

О МЕСТЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

ON THE PLACE OF THE GEODESIC MONITORING IN THE PROBLEM OF EARTHQUAKE PREDICTION



Певнев А.К. / Pevnev A.K.

Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики Земли Российской академии наук / Doctor of technical sciences, professor, chief researcher at the Institute of Earth Physics, Russian Academy of Sciences

e-mail: an.pevnev@yandex.ru

Аннотация. Обоснована несостоятельность стратегии решения проблемы прогноза землетрясений методами обратных задач. Показана возможность осуществления точных прогнозов места и максимальной силы очагов готовящихся землетрясений методами прямых задач. Реализация этих прогнозов доступна геодезическому методу. Этот метод пригоден также для обнаружения возможных мест подготовки коровых землетрясений и для прогноза времени в местах недоступных для проведения геодезических измерений непосредственно в очаговых зонах (глубокофокусная сейсмичность).

Ключевые слова: прогноз землетрясений, прямые и обратные задачи, упругий изгиб, напряжение, сейсмогенная деформация, афтершок.

Abstract. The inconsistency of strategy of a solution of a problem of the forecast of earthquakes is proved by methods of return problems. Possibility of realization of exact forecasts of a place and the maximum force of the centers of preparing earthquakes is shown by methods of direct problems. Realization of these forecasts is accessible to a geodetic method. This method is also suitable for the detection of possible places of crustal earthquakes and for the prediction of time in places inaccessible to the geodetic measurements directly in the focal areas (oceanic seismicity). The inconsistency of strategy of a solution of a problem of earthquakes is proved by methods of return problems and possibility of its decision is shown by methods of direct problems.

Keywords: forecast of earthquakes, direct and return problems, elastic bend, pressure, seismogene deformation, aftershok.

Введение

Современная методология решения проблемы прогноза землетрясений основана на ее решении лишь с использованием методов обратных задач (распознавания образа). Таким образом, уже долгие десятилетия проблему прогноза землетрясений пытаются решить методами не прямых, а обратных задач используя для этого разрозненные ано-

малии в различных геофизических и других полях.

Есть все основания считать, что выбор «стратегии аномалий» был безальтернативным, так как в 20-м веке многие исследователи твердо верили в то, что процессы подготовки очагов коровых землетрясений не затрагивают земную поверхность. В подтверждение сказанному приведем соображения председателя Международной комиссии МАСФНЗ по поискам предвестников земле-

трясений известного сейсмолога, чл.-корр. АН СССР Е.Ф. Саваренского, высказанные им в начале 70-ых годов прошлого века:

«Проблема создания надёжных методов предсказания землетрясений ещё не решена и исключительно трудна вследствие невозможности непосредственного изучения внутриземных процессов, порождающих землетрясения. Эти процессы протекают медленно и маскируются многими быстрыми явлениями» [14, с.7].

Также следует сослаться на соображения на эту тему двух известных советских сейсмологов Н.В.Шебалина и А.В.Друмя:

“Теперь нам известно, что искать будущие землетрясения нужно там, где в недрах литосферы копится энергия деформации сдвига и где есть подходящие разломы для её выделения... Но как узнать, где напряжения могут копиться, а где они тихо и незаметно рассасываются в результате спокойных, тихих процессов ползучести?... Итак, первая неудача: нет простого способа узнать, где в литосфере копится упругая энергия перекося. Нет общих явных признаков таких мест” [5, с.132-133].

Таким образом, даже во второй половине прошлого века сейсмологи были уверены в отсутствии прямых методов изучения деформационных процессов, происходящих в готовящихся очагах коровых землетрясений. А так как первую скрипку в проблеме прогноза сейсмологи оставляют за собой, то до тех пор пока они не избавятся от своих заблуждений проблема прогноза землетрясений будет пребывать в состоянии кризиса.

