

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 550.34; 550.837.3

ВАРИАЦИИ КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В СКВАЖИНЕ В СЕЙСМОАКТИВНОМ РАЙОНЕ ДАГЕСТАНА

Ш. Г. Идармачев¹, М. М. Алиев², И. А. Алиев¹,
А. Г. Магомедов¹, А. Ш. Идармачев¹

¹ Институт геологии ДНЦ РАН

² Институт проблем геотермии ДНЦ РАН

Проведен анализ данных наблюдений за вариациями кажущегося сопротивления горных пород в скважине, полученных с помощью установки «Георезистор», специально разработанной для непрерывного электрического зондирования небольшого объема горных пород в скважине. Чувствительность установки в режиме накопления сигнала в течение 1 часа не ниже 0.01%, что позволяет регистрировать процесс деформации горных пород. Анализ данных за период наблюдений 2003–2008 гг. показывает, что перед отдельными удаленными землетрясениями $M > 6.0$, произошедшими в акватории Каспийского моря, наблюдаются аномалии кажущегося сопротивления деформационной природы. Перед близким землетрясением $M \geq 5.8$ зарегистрированы аномалии как перед основным толчком, так и в афтершоковый период.

The analysis of observational data for the variations of apparent resistivity of rocks in the borehole, obtained by installation of the "Georezistor", specially designed for continuous electrical sensing a small volume of rocks in the borehole has been done. Sensitivity of the apparatus was not less than 0.01%. It allowed registering the process of deformation of rocks. The analysis of data for the observation period of 2003–2008 shows that before certain remote earthquakes of $M > 6.0$, occurred in the Caspian Sea area, some anomalies of deformation nature were seen in the apparent resistivity. Before the earthquake of $M \geq 5.8$ the anomalies were registered both before the main jolt and in the aftershock period.

Ключевые слова: эпицентр землетрясения; магнитуа землетрясения; кажущееся электрическое сопротивление (КЭС); электрическое зондирование.

Keywords: earthquake epicenter; the earthquake magnitude; the apparent resistivity (AR); the electrical sensing.

Введение. Геофизические предвестники, отражая в целом изменение напряженно-деформированного состояния в земной коре при подготовке очага землетрясений, в то же время зависят от многих факторов реальной геологической среды – блокового иерархического строения [1], ее способности накапливать и перераспределять поступающую энергию и др. Выяснение роли этих механизмов в формировании геофизических полей имеет принципиальное значение для исследования пространственно-временной связи с процессами подготовки землетрясений. В этом плане большое развитие получили методы регистрации деформаций и наклонов земной коры, слежения за уровнем подземных вод, кажущегося электрического сопротивления, электрических и магнитных полей, геохимических параметров.

Результаты исследования электрических предвестников землетрясений, полученные на прогностических полигонах [2–9], показали, что электрическое сопротивление горных пород обладает высокой чувствительностью к их деформации, т.е. малые деформации породы приводят к значительным изменениям электрического сопротивления. В отдельных случаях коэффициент пропорциональности K ($\Delta\rho/\rho = K \cdot \Delta\varepsilon/\varepsilon$, где $\Delta\rho/\rho$ – относительное изменение электрического сопротивления породы, $\Delta\varepsilon/\varepsilon$ – относительное изменение деформации) может достигать величины 10^5 [10].

Особый интерес представляют результаты электрического зондирования горных пород в подземном тоннеле с помощью высокоточной аппаратуры [7, 8]. Измерения проводились четырехэлектродной установкой на переменном токе. Расстояние между электродами, посредством которых ток пропускается в землю, равняется 6 м, а приемные электроды располагаются в середине между токовыми электродами.

Данная установка позволяет измерять вариации электрического сопротивления чувствительностью 0.001%. Такая чувствительность позволяет регистрировать процесс сжатия-растяжения пород порядка 10^{-6} , обусловленный океаническими приливами в Японии.

За время длительных наблюдений автором работ [7, 8] зарегистрировано более 30 случаев изменения сопротивления пород перед сильными землетрясениями. Аномалии сопротивления представляли собой бухтообразные изменения, начинающиеся за несколько часов до толчка. Время толчка совпадает с максимумом изменения сопротивления. Амплитуда вариаций достигает сотых долей процента. В большинстве случаев сразу после толчка сопротивление меняется скачком.

Такого рода результаты получены и авторами работы [9] на Ашхабадском полигоне с помощью прецизионного электровариометра, созданного в Институте физики Земли РАН. Перед сильными толчками с $M = 5.3-6.7$, произошедших на расстоянии 400 км и более на территории Ирана, были зарегистрированы кратковременные вариации электрического сопротивления породы, амплитуды которых составляют доли процента.

