

1. Всякая частота механических импульсов колебаний не соответствует собственным частотам регистрирующей системы, т.е. не любая подземная водно-газовая система реагирует на сейсмические события.

2. В соответствии со стадией активизации сейсмичности необходимы многолетние непрерывные режимные наблюдения (в зависимости, какой силы землетрясения прогнозируется), с целью опережающего выявления предвестника сейсмического события, чтобы оценить в последующем его закономерный ход во временном интервале вплоть до основного толчка (дистанция прогноза)

Таким образом, задача геохимического и вообще флюидного мониторинга заключается в выявлении детерминированных резонансных колебаний в параметрах подземных водно-газовых систем за долго до сейсмического события, связанные с физическими процессами разрушения горных пород в области подготовки очага землетрясения.

Литература

1. В.А.Ванюшин, Л.М.Завьялова и др. Отбор проб и анализ природных газов нефтегазоносных районов. М.: Недра, 1985, 239с.
2. М.А.Садовский, В.Ф.Писаренко. Подобие в геофизике. // Природа, 1991, №1, С. 13-23.
3. О.А.Саидов. Деформации прогибания и газогеохимические вариации при возбужденных землетрясениях. // Геохимия. 1991. №1. С.31-41.
4. С.А.Федотов. О сейсмическом цикле.// Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, С.314-326.
5. В.Л.Барсуков, А.А.Беляев. Геохимические методы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1992, 213 с.

Вариации уровня воды в скважине и удельного электрического сопротивления горных пород перед Суматранским землетрясением 26 декабря 2004 года

Ш.Г. Идармачев, М.М. Алиев, Г.П. Ходжаян, А.Б. Сутуев, А.Г. Магомедов, А.Ш. Идармачев
ИГ ДНЦ РАН

Предвестники землетрясений связаны с реакцией земной коры на аномальные деформационные процессы, происходящие в области подготовки очага землетрясения.

В настоящее время накоплен достаточно большой объем наблюдений по гидрогеодинамическим предвестникам землетрясений [1]. По времени проявления предвестников выделяются краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные, длительность которых измеряется: часы-сутки, недели-месяцы, и годы. В некоторых случаях перед сильными землетрясениями предвестники регистрируются на значительных расстояниях, несколько тысяч километров [2]. Система скважина – коллектор горной породы можно рассматривать как объемный деформограф, при этом знак изменения уровня воды в скважине позволяет определить процесс сжатия или растяжения пород. В тех случаях, когда можно определить коэффициент, связанный с лунно-солнечными приливными деформациями удается определить величину объемной деформации.

Электрическое сопротивление горных пород в естественном состоянии также обладает аномально высоким коэффициентом тензочувствительности. В частности Японские исследователи [3] с помощью высокоточных измерений удельного электрического сопротивления пород в подземном тоннеле установили, что вариации электрического сопротивления связаны с деформациями земной коры, обусловленными океаническими приливами. Чувствительность измерительной установки такова, что она позволяет регистрировать деформации земной коры порядка 10^{-9} . Анализ данных показал, что вариации электрического сопротивления наблюдались как минимум перед 30 землетрясениями. Перед отдельными сильными землетрясениями с магнитудой $M \geq 7,0$ аномальные вариации электрического сопротивления регистрируются на расстояниях 1000 и более километров от очага землетрясения. Оценки сделанные автором работы [4] показывают, что вариации электрического сопротивления деформационной природы от подготовки Чилийского землетрясения 1960 с магнитудой $M=8,5$ должны регистрироваться на расстоянии 9550 км от очага.

Радиус деформационного предвестника может быть оценен по формуле приведенной в работе авторов [5]. Формула, связывающая радиус предвестника r в километрах, магнитуду землетрясения M и величину относительной деформации земной коры $\Delta\varepsilon/\varepsilon$ на расстоянии r от очага имеет следующий вид:

$$\Delta\varepsilon/\varepsilon = \frac{10^{1.3M-8.19}}{r^3} \quad (1)$$

Оценим радиус проявления аномальной деформации от очага катастрофического Суматранского землетрясения, происшедшего 26 декабря 2004 г. $M=9,0$.