Здесь также следует отметить следующее, не очень приятное для геодезистов, обстоятельство, а именно: в первой четверти прошлого века американские геодезисты занимались экспериментальной проверкой «Теории упругой отдачи» Рейда, в которой доказывалось что, подготовка очага землетрясения отражается и на земной поверхности. В результате эксперимента были обнаружены аномальные смещения некоторых триангуляционных пунктов, которые превосходили допустимые ошибки измерений и на этом основании их, вопреки здравому, смыслу отнесли к разряду грубых ошибок, т.е. возобладал формальный подход к оценке

точности измерений. По этой причине удачный эксперимент был опровергнут, что равносильно выражению «с водой выплеснули и ребенка» [11].

Таким образом, и геодезисты причастны к тому, что проблему уже в течение многих десятилетий пытаются решать методами обратных задач.

Результаты интенсивных международных исследований убедительно показали, что методом обратных задач проблему решить невозможно. Как известно, обратные задачи подразделяются на два класса – корректные (корректно поставленные) и некорректные (некорректно поставленные). Корректные задачи имеют положительное решение при любом наборе исходных, используемых для распознавания образа, данных в то время как некорректные задачи этим свойством не обладают. Так как использование обратных задач для решения рассматриваемой проблемы положительных результатов не дало, то из этого следует однозначный вывод – эти задачи являются некорректно поставленными. Очевидная причина некорректности кроется в системе выбора необходимых данных - для этого нет надежных фильтров, с помощью которых можно было бы избавляться от фоновых помех, т.е. из «шума» выделять только лишь полезный сигнал.

О фоновых помехах можно сказать следующее: согласно принципу суперпозиции, аномалии, наблюдаемые в различных геофизических полях, являются суммарной величиной, вклад в которую вносит широкий спектр различных процессов – в первую очередь деформационных. В этот список можно включить сейсмические процессы: подготовка очагов землетрясений, а также различные фоновые процессы – локальные, региональные и глобальные. Можно полагать, что среди глобальных процессов определяющими являются деформационные процессы, порождаемые неравномерным вращением Земли. В настоящее время нет возможности определить влияние на аномалию каждого из этих процессов, но, и самое главное, из фиксируемых аномалий достоверно выделить только те, которые порождаются тем или иным готовящимся очагом землетрясения. Совершенно очевидно, что отсутствие таких

фильтров делает обратные задачи абсолютно некорректными.

Эта неудача поставила на повестку дня необходимость проверки возможности или невозможности использования методов прямых задач для решения проблемы прогноза землетрясений. Для начала нужно было определить в каком методе заложены принципиальные возможности для выделения достоверных признаков готовящегося очага землетрясения. Таковым методом является деформационный и вот почему. Так как подготовка и разрушение очагов землетрясений в первую очередь являются процессами механическими – накопление и сброс упругих деформаций (упругих напряжений), то именно на поиске деформационных предвестников и следовало сосредоточить внимание. Предварительно нужно было решить две задачи:

1. Определить вид деформационного предвестника подготовки очага землетрясения, т.е. знать закон, по которому в очаге накапливаются упругие сейсмогенные деформации.

2. Найти доказательства того, что процесс подготовки очага землетрясения захватывает и земную поверхность т.е. доказать возможность решения проблемы прогноза методами прямых задач.

Решить эти вопросы удалось с помощью имеющихся экспериментальных геодезических данных и некоторых теоретических соображений. Что касается экспериментальных данных то ими являются результаты повторных геодезических измерений, выполненных в эпицентральных зонах произошедших сильных землетрясений. Эти данные представлены на рис.1

