

Опыт применения компьютерных технологий для организации наблюдений за электрическими предвестниками землетрясений 2006 г.

Ш.-С. О. Абдулаев*, Ш.Г. Идармачев*, М.М. Алиев**, Р.Д. Ахмедиллов
*ИГ ДНЦ РАН, **ИПГ ДНЦ РАН

Электрические предвестники хорошо изучены и получили широкое применение для предсказания землетрясений в Китае, СССР, Японии и Греции [5, 6, 8, 10]. Особенно эффективны для определения краткосрочных предвестников, длительность которых оценивается от нескольких суток до нескольких часов.

Электрические методы исследования основаны на проведении дискретных или непрерывных наблюдений за вариациями электрических параметров горных пород. Ведущее место в них занимает такой параметр горных пород, как удельное электрическое сопротивление, которое является чувствительным индикатором деформации горных пород. На практике измеряется кажущееся электрическое сопротивление, которое характеризует интегральный эффект различных слоев земли и их удельных электрических сопротивлений.

Для измерения кажущегося сопротивления (КС) используются различные методы электрического зондирования. Методы глубинного электрического зондирования позволяют охватывать большие площади наблюдений до 1000 км² и глубины- 5-10 км, но при этом требуют использования мощных источников тока и удаления приемных станций на большие расстояния, до 20-30 км. Такие наблюдения вряд ли могут получить широкое применение, так как они связаны большими материальными затратами и трудностями, возникающими в процессе автоматизации наблюдений. Дискретный характер наблюдений, когда измерения производятся раз в сутки и менее, исключает возможность обнаружения краткосрочных предвестников землетрясений. Обеспечение непрерывных измерений, а также автоматическая обработка получаемой информации имеет важное практическое значение для прогноза сильного землетрясения на заключительном этапе его подготовки. В частности в работе [8] приведено более 30 случаев изменения КС перед сильными землетрясениями в Японии в интервале времени 0,5-11 часов. Вариации наблюдались перед сильными землетрясениями, происшедшими на удалении 1000 км от измерительного пункта. Для измерений использовалась четырехэлектродная установка электрического зондирования с разносом между питающими электродами 6 м. Регистрация производилась вариометром Ямазаки [9] перописущим прибором. Установка обеспечивала чувствительность, составляющую тысячную долю процента. Пример вариации КС перед землетрясением приведен на рис. 1.

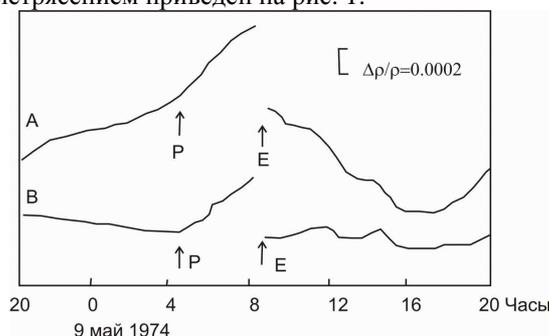


Рис. 1. Вариации сопротивления перед землетрясением 9 мая 1974 г. с $M=6,9$ (А) и полученные цифровым фильтром (В). P – начало изменений; E – время землетрясения [8].

Вариации КС перед землетрясениями в интервале времени меньше суточного периода отмечались также и при дипольных зондированиях с большими разносами. На рис. 2 приведен график КС во время слабого землетрясения с магнитудой $M=4,0$ на полигоне Геологической службы США [7]. Разнос дипольной установки составляет 9 км. Гипоцентр землетрясения располагается на глубине 7 км, между питающим и приемным диполями установки электрического зондирования.

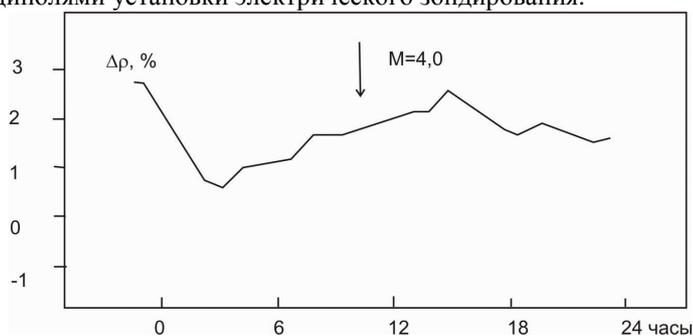


Рис. 2. Изменение кажущегося сопротивления перед слабым землетрясением во время на геофизическом полигоне в США [7].

На рис. 2 видно уменьшение КС перед толчком на 2%. Продолжительность данного уменьшения составляет, примерно, 2 часа. Землетрясение произошло в период восстановления кривой КС. Аналогичные вариации КС наблюдались перед афтершоками Газлийского землетрясения в Узбекистане, которое произошло 8 апреля 1976 г. Для измерений КС использовалась дипольная установка с разномом диполей 4 км. Измерения проводились в течение 4 суток ежедневными сеансами. Анализ данных позволяет сделать авторам работы [3] вывод о том, что перед землетрясением происходит уменьшение КС за 5-6 часа до толчка. Амплитуда вариаций перед землетрясениями энергетического класса $K=7-8$ ($M=2,0-2,2$) составляет 8-10%. В одном из случаев близкого землетрясения $K=13$ ($M=5,0$) отмечено скачкообразное изменение КС на 57%. Скачок произошел на фоне бухтообразного уменьшения длительностью 11 часов, при этом время скачка совпадает с землетрясением. Спустя 16 часов, вновь произошел толчок такой же силы, но в этом случае вариации КС не наблюдались.