Перепишем формулу (1) в следующем виде:

$$r = \frac{10^{3.9M-2.73}}{\sqrt[3]{\Delta\varepsilon/\varepsilon}} \quad (2)$$

Подставив в (2) следующие коэффициенты ($M = 9,0$; $\Delta\varepsilon/\varepsilon = 10^{-8}$) имеем $r = 6400$ км.

Из этих оценок следует, что при чувствительности измерительной системы к деформациям земной коры порядка 10^{-9} , можно регистрировать аномальные деформации от подготовки землетрясения $M=9,0$ в радиусе до 6400 км от очага.

В качестве возможно подтверждения данного предположения могут быть рассмотрены приведенные на рис.1 графики уровня воды и электрического сопротивления горных пород в двух различных скважинах.

Оба пункта наблюдения расположены на западном берегу Каспийского моря с координатами Северная широта $\varphi=43,0$ и Восточная долгота $\lambda=47,5$. Расстояние между измерительными пунктами равно 25км.

Глубина пьезометрической скважины равна 350м. Измерения осуществляются поплавковым самописцем с точностью 1см. Скважина располагается в зоне влияния глубинного разлома (Срединный разлом), простирающегося вдоль побережья Каспия. Данная скважина характеризуется высокой чувствительностью к деформациям земной коры. Оценка чувствительности осуществлялась по реакции скважины в период подготовки слабых местных и удаленных сильных землетрясений. Чувствительность системы к деформации оценивается 10^{-9} .

Удельное электрическое сопротивление массива горных пород измеряется в закрытой необсаженной скважине глубиной 27м. Для измерения электрического сопротивления используется специальная станция «Георезистор», разработанная в Институте геологии ДНЦ РАН [6].

Измерения производятся с помощью четырехэлектродного зонда. Расстояние между питающими электродами равно 5м. Отклонение данных среднечасовых измерений, длительность которых составляет 50 минут, не превышают $\pm 0,01\%$, а при среднесуточном осреднении – $\pm 0,002\%$. Высокая точность измерений позволяет регистрировать изменение удельного электрического сопротивления, связанное с сжатием или растяжением горных пород. Калибровка вариаций удельного сопротивления к деформациям производилась по осредненной амплитуде лунно – солнечных приливных деформаций земной коры, регистрируемой станцией «Георезистор».

Максимальная чувствительность станции, «Георезистор» к деформации составляет 10^{-9} . Таким образом, из вышеизложенного следует, что чувствительность пьезометрической скважины и станции «Георезистор» к деформации земной коры примерно одного порядка.

Рассматривая графики, приведенные на рис.1 можно сделать вывод о том, что они обусловлены одной и той же возмущающей силой, при этом наблюдаемые вариации не связаны годовыми сезонными процессами. Можно также видеть, что экстремумы кривых не совпадают во времени, в частности, вариации электрической составляющей, опережают, примерно, на 3 месяца.