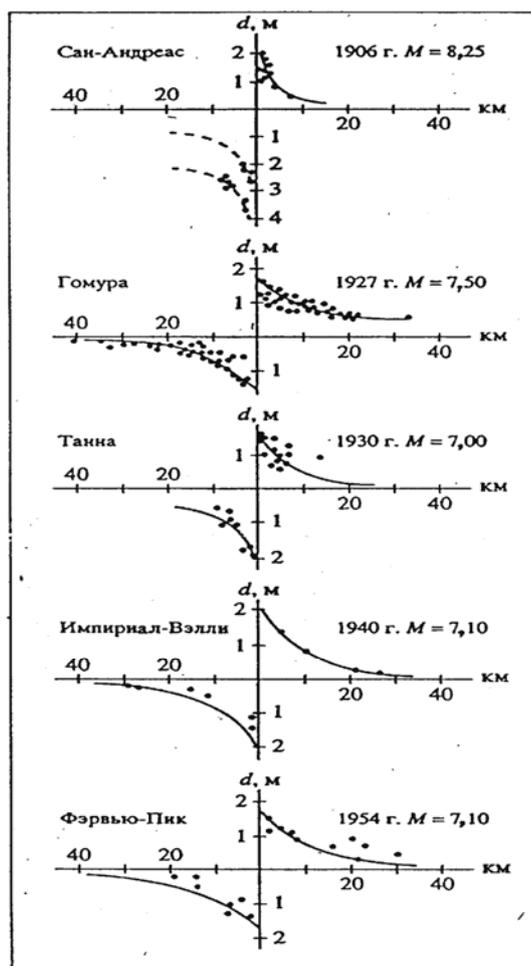


Рис.1. Реальное распределение смещений пунктов триангуляции (d) в зонах сейсмогенных разломов при сильных коровых землетрясениях в зависимости от удаления геодезических пунктов от разломов [7].

На этом рисунке вертикальные линии – сейсмогенные разломы, по которым произошли горизонтальные подвижки при землетрясениях. Зафиксированные смещения пунктов триангуляции показаны точками; масштаб смещений показан на вертикальной оси. На горизонтальной оси отложены расстояния этих пунктов от разлома. Приведенные данные убедительно говорят о том, что смещения пунктов, выявленные после землетрясений подчиняются вполне определенной закономерности – для всех пяти землетрясений смещения максимальны вблизи разлома и очень быстро (экспоненциально) убывают с удалением от него. Ниже следует теоретическое обоснование экспоненциального распределения смещений, показанных на рис.1.

В свете современных представлений наиболее вероятной причиной формирования очагов коровых землетрясений (накопления сейсмогенных деформаций в локальных объемах горных пород) является изменение скорости тектонических движений в том или ином конкретном участке сейсмогенного разлома.

Предполагается, что указанные изменения скоростей смещений в разломах могут происходить из-за различных физико-химических и механических процессов [12]. Вот как это описано выдающимся советским геофизиком академиком Г.А.Гамбурцевым: «Наряду с процессом разрушения – уменьшения прочности отдельных участков сейсмических швов может идти обратный процесс «залечивания» разрушенных мест, образования новых «спаек» между соседними блоками. Таким образом, происходит закономерная смена взаимосвязанных процессов медленных и быстрых движений, накопления и разрушения напряжений, увеличения и уменьшения прочности» [4, с.306].

Полное или частичное прекращение смещений в какой-либо части сейсмогенного разлома – образование «спайки» – равнозначно рождению концентратора напряжений и поэтому приведет к возникновению в этом месте локального поля упругих напряжений. Для определения вида и размеров этого поля можно воспользоваться широко применяемым в решении задач теории упругости принципом локальности эффекта са-

моуравновешенных внешних нагрузок – принципом Сен-Венана. Для нашего случая наиболее подходящей является следующая формулировка этого принципа: "Если в какой-либо малой части тела приложена уравновешенная система сил, то она вызывает в теле напряжения, очень быстро убывающие по мере удаления от этой части (экспоненциальный характер затухания напряжений" [2, с.6].

