясений 1998–2004 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4. С. 3–13.

Демежко Д.Ю., Юрков А.К., Уткин В.И., Климшин А.В. Исследование температурных вариаций в скважине kun-1 (остров Кунашир) // Доклады Академии наук. 2010. Т. 434. № 6. С. 811–816.

Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика. М.: Физматгиз, 1963. 500 с.

Кондратьев О.К. Прогноз землетрясений: причины неудач и пути решения пробле-

мы // Геофизика. 2003. № 1. С. 3–15.

Монахов Ф.И., Хантаев А.М., Сапрыгин С.М. Краткосрочный гидрогеодинамический предвестник землетрясений и его связь с упругой деформацией земной коры // Труды СахНИИ ДНЦ АН СССР. Южно-Сахалинск, 1979.

Уткин В.И., Юрков А.К. Деформация изгиба и трение – основные процессы при подготовке тектонического землетрясения // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы: тез. докл. 4 Межд. симп. Бишкек, 2008. С. 382–387.

Уткин В.И., Юрков А.К. Радон и проблема тектонических землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1997. № 4. С. 84–92.

Юрков А.К., Уткин В.И., Рыбин А.В., Демежко Д.Ю., Муравьев Л.А., Козлова И.А., Жарков Р.В. Отражение Курильских землетрясений 2006 года в радоновом и гидродинамическом полях на острове Кунашир // Глубинное строение. Геодинамика. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Четвертые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича: материалы. Екатеринбург, 2007. С. 129–131.

Demezhko D.Yu., Yurkov A.K., Ryvkin D.G., Zharkov R.V. Temperature variation at different depth in borehole Kun-1 (Kunashir Island, Russia) // CD-Abstracts IASPEI 2009 General Assembly, Cape Town, South Africa, 10–16 January 2009.