

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,

что является характерной для возбужденной сейсмичности [2, 3] . Миграция очагов повторных толчков происходила, в основном, сверху вниз, что также присуще землетрясениям возбужденной природы.

Период после заполнения водохранилища отмечается резким спадом числа толчков. При последующих этапах заполнения также отмечается увеличение числа толчков, но в меньшей степени, чем на первом этапе.

Второй этап воздействия водохранилища на окружающую геологическую среду связан периодом эксплуатации ГЭС. Эксплуатационный режим обуславливает ежегодное изменение уровня воды в водохранилище на 30-40 м. Если на первом этапе заполнения водохранилища очевидно влияние процесса заполнения на сейсмический режим, то на втором этапе влияние водохранилища на окружающую среду остается неопределенным.

Для выяснения данного вопроса нами был применен статистический анализ пуассоновского распределения землетрясений в пространстве и во времени для исследуемого района. Соответствие пуассоновскому распределению определяет случайный характер событий, т.е. показывает, что землетрясения не связаны друг с другом. Отклонение от пуассоновского распределения показывает влияние возмущающей силы на сейсмический процесс. В частности, в данном случае, такой возмущающей силой, влияющей на район исследований, может служить нагрузка веса Чиркейского водохранилища ($P=2,9 \times 10^9$ т).

Ниже рассматривается соответствие пуассоновскому распределению [4] землетрясений в районе Чиркейского водохранилища за период 1976 - 1989 г.г. Для этого использовались все землетрясения с энергетическим классом $K \geq 10$, зарегистрированные на площади 750 км^2 . В центре выбранной площадки располагается водохранилище. Для анализа определялись средние расстояния и время между следующими друг за другом землетрясениями (R, t) для различных интервалов путем разбиения всего периода наблюдений T на ряд равных частей. Значение параметров R и t за не перекрывающиеся интервалы времени от 1 года до 14 лет приведены на рис.1. Как видно на рисунке разброс R по годовым интервалам лежит в пределах от 3,4 до 14,7 км, а затем с увеличением интервала наблюдений разброс R уменьшается и составляет 8-10 км. Среднее значение R за 14 лет равно 9 км.

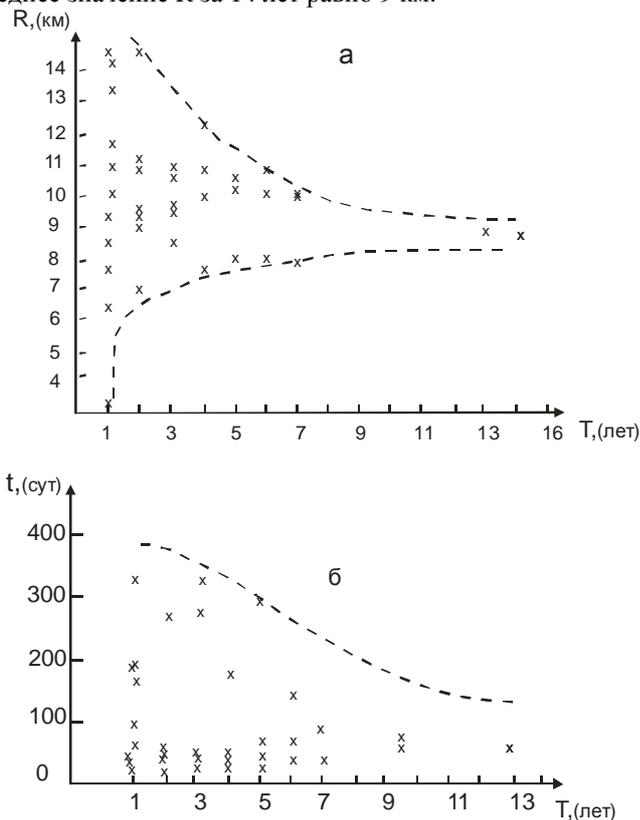


Рис.1

Разброс t для интервалов времен от 1 года до 5 лет составляет 15-320 суток. Среднее значение t за 14 лет наблюдений равно 70 суток.

Была проанализирована групповая взаимосвязь землетрясений в пространстве и во времени. Согласно [5] критическое расстояние и время связанных между собой землетрясений равны:

$$R_n = R / 5, \quad T_n = t \cdot S / 5 S_n \quad (1)$$

где S - площадь наблюдений;

S_n - площадь взаимного влияния землетрясений.

Для исследуемого района за период наблюдений 14 лет расчетные значения составляют - $R_n = 1,8$ км и $T_n = 840$ суток. Была оценена статистическая надежность расчетных значений с помощью формулы стационарного Пуассоновского потока [6]:

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

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.