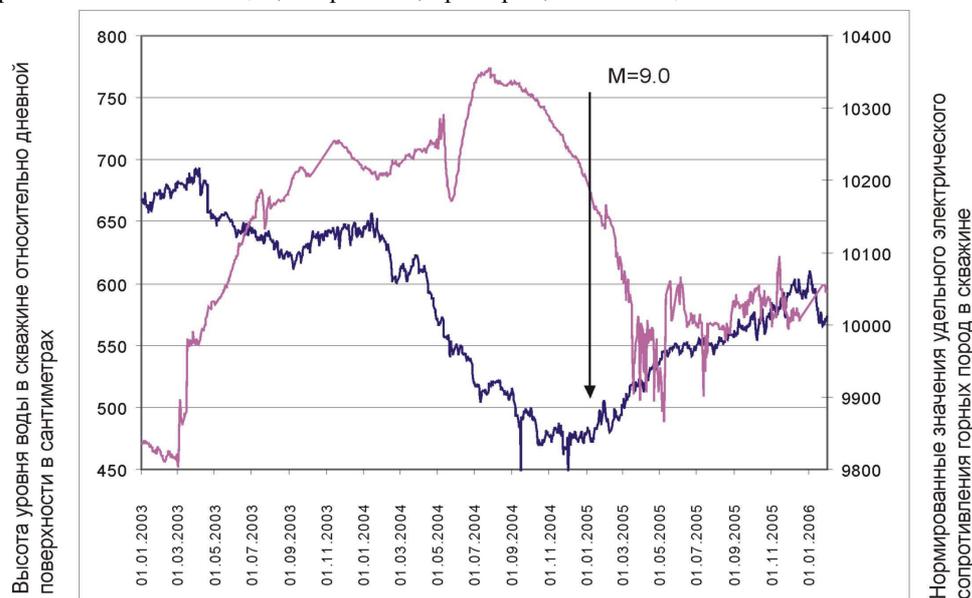


Рис. 1. Вариации уровня воды скважине (1) и удельного электрического сопротивления (2) на западном побережье Каспийского моря, в районе г. Махачкала, перед катастрофическим землетрясением на Суматре 26 декабря 2004 г.

Началом вариаций можно считать апрель 2003г. Снижение уровня воды в скважине продолжалось до декабря 2004г. Через месяц после достижением уровнем воды минимума произошло Суматранское землетрясение. Амплитуда понижения уровня воды составляла 197см. После землетрясения наблюдается увеличение уровня воды на 140см относительно своего минимума. Изменение электрического сопротивления в деталях отличается от графика уровня воды в скважине, хотя имеют, примерно, одинаковый ход. Амплитуда относительного изменения электрического сопротивления за период с февраля 2003г. по август 2004г. составляет $\Delta\rho/\rho = 0,052$. Вариация электрического сопротивления, соответствующая амплитуде внутрисуточных приливных деформаций $\Delta\varepsilon/\varepsilon = 10^{-8}$ равна $\Delta\rho/\rho = 0,005$. Из этого отношения вычисляем амплитуду относительной деформации, соответствующее изменению электрического сопротив-

ления $\Delta\rho/\rho = 0,052$. Вычисленная таким способом амплитуда деформации равна $\Delta\varepsilon/\varepsilon = 10^{-7}$. Это величина, примерно, 6,5 раза превышает амплитуду аномальной деформации, полученной по формуле (1) перед Суматранским землетрясением, происшедшим на расстоянии 6000 км от измерительного пункта. Причину такого несоответствия между экспериментальными и расчетными данными пока трудно объяснить, так как под вопросом сам факт связи рассмотренных выше аномальных изменений с подготовкой Суматранского землетрясения.

Данный факт требует своего дальнейшего исследования с привлечением других видов измерений деформации земной коры, таких систем наблюдений как GPS, in SAR, данных скважинных деформационных станций расположенных в разных частях мира, которые в настоящее время насчитываются около 70 штук.

Литература.

1. Киссин И.Г. Гидрогеологический мониторинг земной коры // Физика Земли. 1993. №8. С. 58-69.
2. Киссин И.Г. Землетрясения и подземные воды. М.: Наука. 1982. 175 с.
3. Rikitake T., Ymazaki Y. The nature of resistivity precursor. Earthquake Prediction Res. 1985, Vol. 3, p. 359-370.
4. Моргунов В.А. Крип горных пород на завершающей стадии подготовки землетрясения // Физика Земли. 2001, №4, с.3-11.
5. Добровольский И. П., Зубков С. И., Мячкин В.И. Об оценке размеров зоны проявления предвестников землетрясений. Моделирование предвестников землетрясений. М.: Наука, 1980, с.7-44.
6. Идармачев Ш.Г., Алиев М.М., Абдуллаев Ш.-С. О., Хаджи Б.А. Станция для электрического зондирования «Георезистор». Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов. Воронеж. Материалы Межд. конф. 2001. С.86-87.

