

С.В. Мишин

(Северо-Восточный комплексный НИИ им. Н.А. Шило ДВО РАН;
e-mail: mishin@neisri.ru)

О ВОЗМОЖНОСТИ ВМЕШАТЕЛЬСТВА В ПРОЦЕССЫ "ПОДГОТОВКИ" ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Анализируются возможности срыва процессов "подготовки" слабых землетрясений до естественного завершения этих процессов.

Ключевые слова: землетрясение, прогноз.

S.V. Mishin

ON POSSIBLE INTERFERENCE IN THE PROCESS OF EARTHQUAKE PREPARATION

Analysis of capability of interruption of the earthquake "preparation" process before its spontaneous ending.

Key words: earthquake, forecast.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 18 августа 2014 г.

Введение

Одна из важнейших практических целей сейсмологии – прогноз сильнейших землетрясений, то есть аргументированное предсказание места, силы и времени будущего землетрясения. Решения этой задачи настоятельно требуют от сейсмологов жители сейсмоактивных районов Земли, в первую очередь, строители и инженеры.

По поводу надёжного прогноза землетрясений существуют разные мнения – от крайнего пессимизма до крайнего оптимизма – со временем эти мнения меняются [1]. Если предсказания места и силы будущих землетрясений (сейсмическое районирование) приобретают все больше аргументов в пользу достоверности (хотя и в этом направлении нередки ошибки), то предсказания времени ожидаемого события аргументируются сейчас, как и тысячу лет назад. Любая модель процесса землетрясения основывается на том, что материал земных недр в некоторой зоне разрушается, после чего быстро протекает процесс сейсмического излучения.

Если полагать, что начало процесса землетрясения закономерно связано с появлением хрупкой трещины, то приходится признать, что появление трещины – сугубо случайный процесс. Самым сложным представляется именно предсказание времени толчка. Например, мы знаем, что в г. Пиза находится знаменитая наклонная башня, которая может упасть. Мы можем точно указать наиболее опасное место, на котором расположатся обломки сооружения, довольно точно определим интенсивность сейсмического события, но будем бес-

помощно разводить руками на вопрос "когда это произойдет", хотя можем детально ознакомиться со структурой башни и материалами, из которых она сложена.

В случаях природных горных сооружений неопределенность времени ожидаемого сейсмического события настолько велика, что сейсмологи охотно отдают приоритет прогноза сверхчувствительным экстрасенсам или даже каким-то японским сомикам. Прогноз места и силы землетрясений регулярно проводится на сейсмоопасных территориях в виде сейсмического районирования по разным технологиям. Сейсмическое районирование как оценка сейсмической опасности района имеет уже историю, разные варианты исполнения, входит в нормативные документы Госстроя.

Разработанная в СВКНИИ концепция физики сейсмических процессов предполагает, что причиной природных сейсмических процессов является неоднородное распределение потенциальной энергии тяготения Земли в земных недрах. Иначе говоря, причиной землетрясений является перемещение блока горных пород под действием собственного веса и удар при его остановке. Процесс "подготовки" землетрясения заключается в длительном взаимодействии веса блока с прочностью контактовой зоны, удерживающей блок в покое. "Подготовка" завершается разрушением удерживающих связей и ударом при перемещении блока в новое положение [2, 3]. Длительность процесса разрушения связей определяется величиной давления на контактовую зону и прочностью материала, удерживающего блок в равновесии:

$$\tau = A e^{-\alpha\sigma},$$

где τ – долговечность существования твердого тела под нагрузкой σ ;
 A и α – характеристики твердой среды [4].

Современная техника в состоянии изменять обе эти величины.

Влияние инженерной деятельности человека на сейсмическую активность

Инженерная деятельность человека как рельефообразующий фактор уже, возможно, превзошла по своей интенсивности многие природные процессы. Технические воздействия на природу многообразны, и сейчас очевидна связь слабых землетрясений с возведением плотин крупных водохранилищ, закачкой жидкости в недра Земли, испытаниями ядерных устройств.

