

$$P_n = (\alpha^n / n) e^{-\alpha} \quad (2)$$

где α - параметр Пуассоновского стационарного потока.

Вероятность того, что в круге с радиусом R_n км за t лет не произойдет ни одного землетрясения, будет равна:

$$P_0 = e^{-\alpha} \quad (7)$$

Вероятность возникновения одного землетрясения равна: $P_1 = \alpha \cdot e^{-\alpha}$, а двух толчков равна: $P_2 = (\alpha^2 / 2) e^{-\alpha}$ (8)

где $\alpha = \pi \cdot (R_n)^2 \cdot \tau \cdot \lambda$; $\tau = T_n / 365$ - критическое время между землетрясениями, выраженное в годах; $\lambda = N / T \cdot S$ - среднее число землетрясений на единицу площади за единицу времени.

На исследуемой территории с площадью $S = 750 \text{ км}^2$ за период $T = 14$ лет (с 1976 по 1989 г.г.) произошло 79 землетрясений с $K \geq 10$. При значениях $R_n = 1,8$ км и $T_n = 840$ суток, $\tau = 2,3$, $\lambda = 7,5 \cdot 10^{-3}$, $\alpha = 0,176$, $P_0 = 0,83$, $P_1 = 0,14$, $P_2 = 0,013$. Вероятность случайного появления группы из двух и более землетрясений на площади с радиусом $R_n = 1,8$ км за $T_n = 840$ суток составляет величину $P_{\geq 2} = 1 - P_0 - P_1 = 0,03$, а из трех и более $P_{\geq 3} = 1 - P_0 - P_1 - P_2 = 0,005$.

Таким образом, вероятность случайного появления двух и более землетрясений мала, т.е. полученные нами значения $R_n = 1,8$ км и $T_n = 840$ суток показывают наличие связи между последовательными толчками в исследуемом районе. В данном случае взаимная связь между происходящими друг за другом землетрясениями может быть обусловлена влиянием водохранилища на окружающую геологическую среду.

Литература

1. Геодинамический эффект создания крупных водохранилищ в сейсмоактивных областях. М.: Наука, 1982. 74 с.
2. Rothe J.P. Earthquakes Reservoir Loadings. 4 th. World Conf. on Earthquake Engineering Santiago. 1969, Preprints, a - 1, P. 28 - 38.
3. Rothe J.P. Seismic Artificials. Tectonophysics. 1970. V. 9. № 2. P.215-238.
4. Мирзоев К.М., Азизов А.А. Статистические закономерности группирования коровых землетрясений Таджикистана и прилегающих территорий. Землетрясения Средней Азии и Казахстана 1981 г. Душанбе: Дониш, 1983. С. 48 - 68.
5. Мирзоев К.М. Группирование землетрясений Таджикистана // Изв. АН Тадж. ССР. 1980. №1. С. 62 - 70.
6. Вентцель. Теория вероятностей. М.: Наука, 1973. 336 с.

Краткосрочные вариации кажущегося сопротивления горных пород перед сильными землетрясениями каспийского региона

Ш.Г. Идармачев, И.А. Алиев, М.М. Алиев, А.Г. Магомедов
ИГ ДНЦ РАН

Начальный этап развития метода наблюдений за вариациями кажущегося сопротивления горных пород (КС) в целях прогноза землетрясения характеризуется увеличением глубины зондирования. Перед исследователями ставилась задача зондировать очаг землетрясения. Для этих целей использовались мощные источники энергии, такие как магнито-газодинамический генератор [2, 3]. Данные генераторы позволяют довести разносы дипольных установок до 30-40 км и тем самым достигнуть глубины зондирования до 10 км. Однако они вряд ли получат широкое применение из-за их дороговизны.

Более перспективным оказался путь китайских коллег, использовавших вместо дипольного зондирования четырехэлектродную симметричную установку с разносом до 1 км. Использование таких установок позволяет довести точность измерений до 0,1 % и выше, полностью автоматизировать процесс измерений, снизить энергозатраты более чем в тысячу раз. В настоящее время число таких станций в Китае достигает 120 [4].

Институт геологии ДНЦ РАН с 1997 г. проводит наблюдения за вариациями КС на одном из своих измерительных пунктов в окрестности г. Махачкала. Данный пункт получил название близлежащего поселка Турали. За период 1977-1999 г.г. измерения производились эпизодически, с февраля 2000 г. измерения производятся ежедневно. В данной статье приводятся результаты измерений в период времени, когда в районе Каспийского бассейна произошло два сильных землетрясения с магнитудами $M=6,5$ и $7,0$.