Для обнаружения очагов готовящихся землетрясений принцип Сен-Венана вполне применим в силу несопоставимости размеров сейсмогенных разломов (тысячи километров) и размеров очагов землетрясений (километры, десятки и только для самых сильных катастрофических землетрясений с магнитудой более восьми первые сотни километров). **Поэтому из-за появления концентратора напряжений (спайки) возникшее местное поле упругих напряжений будет закономерно, экспоненциально изменяющимся полем, обеспечивающим упругую изгибную деформацию (упругий изгиб) горных пород в готовящемся очаге землетрясения.** Максимальное упругое смещение будут иметь горные породы, примыкающие к остановившемуся участку разлома, а по мере удаления в обе стороны от этого участка упругие смещения горных пород будут быстро и закономерно убывать, что и демонстрируется рис.2, на котором, в силу вышеизложенного, в качестве источника сейсмогенных напряжений взята как физически (теоретически) обоснованная, деформация упругого изгиба.

На рис.2А показан один и то же участок сейсмогенного разлома (вертикальная линия) в три момента: t_0 , t_1 и t_2 , соответствующих различным напряженным состояниям горных пород. Направление тектонических смещений на разломе показаны стрелками. Момент t_0 – в горных породах отсутствуют сейсмогенные напряжения, что показано прямой ab . Момент t_1 – горные породы предельно упруго напряжены (упругий изгиб): кривая ab . Момент t_2 – положение горных пород после землетрясения; сейсмогенные деформации (напряжения) сняты, горные породы распрямлись в два прямолинейных отрезка.

Рис.2Б отличается от рис.2А лишь тем, что в момент t_1 , когда горные породы уже были упруго деформированы, добавлена прямая cd , представ-

ляющая собой прямолинейное геодезическое построение (геодезический профиль).

С рассматриваемых нами позиций наибольший интерес представляет положение и форма нарисованной нами прямой cd (геодезический профиль) в момент t_2 . Как видно из рисунка они совершенно соответствуют экспериментальным кривым рис.1, что однозначно подтверждает наши соображения об участии земной поверхности в процессе формирования очагов землетрясений

и, следовательно, о возможности отслеживать на земной поверхности процесс накопления сейсмогенных деформаций в готовящемся очаге сильного корового землетрясения решением прямой задачи.

Таким образом, мы получили теоретическое обоснование вида деформационного предвестника землетрясения - это упругий изгиб горных пород в очаге готовящегося землетрясения.

