
НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 550.3

К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО РЕАГИРОВАНИЯ НА СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Ш.-С. О. Абдулаев¹, М. М. Алиев²,
Ш. Г. Идармачев¹, В. И. Черкашин¹

¹Институт геологии ДНЦРАН

²Институт проблем геотермии ДНЦ РАН

Предлагается новый подход к созданию системы оперативного предупреждения землетрясений, основанный на различии скоростей распространения продольных и поперечных волн от очага и уровней их разрушающего воздействия на окружающую среду. Разработан действующий макет сейсмического сигнализатора. Данное устройство может найти применение для автоматических включений средств защиты на промышленных предприятиях повышенной опасности, ГЭС, АЭС и др.

Here is a new approach to the creation of an operational earthquake prediction system based on the difference in velocities of longitudinal and transverse waves from the hearth and in levels of their destructive impact on the environment. Developed has been a working model of the seismic alarm. This device can be used for automatic switch on of the warning and protecting systems in industrial enterprises of the increased danger, hydroelectric, nuclear power plants, etc.

Ключевые слова: прогноз землетрясений; предвестники сейсмических событий; сейсмические датчики.

Keywords: earthquake prediction; harbingers of seismic events; seismic sensors.

Разработка прогноза землетрясений путем выявления и измерения параметров предвестников сейсмических событий остается одной из важнейших и востребованных проблем в мире. С расширением наших знаний о солнечно-земных связях, о влиянии этих связей на галактические процессы, о строении нашей планеты и ее энергетических источниках проблема оперативного прогноза землетрясений становится особенно актуальной.

Под оперативным прогнозом будем понимать краткосрочный прогноз по времени, составляющий от 1 с и более с указанием эпицентральной области землетрясения, в которой сотрясения земли могут превысить интенсивность более 7 баллов по 12-балльной шкале MSK-64. За это время о наступающем землетрясении могут быть оповещены административно-организационные структуры и выполнены первоочередные работы по спасению людей и предотвращению ущерба.

Многие ученые еще в конце прошлого века утверждали, что прогноз землетрясений – инженерная задача, но ее реализация очень дорога и не все страны могут позволить себе создать подобные системы. Даже при наличии такой системы есть одно ограничивающее обстоятельство, когда «уровень ложных тревог» достаточно высок или прогнозируемое землетрясение преобразовалось в серию мелких не катастрофических землетрясений. Это неминуемо связано с большими непредвиденными затратами, потому что меры, принимаемые по предотвращению возможных катастроф – эвакуация сотен тысяч людей, отключение электрических, газовых, водных магистралей и т.д., приведут к существенным потерям в местном бюджете (хотя в планетарном масштабе они окажутся мизерными по сравнению с предотвращенным ущербом). Поэтому нужны поиски новых оптимальных решений для создания системы раннего предупреждения землетрясений на основе определенных предвестников сейсмических событий.

Сами предвестники подразделяются на два класса: 1-й класс – долгосрочные и среднесрочные, у которых наиболее четко выражена связь с областью очага землетрясения и его магнитудой, при этом фронт предвестника распространяется от очага; 2-й класс – краткосрочные, длительность которых составляет от 1 до

24 часов, при этом связь с магнитудой землетрясения и расположением очага менее выражена [5].

Авторами [1-4] на основе анализа более 1000 экспериментальных данных (геофизических, гидрогеологических, геохимических и др., получены зависимости аномалий амплитуды и длительности от эпицентрального расстояния и магнитуды землетрясений.

Таким образом, проблема прогноза землетрясения находится еще на стадии научно-исследовательских работ и не может быть использована в практических целях. Для обеспечения безопасности населенных пунктов и ответственных сооружений необходим поиск других подходов. В частности, в работе [6] предлагается построить систему предупреждения землетрясения, используя для этого сейсмические волны, распространяющиеся от очага в момент его образования. В точку земной поверхности, находящуюся над очагом (в эпицентре землетрясения), волна доходит раньше, чем в любую другую точку. Обозначая глубину очага h , расстояние от эпицентра до населенного пункта i , скорость сейсмических волн v , вычислим разницу времени прихода волн в точки эпицентра и населенного пункта по формуле [6]:

$$\Delta t = (\sqrt{l^2 + h^2} - h) / v .$$

Для примера рассмотрим случай, когда $i = 30$ км; $v = 5$ км/с. В этом случае время опережения для сигнала тревоги составляет 2 с. Оповещение о землетрясении с опережением 2 с вряд ли окажется полезным для населения, но вполне может быть использовано соответствующими службами для автоматических аварийных отключений технических систем. В частности, подобного рода система используется для аварийного отключения систем Игналинской атомной станции, для этого вокруг нее в радиусе 50 км установлены 4 сейсмические станции, которые обеспечивают аварийное отключение станции до прихода сейсмических волн.