Измерительный участок расположен в зоне крупных сейсмоактивных разломов Кавказа (Срединный и Пшекиш-Тырныаузский), простирающихся вдоль западного берега Каспийского моря. Особенностью измерительного пункта является то, что он расположен на нефтегазовом месторождении Дмитровская, в трех километрах находится сеть эксплуатационных скважин с глубиной 3-3,5 км. Давление газа в забое достигает величины 160-180 атм.

Породы в районе измерительного пункта состоят из увлажненных глинистых пород с переслойками песка. Величина КС равна 5 Ом×м. Коренные породы залегают на глубине 30-35 м и состоят из песчаников. Уровень грунтовых вод расположен на глубине 40-45 м.

Методика наблюдений

Измерения КС производятся четырехэлектродной установкой с геометрическими размерами: питающий диполь - $AB=300$ м; приемный диполь- $MN=100$ м, при этом электроды MN располагаются в середине между электродами AB . Электрические линии растянуты по столбам и закреплены на изоляторах. Питающими электродами служат забитые в землю двухметровые металлические стержни, сваренные между собой. Электроды для приёмного диполя изготовлены из свинцовых пластин с размерами 20×20 см. Места пайки, а также выводы проводов тщательно изолированы. Электроды установлены на глубине 1 м. Разность потенциалов собственной поляризации электродов не превышает 15-20 мВ. В качестве электрических линий диполей используется полевой геофизический провод марки ГПСМ с сопротивлением изоляции 100 МОм.

Питающая установка мощностью 1,5 КВА состоит из выпрямителя трехфазного тока и инвертора. Величина тока в диполе в режиме двухполярного переключения равна 20 А. Длительность импульса зондирования равна 10 с. Зондирование состоит из 40-50 разнополярных импульсов. Измерение разности потенциалов на шунте в цепи питающего диполя и с электродов приемного диполя осуществляется поочередно, с помощью одного и того же цифрового вольтметра постоянного тока класса точности 2,5% с регистрацией на цифropечатающем устройстве. Такая методика позволяет измерять вариации КС относительно первоначального значения с точностью долей процента. После статистической обработки величина среднеквадратичного отклонения измерения КС не превышает 0,5%.

Величина КС определяется по формуле:

$$\rho = k \frac{\Delta U}{I} \quad (1)$$

где k – коэффициент, зависящий от геометрических размеров диполей; ΔU – величина разности потенциалов на приемных электродах; I – сила тока питающего диполя.

Так как при повторных измерениях размеры диполей и их расположение сохраняются неизменными, то коэффициент $k=Const$. При соблюдении этих условий величина КС (ρ) зависит только от $\Delta U/I$.

Вариации КС относительно первоначального его значения определяются по формуле:

$$\Delta\rho = \frac{\rho_0 - \rho_1}{\rho_0} 100\% \quad (2)$$

На основании данных повторных измерений строятся графики КС в зависимости от времени измерения.

Анализ результатов наблюдений

На рис. 1 представлены вариации КС за период 2000-2004 гг.

На данном рисунке видны в основном вариации КС двух различных видов:

- медленные изменения с длительностью несколько месяцев;
- скачкообразные изменения длительностью несколько суток, которые характеризуются увеличением КС.

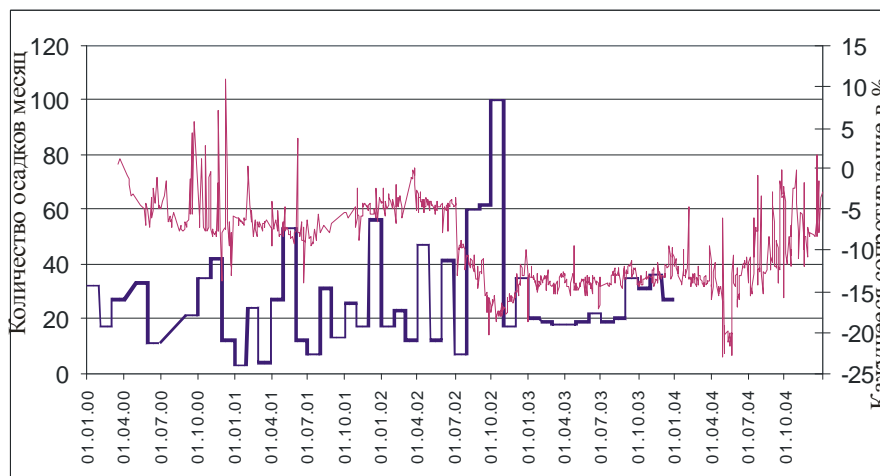


Рис.1. Вариации КС на Туралинском измерительном участке (верхний график) и суммарное количество осадков в миллиметрах за месяц (нижний график).

