

## Об одном подходе к оперативному прогнозу сильного землетрясения

Ш.-С.О. Абдуллаев

Отдел математики ДНЦ РАН

Вводится понятие оперативный прогноз землетрясений. Представлены возможные методы прогноза сильных землетрясений на основе известных предвестниковых параметров.

Многие ученые еще в конце прошлого века утверждали, что прогноз землетрясений инженерная задача, но его реализация очень дорог, и не все страны могут себе создать подобные системы. Но есть одно ограничивающее обстоятельство, когда «уровень ложных тревог» достаточно высок или прогнозируемое землетрясение преобразовалось в серию мелких не катастрофических землетрясений, а это связано с большими неоправданными затратами, потому что меры, принятые по предотвращению возможных катастроф (эвакуация сотен тысяч людей, отключение электрических газовых, водных магистралей и т.д.), приведут к потерям в местном бюджете. Хотя опять же, в планетарном масштабе это окажется мизерными затратами, несравнимыми с предотвращенным ущербом. Поэтому и здесь нужны поиски оптимальных мер по предотвращению возможного ущерба: может быть, необходимо принять меры на локальной территории, где вероятность «ложной тревоги» невелика.

Ранее мы говорили о необходимости новых подходов к прогнозу землетрясений с использованием традиционных геодинамических подходов, решению этой задачи на планетарном уровне и такая постановка остается в силе, особенно когда речь идет о среднесрочном и долгосрочном прогнозе и повышении достоверности прогноза времени землетрясения [1].

Прежде всего определимся с понятием «оперативный прогноз», под которым будем подразумевать краткосрочный прогноз со временем формально от 1 сек до 24 часов, за которое могут быть оповещены административно-информационные органы о наступающем землетрясении и выполнены первоочередные действия по спасению людей и предотвращению ущерба.

Рассмотрим для локальной территории подход, предложенный к.ф.-м.н., Приходовским М.А. (г.Томск) [2].

Надежные краткосрочные предвестники, которые позволяют предупредить о землетрясении за время от нескольких секунд до нескольких минут существуют, и современное общество может построить систему прогнозирования на их основе. Для этого допустим следующие предположения:

1. Краткосрочный предвестник может существовать не в той точке земной поверхности, для которой требуется предсказать землетрясение, а на расстоянии десятков и сотен километров от нее.
  2. В качестве основного надежного предвестника землетрясения использовать сами сейсмические волны.
  3. Сигнал от эпицентра может служить предвестником для остальных прилегающих населенных пунктов, т.е. землетрясение не происходит одновременно для всей территории, вот эту разницу достижения сейсмической волны можно использовать для оперативного оповещения других населенных пунктов и территорий. Это время может достигать от нескольких секунд, до нескольких десятков секунд и минут. За это время может быть предотвращен основной ущерб от землетрясений – гибель людей.
  4. Начало процесса распространения сейсмических волн от очага землетрясения наука не установила.
  5. Землетрясение в данной точке земной поверхности – это процесс прохождения сейсмической волны через данную точку. Скорость распространения этой волны 3-5 км/сек в зависимости от геологической структуры. Если населенный пункт не над гипоцентром, а на каком-то удалении от эпицентра, то время прохождения сейсмической волны от эпицентра до населенного пункта и будет временем прогноза.
- Очаг землетрясения характеризуется интенсивностью сейсмического эффекта, выражаемого в баллах и магнитуде. В России используется 12-балльная шкала интенсивности Медведева-Шпонхойера-Карника (MSK). Согласно этой шкале принята такая градация интенсивности землетрясений, при которой 1-3 балла – слабые землетрясения, а 12 баллов – губительные катастрофы (вызывает изменение рельефа местности на обширной территории).

Магнитуда землетрясения по Рихтеру определяется как десятичный логарифм отношения максимальных амплитуд сейсмических волн данного землетрясения ( $A$ ) к амплитуде таких же волн некоторого стандартного землетрясения ( $A_x$ ). Чем больше размах волны, тем соответственно больше смещение грунта. В настоящее время оценка землетрясений в магнитудах применяется чаще, чем в баллах.

Инженерный подход состоит в следующем: в зонах повышенной сейсмической активности надо развернуть разветвленную сеть сейсмических станций, которые могут работать автономно и в автоматическом режиме. Все аномальные явления по каналам связи должны передаваться в компьютерные центры, обрабатываться в оперативном порядке и одновременно сопоставляться с банком данных обо всех землетрясениях, происходивших в этом регионе ранее. Длительное наблюдение за протекающими в толще земной коры явлениями позволит на каком-то этапе концентрировать внимание на относительно небольшом участке земли, а затем выделить площадь земной поверхности, на котором должно произойти землетрясение. Предвестники, которые проявляются за месяцы, дни и даже за считанные минуты до землетрясения, и являются основой для оперативного сейсмического прогноза. Однако для такой системы необходима очень четкая система оповещения, не говоря уже об автоматических и автономно работающих сейсмоприемниках, плотность размещения которых в сейсмоактивных зонах должна быть большой и определяться чувствительностью сейсмоприемников и состоянием геологической среды.