Автор [6] предлагает создать систему из сети сейсмических датчиков, объединенных между собой, например, сотовой связью, с передачей информации в режиме реального времени. Число сейсмических датчиков определяется из расчета 1 датчик на 1 км². К примеру, для создания такой системы в сейсмоактивной части территории Дагестана потребуется где-то около 20 000 датчиков, при этом для каждого датчика нужен источник питания и сотовый телефон. Такой проект вряд ли можно осуществить в ближайшей перспективе.

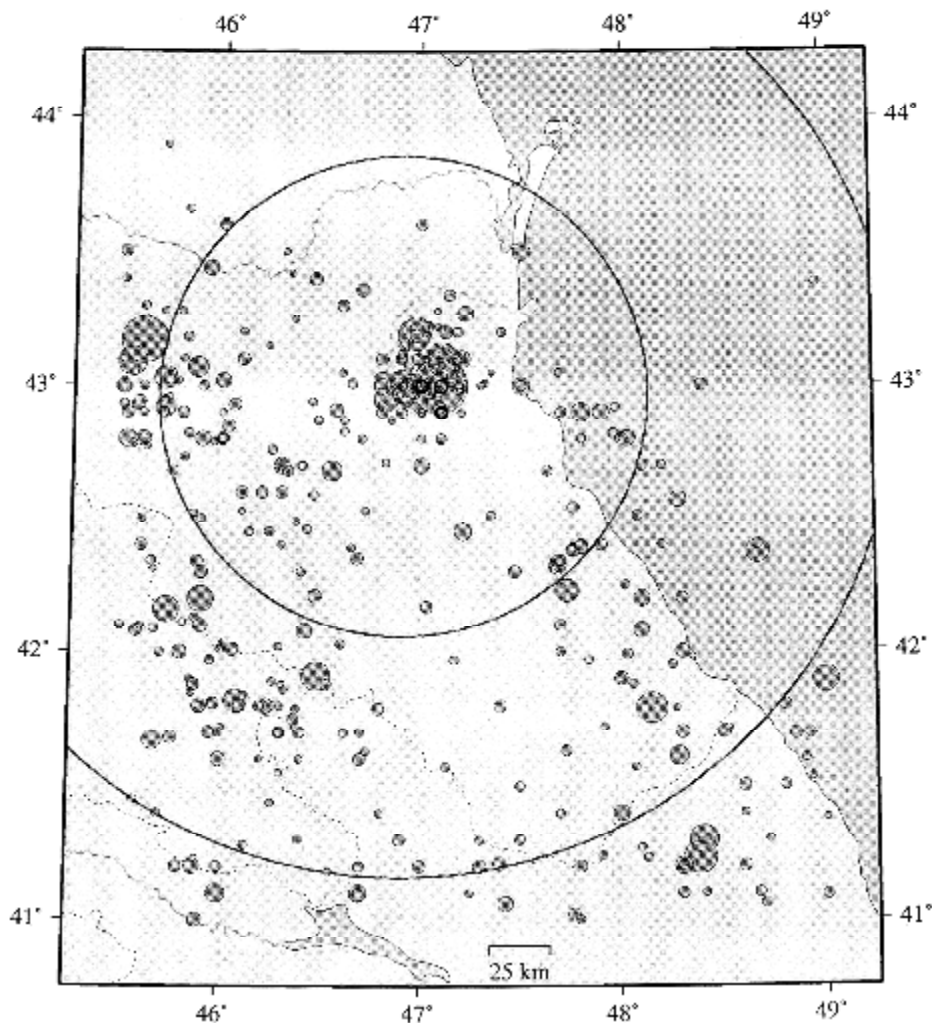


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений с магнитудами $M \geq 4$, произошедших на территории Дагестана за период 1960–2006 гг.