По мнению авторов [11, 12], такого рода аномалии обусловлены криповыми явлениями в разломах на завершающей стадии подготовки землетрясения и могут быть применены на практике для предсказания времени сильного землетрясения.

Из приведенного выше краткого анализа следует, что данный метод может оказаться перспективным для исследования предвестников землетрясений на территории Дагестана. Нами разработана компьютерная станция для непрерывных высокоточных измерений кажущегося электрического сопротивления (КЭС). Ниже приведены результаты длительных наблюдений на измерительном пункте «Махачкала».

Методика и аппаратура наблюдений. Для исключения помех экзогенного характера электрическое зондирование производилось в необсаженной скважине глубиной 27 м. Для измерения использовался четырехэлектродный зонд с разносом питающих электродов $AB = 6$ м. Приемные электроды располагаются в середине между питающими электродами. Разнос приемных электродов составляет 1.5 м.

Для измерений кажущегося сопротивления горных пород (КЭС) использовалась специально сконструированная авторами [13] станция «Георезистор», которая состоит из аналого-цифровой измерительной платы, работающей под управлением специально разработанной программы, высокостабильного генератора тока и кабеля с долговременными электродами. Технические характеристики станции «Георезистор»: рабочая частота 0.05 Гц; выходное напряжение генератора ± 12 В; ток питающего диполя 0.02 А; погрешность определения отношения $\Delta U/I$ при усреднении в течение 59 мин. составляет 0.01% и менее.

Обсуждение результатов наблюдений. Пункт наблюдений приведен на рис. 1 (координаты: 42.96° с.ш.; $\lambda = 47.50^\circ$ в.д.).

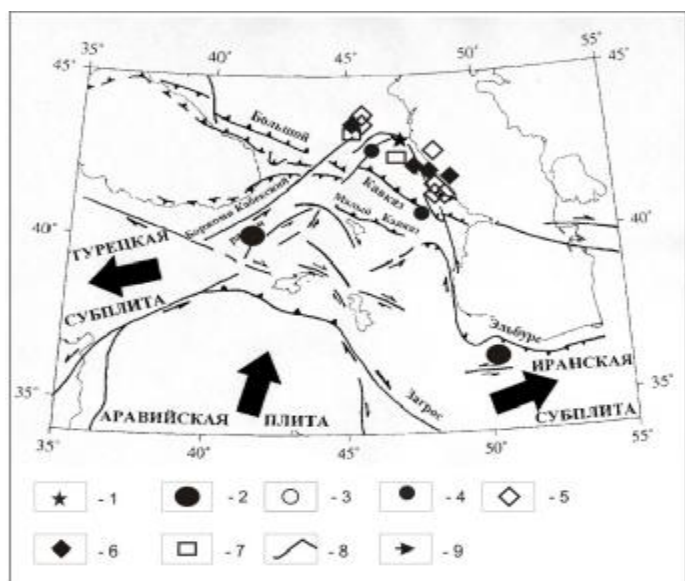


Рис. 1. Схема эпицентров землетрясений $M \geq 4.5$ в радиусе до 200 км и $M > 6.0$ в радиусе до 1000 км за период 2003–2008 гг.: 1 – пункт наблюдений; 2 – землетрясения за 2003 г.; 3 – за 2004 г.; 4 – за 2005 г.; 5 – за 2006 г.; 6 – за 2007 г.; 7 – за 2008 г.; 8

Породы, в которых пробурена скважина, состоят из водоупорных глин. Величина КЭС равна $\rho_k = 5$ Омхм. Уровень грунтовых вод располагается на глубине 3 м от поверхности. Коренные породы, состоящие из сарматских глин (N_{sm}), залегают на глубине 24 м. Мощность их составляет 600–700 м. Ниже залегают песчаники караган-чокрак (средний миоцен).

После установки измерительного зонда в необсаженную скважину ствол ее сжался, так как породы в районе исследований состоят из пластичных глин. Измерения были начаты спустя три месяца после бурения, когда горные породы

восстановили свои прежние характеристики.

На рис. 2 приведен график нормированных среднесуточных значений КЭС за период 2003–2008 гг. В период 10.03.2005–12.03.2006 гг. измерения не проводились.

Анализ графика КЭС показывает наличие затухающих колебаний с периодами 1–2 года. Длительность первого аномального изменения составляет примерно 2 года, в последующие годы вариации имеют циклический характер с периодом в 1 год. Данные вариации могут быть связаны с сезонным ходом, который обусловлен атмосферными факторами, поэтому они были сопоставлены с осадками, температурой и атмосферным давлением. Для выяснения корреляционной связи между КЭС и атмосферными явлениями использовались среднемесячные данные метеообсерватории г. Махачкалы. Проведенный анализ показал наличие слабой связи: для осадков коэффициент корреляции $K = 0.2$, для атмосферного давления – $K_p = -0.1$, для температуры – $K_T = 0.16$.