Одной из причин, вызывающих изменения КС может быть влияние атмосферных осадков. Для сравнения на рис. 1 приведена гистограмма количества атмосферных осадков в миллиметрах за месяц для исследуемого района. На рис.1 видно, что максимальное количество осадков выпало во второй половине 2002г. Увеличение количества осадков вызывает уменьшение КС на 13%. Данный факт достаточно убедительно показывает зависимость КС от атмосферных осадков. Вместе с тем наблюдаемые скачкообразные изменения не могут быть вызваны атмосферными осадками. Осадки способствуют ув-

лажнению пород, вследствие чего величина КС уменьшается. С другой стороны фильтрация атмосферных осадков через стометровую толщу пород, состоящих из суглинков с прослойками песка, длительный процесс, поэтому отмечающиеся увеличения КС импульсного характера не могут быть обусловлены изменением влажности пород.

Исследование связи вариаций кажущегося сопротивления с сейсмичностью района

2000 г. на территории Дагестана и в Каспийском море произошло 14 толчков, из них 12 - $K=11$ ($M=4,0$) энергетического класса и 2 - $K=12$ ($M=4,4$) Землетрясения с $K=12$ произошли 27.09.04 и 02.12.04 на расстояниях 200 км и 70 км от пункта наблюдения, соответственно [1]. На рис. 2 представлены вариации КС и схема эпицентров землетрясений за 2000 г. с энергетическими классами $K \geq 11$. Эпицентры землетрясений показаны кружочками. Размер кружочков соответствует определенному энергетическому классу толчка.

На рис. 2 видно, что перед отдельными, наиболее сильными толчками наблюдается скачкообразное увеличение КС на 12% и 15%.

За период наблюдения произошло также два сильных землетрясения: первое - 25.11.00 в Каспийском море, недалеко от г. Баку с магнитудой $M=6,5$ и с координатами $\varphi=49,2^\circ$, $\lambda=40,2^\circ$; второе - 06.12.00 в Туркмении на восточном побережье Каспийского моря ($M=7,0$; $\varphi=39,8^\circ$, $\lambda=54,5^\circ$). Эпицентральные расстояния от этих землетрясений до измерительного пункта составляют соответственно 300 км и 540 км. Эти землетрясения произошли в период времени между двумя последними пиками скачкообразного изменения КС. Во время этих пиков процесс увеличения КС начался 20.11.00, 23.11.00 достиг своего максимума, а в день толчка 25.11.00 КС полностью восстановилось. После того как произошли оба сильных землетрясения за период 10.12.00-13.12.00 вновь наблюдается увеличение КС на 18% с максимумом 12.12.00.

В 2001 г. на исследуемой территории произошло 7 землетрясений с энергетическими классами $K \geq 11$. Из них наиболее сильные толчки с энергетическими классами $K=12$ ($M=4,4$) и $K=13$ ($M=5,0$) произошли 18.02.01 и 05.06.01 на расстояниях 75 км и 145 км от измерительного пункта. Перед этими землетрясениями также наблюдается скачкообразные увеличения КС на 7% и 12% (см. рис.3).

Выводы:

1. Проведенный нами анализ вариаций КС на пункте Турали за период 2000-2004 гг. позволяет сделать вывод о том, что в отдельных случаях между кривой КС и выпадением атмосферных осадков наблюдается связь. Осадки величиной 60-100 мм в месяц вызывает уменьшение КС на 13%, при этом в последующий период не наблюдается восстановление КС.

2. Сравнение вариаций КС за период 2000-2001 г.г. с сейсмичностью района показывает возможность возникновения за несколько суток до землетрясения энергетического класса $K \geq 12$ ($M=4,4$) импульсного увеличения КС на 10-15%. Предполагается, что эти вариации обусловлены криповым движением блоков по разлому, которые так или иначе связаны с процессом подготовки сильного землетрясения. Об этом свидетельствуют сильные землетрясения в Каспийском бассейне, происшедшие 25.11 и 06.12 2000 г.. Эпицентры этих землетрясений располагаются на Копетдагском разломе, который трассируется через Среднюю Азию-Каспийское море - Главный Кавказский хребет.