Сейсмические события, связанные с воздействием плотин крупнейших водохранилищ, принято называть наведённой сейсмичностью. В настоящее время этот эффект инженерной деятельности человечества достоверно установлен и учитывается при проектировании гидротехнических сооружений [5]. Впервые это явление наблюдалось в США после возведения плотины Гувер на р. Колорадо, образовавшей озеро Лейк-Мид. Заметный толчок был зарегистрирован через год после заполнения водохранилища в 1936 г. До этого существенной сейсмической активности в районе строительства не отмечалось.

Хорошо документированы случаи землетрясений после заполнения водохранилищ Кремаста в Греции и Койна в Индии. Сразу после заполнения в районах этих водохранилищ было зафиксировано увеличение числа слабых толчков. За слабыми событиями последовали сильные землетрясения с магнитудами более 6 (в Кремаста $M = 6,2$, в Койна $M = 6,3$). В Кремаста сильнейший толчок произошел через четыре месяца, в Койна – через четыре года после завершения строительства. Сильные толчки в этих районах привели к человеческим жертвам.

Значительное увеличение сейсмичности наблюдалось после заполнения крупнейшего в мире искусственного моря – озера Кариба на р. Замбези (Африка). Самые сильные толчки и здесь достигали магнитуды 6.

Проектирование и строительство крупных гидроузлов непременно предваряется изысканиями и оценками возможных сейсмических эффектов, возбуждаемых заполнением водохранилищ. Наведенная сейсмичность объясняется двумя главными факторами, действующими при эксплуатации гидроузла: во-первых, на дно водохранилища действует дополнительная нагрузка, создаваемая весом воды многометровой толщины, во-вторых, изменяется гидрологический режим участка, на котором построено водохранилище.

Вследствие увеличения давления в гидравлической системе подземных вод в ней протекают переходные процессы – твердая среда "промокает" под действием дополнительного давления, а это приводит к уменьшению её механической прочности. В результате действия увеличенных нагрузок на "вымоченную" систему связей долговечность существования исходного распределения масс уменьшается. Можно предполагать, что за время "промокания" мощной толщи горных пород в районе происходят те перемещения масс, которые при неизменных условиях совершались бы в течение столетий и тысячелетий. Заполнение водохранилища, по-видимому, вызывает более интенсивное выравнивание запасов потенциальной энергии горных масс из-за уменьшения прочности материалов в значительном объёме.

Другой пример вмешательства человека в процесс сейсмической активности – **закачка воды в скважины**. Это явление впервые было обнаружено вблизи г. Денвер (штат Колорадо) в Скалистых горах. Там была пробурена 3-километровая скважина для закачки в нее загрязненной воды. Нагнетать воду в скважину стали в 1962 г., и почти тотчас же последовали землетрясения. Закачку продолжали с различной скоростью еще три года, но прекратили, когда стало ясно, что число землетрясений тесным образом связано с количеством воды, закачанной в недра. Очаги землетрясений располагались здесь в радиусе нескольких километров от скважины на очень небольших глубинах (5 км); в этом районе сейсмичность ранее не отмечалась. Землетрясения ощущались жителями Денвера и привлекли большое внимание общественности. В основном землетрясения были слабыми ($M \leq 4$), а у сильнейшего $M = 5,2$. Оно произошло в 1967 г., спустя примерно год после того, как закачка воды была прекращена. Наиболее вероятной причиной этих землетрясений можно также считать увеличение влагонасыщенности горных пород в области скважины.