Система раннего предупреждения сильного землетрясения разрабатывается Геологической службой США совместно с учеными университетов с целью ликвидации последствий стихийных бедствий [7]. Она использует уже существующую сеть сейсмических станций USGS, способных автоматически передавать информацию о землетрясении через Интернет, электронную почту, текстовые сообщения. Эти предупреждения позволяют людям принять меры защиты, в том числе и объектов повышенной опасности. Однако определение параметров землетрясений и размещение их на сайте в Интернете или отправки сигнала по каналу сотовой связи занимает время, счет которого идет на секунды, что может сделать систему не эффективной. В этом плане система обеспечения сейсмической безопасности, которая применяется на Игналинской атомной станции, имеет существенное преимущество перед системами, использующими Интернет и сотовую связь.

В Российской Федерации вдоль трассы нефте- и газопроводов в Сибири, которые расположены на участках повышенной сейсмической активности, также существует сеть из пунктов наблюдений для регистрации землетрясений. Они обеспечивают автоматическое отключение режимов перекачки углеводородов по трубопроводу в зависимости от интенсивности сотрясения земли. При 8-балльном сотрясении по 12-балльной шкале MSK-64 насосы отключаются. Данная система не критична ко времени срабатывания защиты, которая является первостепенной для атомных и гидроэлектростанций, так как основная задача по защите трубопроводов связана с остановкой насоса нефтеперекачивающих станций.

На территории Дагестана работы, связанные с автоматизацией защиты от сильного землетрясения, особую значимость имеют для района Сулакского каскада ГЭС, который включает в себя Чиркейскую, Миатлинскую и Чирюртовскую гидроэлектростанции. В данном районе за последние 40 лет произошло четыре сильных землетрясения. О высокой степени сейсмической активности района можно судить на карте эпицентров (рис. 1), составленной за период 1960–2006 гг. Здесь размеры кружков соответствуют магнитуде землетрясения (M), так, наибольший радиус круга равен $M = 6.6$. Такая высокая сейсмическая активность требует обеспечения раннего предупреждения сильного землетрясения в районе Сулакского каскада ГЭС.

Учитывая рассмотренные выше существующие средства оповещения, а также острую необходимость в решении вопроса сейсмической безопасности, мы предлагаем несколько иной подход к созданию системы раннего предупреждения, который заключается в использовании различных типов сейсмических волн. Во время сейсмического события из очага землетрясения одновременно распространяются продольные (P) и поперечные (S) волны, при этом скорости их разные. Скорость продольной волны сжатия – растяжения примерно в два раза превышает скорость поперечной волны, которая вызывает колебания земли перпендикулярно фронту распространения волны. Основное разрушающее воздействие на сооружения оказывают поперечные волны. Амплитуда колебаний поперечных волн может превышать амплитуду продольных волн от 5 до 50 раз и более [8], поэтому колебания от продольных волн являются предупреждением о приближении фронта поперечных волн.

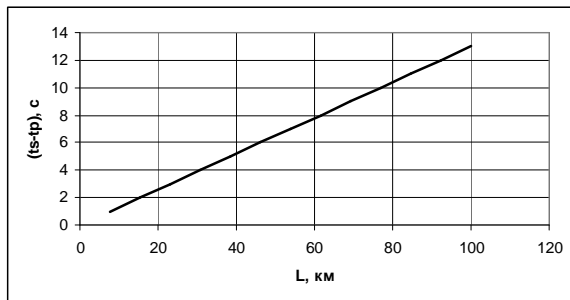


Рис. 2. Зависимость времени запаздывания поперечной волны от времени прихода в точку наблюдения продольной волны

Оценим теоретическое время запаздывания прихода волн для различных расстояний от очага до измерительных пунктов, считая при этом, что скорости продольных и поперечных волн равны $v_p = 5$ км/с и $v_s = 3$ км/с соответственно. На рис. 2 показана зависимость времени запаздывания поперечной волны от расстояния до очага землетрясения. Например, на удалении 25 км время запаздывания составляет $\Delta t = 3.3$ с, на 50 км – $\Delta t = 6.6$ с, на 100 км – $\Delta t = 13.3$ с. Даже если очаг землетрясения будет располагаться под ГЭС на глубине 20–25 км, время запаздывания поперечной волны составит 3–4 с. Этого времени вполне достаточно для срабатывания автоматических систем защиты.