Краткосрочные вариации КС были зарегистрированы перед землетрясением $K=14$ ($M=5,6$), происшедшим 3 января 1999 г. в районе Чиркейской ГЭС в Дагестане. На двух приемных пунктах с разномом диполей 5,6 км и 2 км перед основным толчком были зарегистрированы синхронные вариации КС на 59% и 10%. На дипольной установке с большим разномом перед большинством афтершоков отмечались скачкообразные изменения КС за день – два до толчка на 10-15%. Особенно отчетливо это проявлялось тогда, когда процесс зондирования совпадал со временем возникновения землетрясения в интервале нескольких часов [1]. Фрагмент одного из графиков приведен на рис. 3.

Из приведенных выше примеров очевидна необходимость использования для практического прогноза землетрясения аппаратуры, позволяющей проводить измерения в режиме реального времени с использованием компьютерных технологий. Использование персональных компьютеров в качестве измерительной аппаратуры и сотовой связи расширяет возможности в области сбора, процесса обработки и интерпретации полученных результатов.

Для реализации идеи автоматизации процесса измерений КС была разработана станция электрического зондирования непрерывного действия.

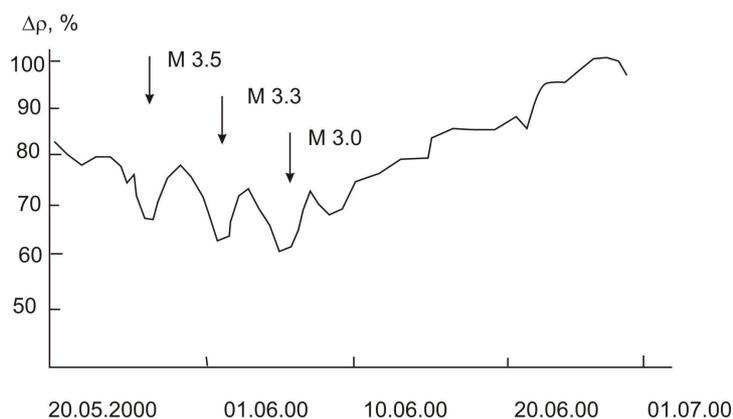


Рис. 3. Краткосрочные вариации кажущегося сопротивления во время афтершокового периода землетрясения 31 января 1999 г. в Дагестане [1].

Станция состоит из измерительной платы, совместимой с компьютерами IBM PC, программного обеспечения и генератора импульсов [2].

Технические характеристики станции

Рабочая частота, Гц.....	0,05
Максимальный ток генератора, А.....	1,0
Число измерительных каналов.....	2
Число измерений в сутки.....	24
Длительность измерений в одном сеансе, мин.....	1-58
Погрешность измерений, %.....	0,02
Автоматическая передача информации через Интернет.	

Испытание установки проводилось в Дагестане г. Махачкала. Параметры измерительной установки следующие: тип установки-четырёхэлектродный; длина питающего диполя $AB=80$ м; длина приемного диполя $MN=26$ м.

Геологический разрез района измерений представляет собой двухслойный разрез, верхний слой мощностью 25 м состоит из песчано-глинистых, второй слой – из коренных пород. Уровень подземных вод располагается на глубине 4 м.

Обсуждение результатов. На рис. 4 представлены вариации КС, полученные за период 15.11.00-15.12.01. Данный график составлен путем осреднения суточных данных. Величина среднеквадратичного отклонения за сутки составляет $\pm 0,02\%$. На графике, на оси времени приведено количество атмосферных осадков в миллиметрах. Сравнение атмосферных осадков с графиками часовых измерений КС показывает, что они вызывают кратковременное уменьшение на 1-2%, которое затем восстанавливается в течение суток после их прекращения. За период наблюдений в Каспийском море произошло два сильных земле-

трясения: 25.11.00 магнитудой $M=6,3$, на расстоянии 270 км от Махачкала; 06.12.00 - $M=7,0$ (600 км). Перед этими землетрясениями наблюдалось скачкообразное увеличение КС на 3,0%. Спустя двое суток произошло первое сильное землетрясение с $M=6,3$, а через 13 суток – землетрясение с $M=7,0$. Данные землетрясения произошли вдоль крупного Копетдагского разлома, пересекающего Каспийское море по направлению восток-запад.