Несколько лет спустя в районе Рейнджли – небольшого городка в том же штате Колорадо – возникла подобная ситуация. Добычу нефти из месторождения Рейнджли начали еще в 1945 г., откачивая её из пласта песчаника с глубины около 1,5 км. Поровое давление в породах падало по мере откачки нефти вплоть до 1957 г., когда началась закачка воды в скважины для облегчения добычи нефти. Начиная с 1969 г. Геологическая служба США поставила здесь ряд контролируемых экспериментов. Воду закачивали в скважины и откачивали из них, измеряя поровое давление. Для регистрации возможных землетрясений дополнительно установили сейсмографы. Оказалось, что в зоне закачки часто происходят слабые землетрясения (магнитудой 3,5 и менее) и что уровень сейсмичности изменяется в зависимости от количества нагнетаемой жидкости. Когда происходила закачка и поровое давление возрастало, количество землетрясений также возрастало, при откачке их число падало.

Возбуждению локальной сейсмичности способствуют ещё **ядерные испытания**. На основании многочисленных экспериментальных данных установлено, что **подземные** ядерные взрывы мощностью от нескольких десятков килотонн до мегатонны, проведенные на испытательном полигоне в Неваде (США), инициировали мелкофокусные землетрясения, приведшие к сейсмоактивным тектоническим разломам [6]. Район испытательного полигона является сейсмоактивным, и ранее в нем были отмечены многочисленные землетрясения магнитудами 6 и несколько более. Интенсивность сотрясений от землетрясений, инициированных взрывами, в ряде случаев ниже интенсивности сотрясений от самих взрывов. Обычно же магнитуды землетрясений, эпицентры которых удалены на 5-20 км от эпицентра взрыва, на 1-2 единицы магнитуды меньше магнитуды взрыва. До настоящего времени не отмечено инициирования ядерными взрывами землетрясений, магнитуды которых превышали бы магнитуды самих взрывов.

В рассмотренных случаях возбужденные (наведенные, инициированные) **землетрясения** являлись результатами нецеленаправленной деятельности человека – это побочные эффекты заполнения водохранилищ или других инженерных действий. Задачей сейсмологии следует считать выяснение возможностей влиять на сейсмический режим с наименьшими затратами в тех местах, где это необходимо. Для проведения работ по подавлению землетрясений или для их срыва в заранее выбранный момент необходимо опробовать **возможные способы вмешательства в природные процессы** – найти "спусковой крючок" процесса землетрясения.

Существование такого "крючка" допустимо – ведь процесс "подготовки" землетрясения в естественных условиях завершается без дополнительных затрат энергии. Нетрудно вообразить **возможность целенаправленного воздействия** на процесс – уменьшить или увеличить **долговечность** существования **твёрдой системы под нагрузкой**. В качестве "**спускового крючка**" можно рассматривать **электрическое поле**, которое должно изменять механическую прочность горных пород в выбранном объёме и способствовать преждевременному разрушению связей, удерживающих блок в покое.

Были проведены эксперименты по оценке влияния электрического поля на процесс разрушения стеклянных образцов [7]. Образцы в виде прямоугольных призм размерами $2 \times 2 \times 4 \text{ см}^3$ разрушались одноосным сжатием с применением 50-тонного гидравлического пресса. В процессе разрушения измеряли нагрузку, создаваемую прессом на поверхность образца, время действия нагрузки от включения пресса до момента потери устойчивости образца, оценивалась поверхность разрыва сплошности образца (с использованием простейшего гранулометрического анализа).

Образцы последовательно разрушали при включенном электрическом поле и без него. Для этого на образцах укрепляли обкладки, чтобы образец находился в поле плоского конденсатора, заряженного до 150 В (или разряженного). При разрушении образцов "в поле" и "без поля" обнаружилась существенная разница в параметрах процесса разрушения. Если "без поля" образец разрушался в среднем при нагрузках около 20 т , то "в поле" разрушение происходило при нагрузке 10 т . Соответственно значения импульса силы (произведения нагрузки на время её действия) составили для разрушения "без поля" около 120 тс , а "в поле" – 40 тс .

Проведённые опыты позволили утверждать, что постоянное электрическое поле влияет на процесс хрупкого разрушения стекла. В.Н. Силантьев объяснил такие результаты на основе представлений о движении дефектов кристаллической структуры в электрическом поле [8].