Одновременно должны продолжаться фундаментальные исследования по оперативному (краткосрочному) прогнозу сильных землетрясений. Дело в том, что сколь бы строги не были методы прогноза, но большая величина «ложных тревог» может привести к большим потерям. Поэтому кроме традиционных методов определения предвестников и прогноза землетрясений, необходимы поиски новых методов непосредственного наблюдения и контроля. Это, прежде всего, связано с выделением огромной энергии при землетрясении, вызывающие губительные разрушения.

Энергия, выделяющаяся при землетрясениях,

$$E = p^2rv(\alpha/T),$$

где  $v$  – скорость распространения сейсмических волн;  $r$  – плотность верхних слоев земли;  $\alpha$  – амплитуда смещения;  $T$  – период колебания;  $p$  – волны (энергия  $p$ -волн).

Гутенберг Б. и Рихтер Ч., работавшие в Калифорнийском технологическом институте, установили связь между энергией землетрясения и его магнитудой по шкале Рихтера:

$$\log E = 9,9 + 1,9M - 0,024M^2,$$

где  $E$  – энергия землетрясения.

Эта формула показывает какая колоссальная энергия выделяется при увеличении магнитуды. Эта энергия превышает в несколько миллионов раз энергию стандартной 100 кг ядерной бомбы (1000–1018 эрг). Вышеизложенное свидетельствует о необходимости фундаментальных исследований во всех областях сейсмологии, в том числе и в области распространения продольной ( $p$ -волны) и поперечной ( $S$ -волны) волн, различие скорости прохождения которых в различных геологических средах может быть предвестником, а также волн Лява (L) и волны Релея (R) [4]. Каждая волна имеет свои особенности, их искусственное формирование и изучение для целей прогнозирования или трансформации (разрядки) очень сильных (разрушительных) землетрясений является отдельной самостоятельной задачей.

Для этой цели можно специально спроектировать мощный искусственный вибратор сейсмических волн, который может быть источником предвестниковой информации землетрясений и он же может быть триггером для запуска ожидаемых землетрясений или их трансформаций в последовательность слабых землетрясений. Кроме того, указанный вибратор с соответствующей модуляцией может использоваться для сообщения надежного, но малоинформативного сигнала, который требуется во многих случаях на практике.

И, наконец, следует сказать об космических исследованиях и в том числе ионосферных исследованиях [3].

Эти исследования могут дать ответ на вторую половину вопроса прогноза землетрясения: когда произойдет сильное ( $M \geq 7$ ) землетрясение?

За последнее десятилетие в этом сложном вопросе наметился существенный прогресс. Выяснилось, что с космического расстояния предсказать время начала землетрясения значительно проще, чем вблизи. Ученые убедились, что на различные параметры околоземного космического пространства и на состояние космической погоды будущее землетрясение оказывает существенное влияние. Наиболее чувствительной областью является ионосфера, т.е. ионизированная часть земной атмосферы, которая находится ориентировочно в области высот от 70 до 700 км над поверхностью Земли. Появилось даже название: «ионосферные предвестники землетрясения» – сложный комплекс явлений электромагнитной природы, регистрируемый прежде всего с помощью искусственного спутника Земли (ИСЗ). Бортовые исследования имеют невысокую точность определения положения будущего эпицентра землетрясения, но они лучше других методов позволяют ответить на вопрос «когда?» и в качестве важнейшего звена должны войти в комплексную программу прогноза землетрясений. Ионосферные предвестники землетрясений проявляются в виде специфических вариаций параметров космической плазмы, электрических и магнитных квазипостоянных полей и электромагнитных волн, потоков энергетических частиц. Характерной особенностью наблюдаемых вариаций является то, что они регистрируются в определенной области пространства, проекция которой на поверхность Земли включает положение эпицентра будущего землетрясения. Конечно, разные предвестники имеют различную вероятность точного предсказания землетрясений и, соответственно, различный поток «ложных тревог».

В 2001 г. специальная комиссия экспертов, созданная Росавиакосмосом, провела сравнительное изучение всех возможных методов предсказания землетрясений с помощью космических аппаратов (КА) и определила самые перспективные. В их числе – радиозондирование ионосферы со спутников, а наиболее перспективным прибором назван ионозонд. (Еще раз подчеркнем, что были названы наиболее перспективные прибор и метод, но не единственные. Вопрос настолько сложен, что только комплексное изучение всех сторон процесса формирования землетрясения сулит надежду на его точное предсказание).