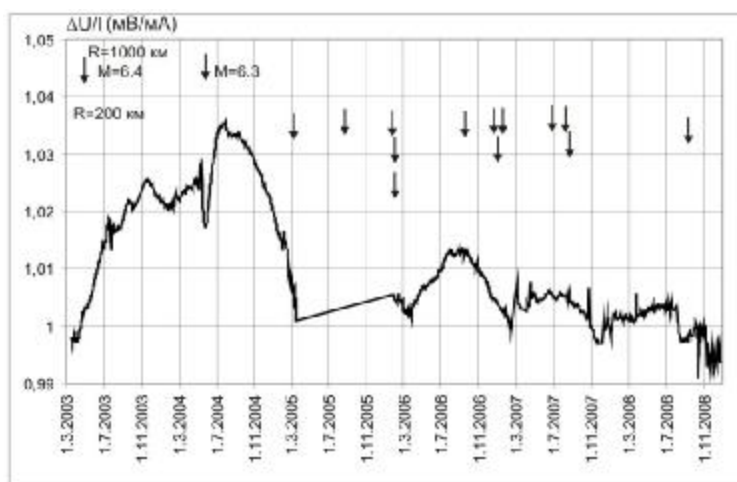


Рис. 2. Вариации нормированных среднесуточных значений КЭС в скважине и распределение землетрясений $M \geq 4.5$, произошедших в радиусе 200 км; $M > 6.0$ – 1000 км

Отсутствие связи можно объяснить тем, что перекрывающие измерительный зонд породы состоят из непроницаемых влажных глин, а дневная поверхность в районе расположения измерительного пункта покрыта асфальтом, поэтому осадки стекают в канализационную сеть.

Исследована также связь с сейсмичностью района. Для этого был сделан анализ землетрясений в районе исследований за период наблюдений 2003–2008 гг. На рис. 2 стрелками указаны сильные землетрясения $M > 6.0$, произошедшие в радиусе до 1000 км от пункта наблюдения. Для определения эпицентров землетрясений, расположение которых показано на рис. 1, использовались каталоги землетрясений NEIC и EMSC [14]. На нем же приведены землетрясения $M \geq 4.5$, зарегистрированные в радиусе до 200 км.

Первые два года в радиусе до 200 км землетрясений $M \geq 4.5$ не зарегистрировано. Однако на графике можно видеть ступенчатые изменения КЭС, одно из которых, внутри периода 08.11.2003–05.04.2004 гг., совпадает с близким землетрясением $M = 3.7$, произошедшим 27.02.2004 г. на расстоянии 22 км от пункта наблюдения. Амплитуда бухтообразного уменьшения КЭС перед данным землетрясением равна $\Delta U/I = 0.39\%$.

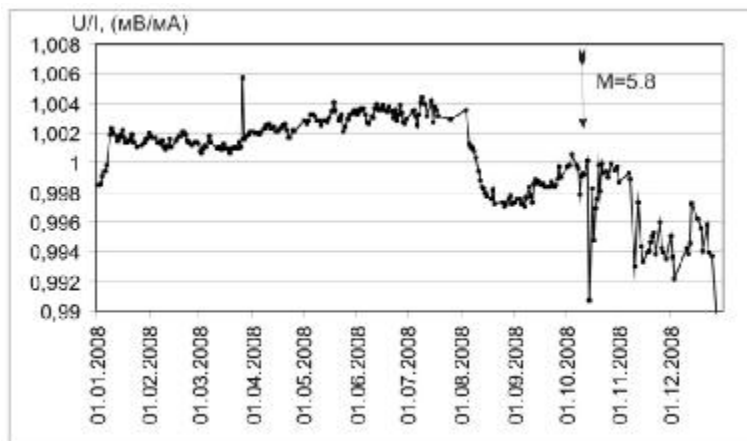


Рис. 3. Вариации нормированных среднесуточных значений КЭС в скважине до и после Курчалойского землетрясения в Чеченской Республике 11.10.2008 г.

За первые два года произошли также сильные землетрясения в радиусе до 1000 км. Первые два толчка произошли 27.01.2003 г. ($M_w = 6.1$, $\Delta = 711$ км) и 01.05.2003 г. ($M_w = 6.4$, $\Delta = 705$ км) на границе с Турцией. Третье землетрясение ($M_w = 6.3$, $\Delta = 842$ км) произошло 28.05.2004 г. в Иране на берегу Каспия. Данное землетрясение вызвало значительные разрушения в Иране и ощущалось на всей территории Дагестана, по времени оно совпадает с резким уменьшением КЭС с амплитудой $\Delta U/I = 1.1\%$.