Представляется возможным использовать электрическое поле и для вмешательства в процессы "подготовки" землетрясений.

Были проведены опыты по разрушению образцов стекла ударами стальных шариков разной массы, падающими с разных высот [9]. Один удар шарика не разбивал стеклянный образец, однако удары повторялись до разрушения образца. Число таких ударов оказалось обратно пропорциональным интенсивности воздействия – чем сильнее единичное воздействие, тем меньше ударов требуется для разрыва сплошности образца, то есть в материале накапливаются микроповреждения, которые и определяют разрыв.

Рис. 1 иллюстрирует наше представление о характере процессов "подготовки" землетрясений.

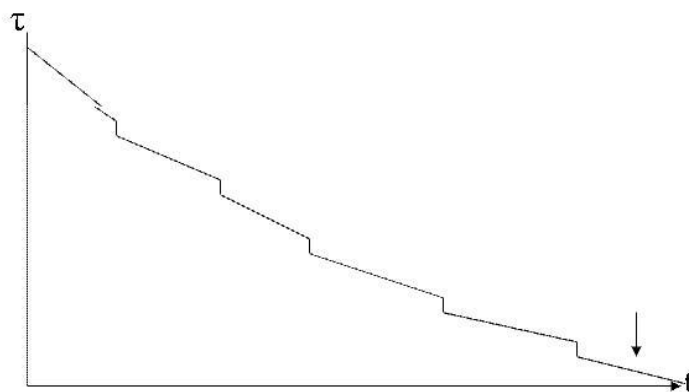


Рис. 1. Предполагаемый характер изменения прочности опоры блока

Долговечность τ существования опоры крупного блока (прочность) горных пород прерывисто уменьшается со временем как за счет тепловых процессов, так и за счёт внешних нагрузок. Разрушение опоры произойдет естественным путем через интервал времени Δt . На конечном участке процесса "подготовки" значения τ невелики, и вмешательство в процесс "подготовки" не требует значительной энергии.

Заключение

Сейсмология уже сейчас должна ставить задачу вмешательства в процессы "подготовки" землетрясений с целью срыва процессов в заранее выбранные моменты или даже спуска процессов землетрясений по частям. Первым этапом такой технической задачи должно быть определение распределения запасов и градиентов потенциальной энергии тяготения в радиусе 100-150 км от выбранного пункта.

Литература

1. **Мози К.** Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.
2. **Мишин С.В.** Сейсмические процессы и сохранение импульса. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. 115 с.
3. **Мишин С.В.** О физике сейсмических процессов. Эксперименты и модели // Lambert Academic Publishing. 2013. 196 с.
4. **Журков С.Н.** Дилатонный механизм прочности твердых тел // Физика прочности и пластичности. Л: Наука, 1986. С. 5-11.
5. **Николаев Н.И.** О состоянии изучения проблемы возбужденных землетрясений, связанных с инженерной деятельностью // Влияние инженерной деятельности на сейсмический режим. М.: Наука, 1977. С. 4-20.
6. **Пасечник И.П.** Землетрясения, инициированные подземными ядерными взрывами. // Влияние инженерной деятельности на сейсмический режим. М.: Наука, 1977. С. 142-160.
7. **Мишин С.В.** Природа сейсмических процессов. Магадан: СВКНИИ, Деп. ВИНТИ № 2849-79 деп., 1979. 252 с.
8. **Измайлов Л.И., Мишин С.В., Силантьев В.Н. и др.** Физика сейсмического излучения: гипотезы и эксперименты. Магадан: СВКНИИ, Деп. ВИНТИ №8482 деп., 1987. 157 с.
9. **Мишин С.В., Воропаева Е.Н.** Эксперименты по разрушению стекла механическими ударами. Магадан: СВКНИИ, Деп. ВИНТИ №7012-84 деп., 1984. 17 с.