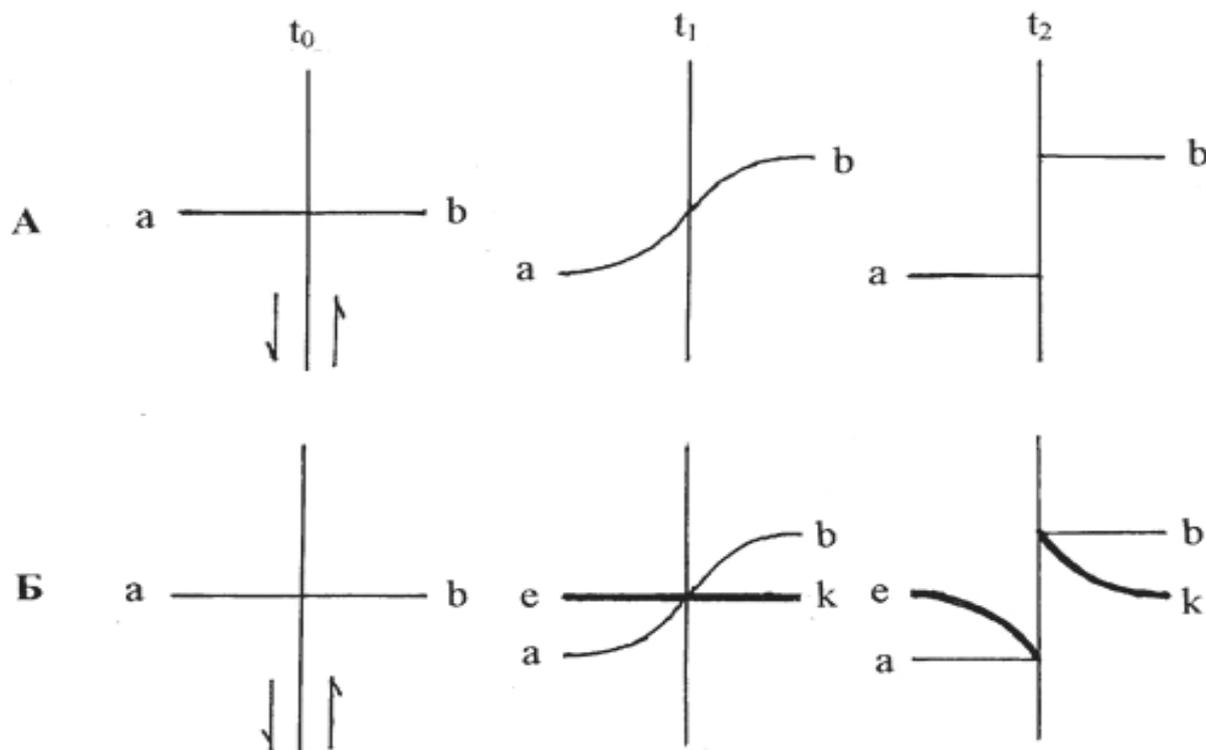


Рис.2. Объяснение явления экспоненциального распределения смещений геодезических пунктов в эпицентральных зонах сильных коровых землетрясений.

Из анализа рис.1 следует, что во всех приведенных на этом рисунке случаях исходные триангуляционные измерения были выполнены над уже готовящимися очагами землетрясений, т.е. в них уже были накоплены сейсмогенные напряжения. Если бы это было не так, то первоначально прямолинейный геодезический профиль при землетрясении был бы лишь разорван на линии разлома, но не испытал никаких искривлений, а представлял бы собой два прямолинейных отрезка, аналогичных поведению горных пород в момент t_2 . Это говорит о том, что сильные землетрясения готовятся долго – десятки и более лет.

Таким образом, имеющиеся данные повторных геодезических измерений в эпицентральных

зонах сильных коровых землетрясений убедительно свидетельствуют в пользу того, что процесс подготовки очага корового землетрясения затрагивает и земную поверхность. В этом нет ничего удивительного, так как она является верхней границей сейсмогенного слоя - самого верхнего слоя земной коры мощностью 10-25 км, а также то, что мощность (толщина) сейсмогенного слоя или равна или меньше размеров очагов сильных землетрясений и, следовательно, очаг занимает всю толщину сейсмогенного слоя – от земной поверхности (верхней границы очага) и до его нижней границы. Эти соображения находят полное подтверждение в сейсмологических экспериментальных данных, представленных на рис 3.