В 2005 г. и в начале 2006 г. в радиусе до 200 км произошло 5 землетрясений $M \geq 4.5$. Наиболее близко от пункта наблюдения, на эпицентральной расстоянии 144 км, 24 августа произошло одно землетрясение с координатами $[42.79^\circ$ с.ш., 45.62° в.д.].

В конце 2006 г. и в начале 2007 г. произошла серия землетрясений вокруг пункта наблюдения. Еще одна серия землетрясений примерно в тех же местах произошла во второй половине 2007 г. Аномалий КЭС, совпадающих с отдельным землетрясением или серией сейсмических событий, не было отмечено.

В 2008 г., 11 октября произошло землетрясение с магнитудой $M = 5.8$ к северу от пункта наблюдения на расстоянии 104 км. Координаты главного толчка равны $[41.10^\circ$ с.ш., 26.40° в.д.]. Данное землетрясение получило название близлежащего населенного пункта Курчалойское в Чеченской Республике. Первые сутки после основного толчка произошло 4 афтершока с магнитудами $M = 5.3-4.6$. На рис. 3 видно, что перед главным толчком произошло аномальное уменьшение КЭС в течение 71 суток на 0.7%. После основного толчка и серии сильных афтершоков наблюдаются скачкообразные изменения КЭС, которые, возможно, связаны с процессом перераспределения упругих напряжений в афтершоковой области Курчалойского землетрясения.

Выводы

1. Установкой «Георезистор» на измерительном пункте «Махачкала» впервые зарегистрированы длительные циклические вариации КЭС горных пород в скважине, которые имеют слабую связь с количеством осадков, сезонным ходом температуры и давления приземного слоя атмосферы

2. Для отдельных сильных землетрясений наблюдается совпадение по времени максимального изменения короткопериодной аномалии КЭС с землетрясением, в частности для Курчалойского землетрясения произошло уменьшение КЭС как перед основным толчком, так и в афтершоковый период.

ЛИТЕРАТУРА

1. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991. 96 с.
2. Барсуков О.М., Сорокин О.Н. Изменение кажущегося сопротивления горных пород в Гармском сейсмоактивном районе // Физика Земли. 1973. № 10. С. 100–102.

-
3. Avagimov A.A., Ataev A.K. Structure of Precursor Anomalies of Electrical Conductivity and its tensorsensitivity in Kopetdag Seismic active region // J. of Earthquake Pred. Res. 1994. N 3. P. 572-580.
 4. Аитов Н.Л., Бабаков Ю.П., Баталев И.Ю. и др. Проявление геодинамических процессов в геофизических полях. М.: Наука, 1993. 155 с.
 5. Омаров Г.Н., Идармачев Ш.Г. Связь вариации кажущегося сопротивления горных пород с пространственным расположением эпицентров землетрясений // Изв. Сев.-Кавк. науч. центра высш. шк. 1989. № 1. С. 105-109.
 6. Mazzella A., Morrison H.F. Electrical Resistivity Variations Associated with earthquakes on the San Andreas Fault // Science. 1974. Vol. 185. N 4154. P. 855-867.
 7. Yamazaki Y. Precursors and coseismic resistivity changes // Pageoph. 1975. Vol. 113. N 1-2. P. 219-227.
 8. Yamazaki Y. Preseismic resistivity changes recorded by the resistivity variometer (1), (May 14, 1968 - February 28, 1975) // Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo. 1980. Vol. 55. P. 755-794.
 9. Волкова Е.Н., Камшилин А.Н., Эфендиев М.И. Некоторые результаты изучения среды электрорезистивности на Ашхабадском геодинамическом полигоне // Прогноз землетрясений. № 7. Душанбе: Дониш, 1986. С. 90-94.
 10. Идармачев Ш.Г., Абдулаев Ш.-С.О. Оценка тензочувствительности электрического сопротивления горных пород в сейсмоактивных районах // ДАН. 1998. Т. 3. № 5. С. 682-684.
 11. Моргунов В.А. Крип горных пород на завершающей стадии подготовки землетрясения // Физика Земли. 2001. № 4. С. 3-11.
 12. Рикитаци Т. Предвестники землетрясений. М.: Мир, 1979. 388 с.
 13. Идармачев Ш.Г., Алиев М.М., Абдулаев Ш.-С.О., Хаджи Б.А. Станция для электрического зондирования «Георезистор» // Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов: материалы Междунар. конф. Воронеж, 2001. С. 86-87.
 14. URL. <http://www.emsc-csem.org/index.php?page=home#?> (дата обращения 10.02.2011).
 15. Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР, 1984. 188 с.

Поступила в редакцию 26.04.2011 г.
 Принята к печати 28.09.2012 г.