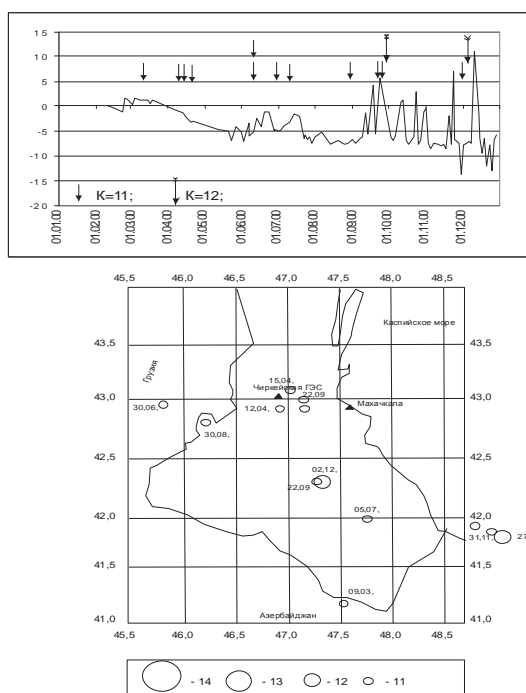


Рис.2. Вариации КС на Туралинском участке и схема расположения эпицентров землетрясений на территории Дагестана за 2000 г.

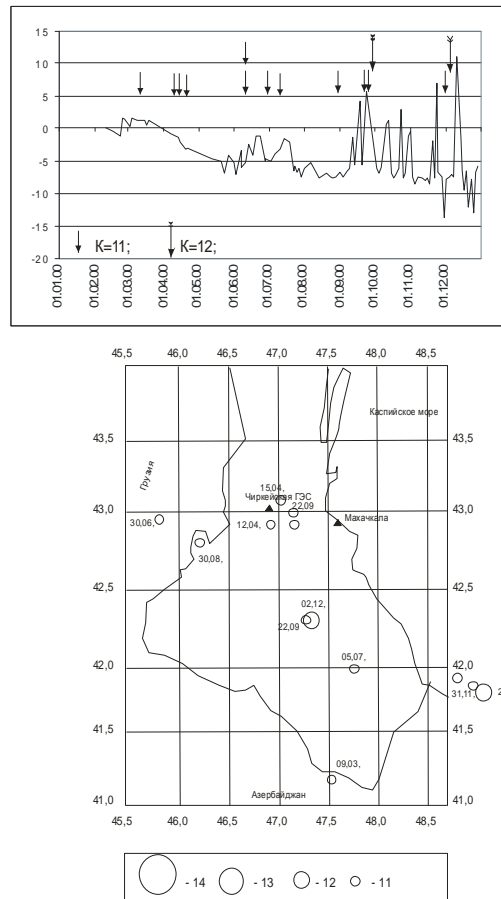


Рис. 3. Вариации КС на Туралинском участке и схема расположения эпицентров землетрясении на территории Дагестана за 2001 г.

Импульсное повышение КС перед землетрясением, возможно связано с расположением измерительного пункта в районе нефтегазового месторождения Дмитровская. Выброс газа на поверхность может привести к кратковременному увеличению удельного электрического сопротивления пород во время фильтрации газа к поверхности. Условиями, благоприятствующими выходу газа на поверхность могут быть подвижки на границах блоков. Согласно тектонической карте, месторождение Дмитровское располагается в разломной зоне, которая проходит вдоль побережья Каспийского моря (Срединный разлом). Гипотеза предполагающая выход газов из земли не является новой. Выбросы газов наблюдались перед сильными землетрясениями в различных сейсмоактивных районах мира. В частности у авторов была возможность лично наблюдать газовый факел в песчаниках в естественных условиях в окрестности г. Баку.

Литература

1. Даниялов М.Г., Левкович Р.А., Амиров С.Р. и др. Сейсмический мониторинг территории Дагестана (1998-2002 г.г.). Москва. Геофизическая служба РАН. 2003. 178 с.
2. Морохов И.Д., Велихов Е.П., Волков Ю.М. Импульсные МГД-генераторы и глубинное электромагнитное зондирование земной коры // Атомная энергия. 1978. Т.44. № 3. с.213-219.
3. Нерсесов И.Л., Сидорин А.Я., Журавлев В.И. и др. Прогноз землетрясений методом глубинного электромагнитного зондирования земной коры с использованием МГД-генератора «Памир-1» // ДАН СССР. 1979. Т.245. № 1. С. 55-58.
4. Zhang H.K., Shen G.X., Wu W. at el. An approach on dinamic earthquake prediction by georesistivity measurements // Acta Seismologica Sinica. 1996. Vol.9. No. 3. Pp.439-446.