Исследование закономерности сейсмического режима в районе Чиркейского водохранилища во времени и пространстве

*А.Ш. Идармачев
ИГ ДНЦ РАН*

Чиркейское водохранилище начало заполняться в июле месяце 1974 г. в период паводка. За три месяца уровень воды в верхнем бьефе плотины достиг 120 м, т.е. половины своей проектной отметки. Заполнение водохранилища продолжалось в течение трех лет и достигло своей проектной отметки в августе 1976 г. Сейсмическая активность регистрировалась четырьмя стационарными станциями Дагестанского филиала АН СССР: «Буйнакск», «Дылым», «Дубки», «Каранай». Аппаратура станций позволяла регистрировать землетрясения с энергетическими классами на уровне $K=5-7$ ($K=lgE$, где E - энергия землетрясения в Дж). В работе авторов [1] проведен анализ сейсмичности территории района Чиркейского водохранилища на площади 1000 км² до и после его заполнения. За период времени 01.06.74-31.12.74 после начала заполнения водохранилища число толчков увеличилось 8 раз, а очаги землетрясений стягивались к чаше водохранилища.

Первые сейсмические толчки были зарегистрированы в восточной части водохранилища при достижении уровня воды в верхнем бьефе плотины 50 м. Энергетический класс их составлял 8-12. Эпицентры землетрясения $K=10$ и нескольких толчков $K=8$ располагались под водохранилищем.

При достижении уровня воды 120 м произошел рой землетрясений в хвостовой части водохранилища. Толчки ощущались в близлежащих селениях и сопровождалась гулом. Глубина очагов составляла 3-5 км. Энергетический класс главного толчка равнялся 11.

В начале декабря 1974 г., при достижении уровня воды 125 м началась регистрация серии толчков в западной окрестности водохранилища, которая, 23 декабря завершилась 7 бальным землетрясением, получившим название «Салатауское». По данным сети сейсмической станций координаты основного толчка равны $\varphi = 42,9^\circ$; $\lambda = 46,8^\circ$, глубина очага 5 ± 2 км, энергетический класс 13,6 ($M=5$). Эпицентр землетрясения находится на расстоянии 5-7 км к западу от плотины ГЭС.

Через 17 суток после основного толчка Салатауского землетрясения в окрестности водохранилища на расстоянии, примерно 10 км от него произошло еще более сильное землетрясение. 9 января 1975 г. в 23 часа 09 минут по Гринвичу произошло землетрясение с энергетическим классом 14 ($M = 5,2$) с координатами эпицентра $\varphi = 42,54^\circ$; $\lambda = 47,07^\circ$ и глубиной 8 ± 2 км. По характеру повреждений строений близлежащих населенных пунктов интенсивность землетрясения оценивается в 8 баллов по шкале MSK-64. Плотина Чиркейской ГЭС не пострадала, но были отмечены обвалы в каньоне реки Сулак. Наиболее сильно пострадал город Буйнакск. Поэтому данное землетрясение получило название «Буйнакское землетрясение».

После основного толчка зарегистрировано более 300 повторных толчков. Динамика афтершоковой деятельности показывает, что она развивается от основного очага в сторону хвостовой части водохранилища и сливается с областью, где зарегистрирован рой землетрясений в октябре 1974 г. Глубины афтершоков варьируют в пределах от 3 до 16 км.

Отличительной особенностью всех трех землетрясений, зарегистрированных в окрестности Чиркейского водохранилища, является то, что основные толчки предварялись многочисленными форшоками,