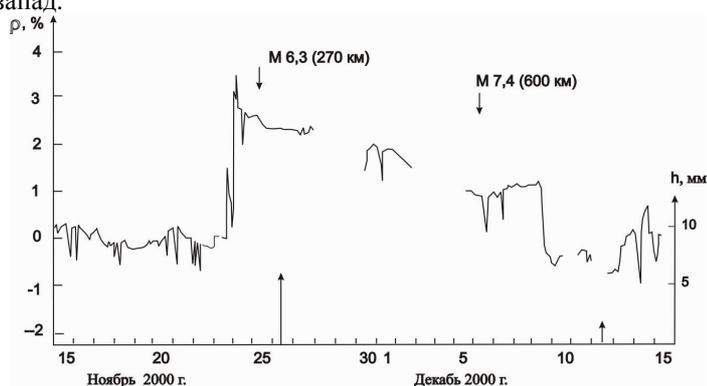


Рис. 4. Скачок кажущегося сопротивления перед сильными землетрясениями в Каспийском море.

Рассматривая причины, вызвавшие изменение КС на измерительном пункте «Махачкала» мы предполагаем, что они обусловлены процессом растяжения горных пород. Растяжение горных пород вызывает уменьшение уровня подземных вод, что, в свою очередь, обуславливает увеличение КС вследствие увеличения толщины верхнего, более высокоомного слоя. Для проверки данного предположения нами была сделана оценка изменения величины КС (ρ_k) для модели двухслойной геоэлектрической среды по формуле [4]:

$$\rho_k = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{1,2}^n r^3}{[r^2 + (2nh_1)^2]^{3/2}} \right\} \quad (1)$$

где ρ_1 – удельное сопротивление первого слоя; ρ_2 – удельное сопротивление второго слоя; h_1 – толщина первого слоя; $k_{1,2} = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)$ – коэффициент отражения; r – расстояние между питающими электродами. Подставляя в (1) численные значения для данного разреза: $\rho_1 = 15 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\rho_2 = 2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $h_1 = 4 \text{ м}$; $n = 10$ получаем $\rho_k = 2,33 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Допустим, что перед землетрясением уровень воды уменьшается на 0,1 м, при этом толщина слоя, расположенного выше уровня воды увеличится и станет равным $h_1^* = 4,1 \text{ м}$. Подставляя его в формулу (1), при прежних остальных коэффициентах, получаем $\rho_k = 2,34 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Величина вариации равна $(\Delta\rho_k / \rho_k) \times 100\% = 4,3\%$. Отсюда видно, что между увеличением КС на 3% и оценочной величиной изменения ρ_k наблюдается хорошее соответствие. Из этого следует, что вариации КС перед сильными землетрясениями вполне могут быть связаны с небольшими колебаниями уровня подземных вод.

Выводы:

1. Полученные результаты наблюдений за вариациями КС показывают, что электрическое зондирование с помощью четырехэлектродной установки с небольшими разносами является эффективным методом для обнаружения краткосрочных предвестников сильных землетрясений на заключительном этапе процесса его подготовки.
2. Станция непрерывного электрического зондирования позволяет проводить высокоточные наблюдения за вариациями КС с использованием компьютерных технологий, передачей результатов измерений через Интернет для их оперативной обработки.
3. Необходимо проведение дальнейших исследований, связанных с устранением или уменьшением влияния помех, обусловленных атмосферными осадками и другими экзогенными факторами.

Литература

1. Идармачев Ш.Г., Даниялов М.Г., Асманов О.А. Флуктуации электрического сопротивления земли в период 31 января 1999 г. в Дагестане. Геодинамика и сейсмичность Восточного Кавказа. Мат. Конф. (2-5 сентября 2002 г.) Махачкала Ин-т геол. Даг. НЦ РАН. 2002. с. 43-45.
2. Идармачев Ш.Г., Алиев М.М., Абдулаев Ш.О., Хаджи Б.А. Станция для электрического зондирования «Георезистор». Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов. Мат. Межд. Конференции. Воронеж. 2001. С. 85-86.
3. Электрические и магнитные предвестники землетрясений. Ташкент. Изд. Академии наук Узбекской ССР. 1983. 133 с.
4. Электроразведка. 1989. М.:Недра. (часть первая). 434 с.
5. Du X., Xue S., Hao Z., et al. 2000. On the Relation of moderate-shot term Anomaly of Earth Resistivity to Earthquake. Acta Seismologica Sinica. Vol. 13. No. 4. P. 393-403.
6. Meyer K. Periodic variations of the electric field of the Earth prior to imminent large earthquakes in Greece. Seismological Department, Uppsala University, Uppsala, Sweden, Report. 1985. No 3-85. P. 11.
7. Morrison H.F., Fernandez R., Corvin R.F. Earth resistivity, self-potential variations, and earthquakes: a negative result for $M=4.0$. // Geoph.Res.Let., Vol. 6, No 3, 1979. P. 130-142.
8. Rikitake T., Ymazaki Y. The Nature Resistivity Precursor. Earthquake Prediction Res. 1985. Vol. 3. P. 559-570.
9. Ymazaki Y. Tectonoelectrity // Geophysical surveys. 1977. No 3. P. 123-142.
10. Zhang H., Shen Q., Wu W., et al. 1996. An Approach on dynamic Earthquake Prediction by Georesistivity Measurements. Acta Seismologica Sinica. Vol.9. No. 3. P. 439-446.