Не вдаваясь подробно в достаточно сложную теорию происхождения и существования ионосферных предвестников, отметим, что существенным моментом появления предвестника является образование над той областью Земли, где будет будущий эпицентр землетрясения, зоны повышенной или пониженной электронной плотности. На высоте, где концентрация электронов максимальна. Но вот беда: уровень превышения плотности электронов, вызванного воздействием предвестника землетрясения, над показателем фонового состояния по современным представлениям не более 20-25%. Поэтому методика нахождения предвестника должна опираться на постоянное патрулирование зоны, где ожидается земле-

трясение, и постоянное определение фонового состояния, изменение которого и может дать предсказание момента начала землетрясения. Последнее означает, что космический ионозонд, предсказывающий землетрясения, должен одновременно выполнять задачи ионосферной службы, которая в настоящее время опирается только на наземные ионозонды, являющиеся основными приборами наземных ионосферных обсерваторий. Это в значительной степени усложняет сам космический эксперимент, вынуждает делать процесс обработки данных полностью автоматизированным, что, в свою очередь, приводит к необходимости создания ионозонда на основе поляризационного разделения сигналов и другим сложностям.

Однако и предложенный подход не дает достоверный прогноз, но использование параметров ионосферы для прогноза повышает достоверность.

Заключение

1. Необходим методологический новый планетарный подход к краткосрочному прогнозу.
2. Шире привлекать математический аппарат к более строгой обработке результатов наблюдений над предвестниками и самими параметрами землетрясений, обеспечивая оперативное сравнение с имеющимися данными.
3. Расширять число предвестников землетрясений, в том числе использовать ионосферные параметры землетрясений для повышения достоверности прогноза и уменьшения «порога ложных тревог», в частности, используя различия в скоростях прохождения поперечной и продольной волны.
4. Рекомендовать шире использовать искусственное вибропросечивание Земли для решения задач прогноза землетрясений и многих экологических и экономических задач.
5. Принять для каждой сейсмоактивной зоны апостериорный алгоритм прогноза землетрясения и его постоянное сравнение с предвестниковыми параметрами, хотя бы для идентичных геологических структур, идентичных геодинамических ситуаций и других научно установленных процессов в литосфере – верхней части тектонических плит.

Литература

1. Абдулаев Ш.-С.О. К проблеме прогноза сильных землетрясений. // «Вестник ДНЦ», № 23, 2006 г.
2. Приходовский М.А. «Прогноз: о возможности краткосрочного прогноза землетрясений». Известия науки, сайт Интернета, 11.03.2006 г.
3. Абдулаев Ш.-С.О., Жеребцов Г.А. // «Вопросы фундаментальных и поисковых работ», 1974 г.
4. Алексеев А.С., Абдулаев Ш.-С.О., Пушной Б.М., Виноградов Ю.И. // «Вопросы фундаментальных и поисковых работ», 1981 г.

### Полимерная модель сейсмогенеза и тектогенеза

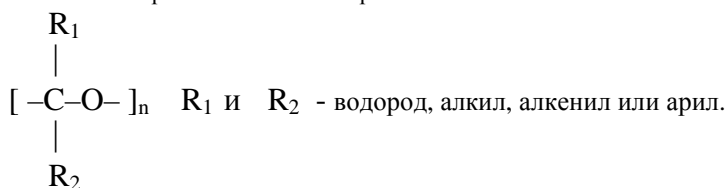
С.Х. Магидов  
ИГ ДНЦ РАН

Более 90% времени подготовки землетрясений затрачивается на упругую деформацию в очаговой зоне, что отражается соответственно на показателях окружающей среды, которые можно использовать как предвестники землетрясений[1]. Чтобы повысить надежность прогноза землетрясений необходимо проведение целого комплекса исследований по литомониторингу. Однако без знания механизма формирования напряженной зоны, которая впоследствии превращается в очаг землетрясения, сложно оценить вероятность тех или иных изменений, а тем более давать надежные прогнозы.

Без знания геохимических особенностей, физико- механических свойств горных пород при соответствующих показателях давления, температуры, механических напряжений и времен воздействия невозможны научно- обоснованные прогнозы. Но многие из этих данных очень сложно получить, поэтому наиболее приемлемым выходом может стать аналоговое моделирование, так как органические и неорганические полимеры имеют сходные свойства в широкой области. Об этом может свидетельствовать и определенное сходство структурных формул некоторых классов органических и неорганических полимеров[2,3].

Структурные формулы некоторых классов органических и неорганических полимеров.

Органические полимеры



Органические полимеры кремния (кремнийорганические полимеры)