На расстояниях 30–100 км от очага землетрясения за время 5–10 с после подачи сигнала тревоги невозможно вывести все население города в безопасное место, однако люди, живущие в одно- и двухэтажных домах, вполне успеют выйти на улицу по сигналу, полученному от первой волны, а жители верхних этажей многоэтажных домов успеют подготовиться к приходу основной волны – в первую очередь отключить газовое оборудование, электрические приборы и установки, взять в руки сотовый телефон и выполнить первоочередные действия при возникновении чрезвычайных ситуаций.

С учетом вышеизложенного нами разработан один из вариантов опытного образца бытового сигнализатора землетрясения, который может заменить дорогостоящую сейсмическую станцию. Вся конструкция размещается в коробке размерами 15×10×3 см, которая жестко крепится к внутренней несущей части стены дома. Сигнализатор состоит из следующих основных частей (рис. 3): электродинамического сейсмического датчика (1), усилителя (2), компаратора (3) и реле, которое включает звуковой сигнал (4).



Рис. 3. Блок-схема сигнализатора

Технические характеристики данного сигнализатора:

частотная полоса электродинамического датчика.....1-30 Гц;
 скорость порога срабатывания при вступлении продольной волны0.1-0.5 мм/с;
 источник питания.....±12 В.

Такие сигнализаторы могут найти применение для автоматической подачи звуковой сигнализации в школах, больницах, офисах, в жилых домах и не требуют наличия сети Интернет или сотовой связи.

Более сложные сигнализаторы могут быть созданы на основе цифровых сейсмических станций. Специальное программное обеспечение к компьютеру позволит, в дополнение к звуковому сигналу, определить магнитуду землетрясения и расстояние до очага. Такие станции смогут предупредить о надвигающемся цунами в районах Юго-Восточной Азии, Камчатки, Сахалина. Как известно, цунами возникает при землетрясении в океане с магнитудой больше 8. По разнице прихода продольной и поперечной волны компьютер определяет расстояние до очага. Зная расстояние до очага, можно вычислить время прибытия волны цунами. Например, если расстояние до очага равно 300 км, тогда по известной средней скорости распространения волны цунами $v = 800$ км/час находим время его прибытия в пункт расположения сигнализатора: $t = 22$ мин. Такие станции, установленные в административных зданиях, могут быть использованы для подачи сигнала тревоги цунами без участия человеческого фактора.

Заключение

Сейсмические сигнализаторы могут быть использованы для раннего предупреждения о приближении опасной поперечной волны или цунами из очага землетрясения, которое в свою очередь позволит: произвести включение средств защиты на промышленных предприятиях повышенной опасности, ГЭС, АЭС и др.; замедлить или остановить движение поездов вблизи тоннелей и мостов, отменить посадку и взлет самолетов в аэропорту; подать сигнал тревоги для аварийно спасательных служб; определить время прибытия цунами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубков С.И. Времена возникновения предвестников землетрясений // Физика Земли. 1987. № 5. С. 87-91.
2. Niazi M. Regression analysis of reported earthquake precursors // Pageoph. 1984-1985. Vol. 122. P. 966-981.
3. Авагимов А.А. Динамика электромагнитных процессов в Копетдагском сейсмоактивном регионе: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М., 1991. 52 с.
4. Сидорин А.Я. Зависимость времени проявления предвестников землетрясения от эпицентрального расстояния // ДАН СССР. 1979. Т. 245. С. 825-828.
5. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 309 с.
6. Приходский А.М. О возможности краткосрочного прогноза землетрясений (11 марта 2006 г.). URL: <http://www.inauka.ru/blogs/article40699> (дата обращения: 20.10.2012).
7. Earthquake Early Warning System. URL: <http://earthquake.usgs.gov/research/earlywarning/> (дата обращения: 20.10.2012).
8. Шебалин Н.В. Сильные землетрясения // Шебалин Н.В. Избр. тр. М.: Изд-во Академии горных наук. 1997. 542 с.

Поступила в редакцию 27.11.2012 г.
 Принята к печати 18.12.2013 г.