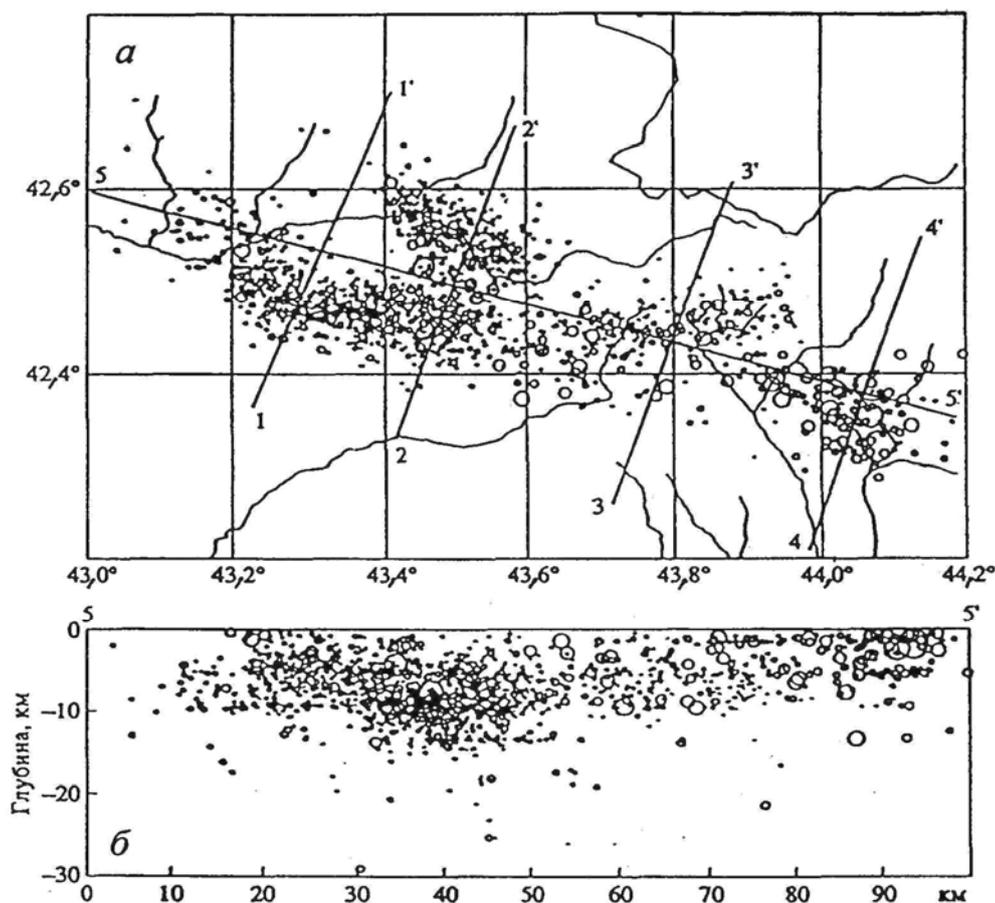


Рис.3. Карта эпицентров Рачинского землетрясения (а) и вертикальный разрез по линии 5-5' (б). по: [1]. На секущую плоскость спроецированы все сейсмические события за афтершоковый период. Глубина основного толчка 10 км, длина очага около 100 км, магнитуда 7.3.

На нижней части этого рисунка (б) показаны все афтершоки Рачинского землетрясения 1991. Афтершоки – это сопровождающие основной толчек слабые землетрясения, которые снимают оставшиеся в очаге, после основного толчка, упругие напряжения. Афтершоковые периоды (время полной разрядки «сработавшего» очага землетрясения) могут продолжаться месяцы и даже годы.

Как видно из рисунка поле афтершоков начинается непосредственно от земной поверхности и остается однородным примерно до глубины 15 км. Это дает нам право сделать физически обоснованный вывод о том, что если упругие деформации, оставшиеся в очаге после основного толчка, снимались афтершоками у самой земной поверхности, то совершенно очевидно, что в процессе подготовки землетрясения они и накапливались от этой самой поверхности.

Эти экспериментальные данные являются наглядным и убедительным подтверждением того, что процесс накопления сейсмогенных деформаций распространяется и на земную поверхность

и что мощность эффективной части сейсмогенного слоя в исследуемом районе около 15 км. Наличие сейсмогенного слоя Земли подтверждается и реологическими исследованиям. Согласно данным английского геофизика М.Ботта переход от упругого состояния горных пород к пластическому совершается на глубине 10-25 км, т.е. породы расположенные ниже этих глубин в силу их пластичности не могут накапливать упругие сейсмогенные деформации [3]. Такая закономерность изменения упругих характеристик горных пород с глубиной подтверждается и изменением механической добротности пород с глубиной, которая является максимальной от земной поверхности до глубины 19 км [6].

Таким образом, наличие сейсмогенного слоя в земной коре подтверждается различными данными. Как уже отмечалось выше, для рассматриваемой нами проблемы это очень важно, так как неглубокое расположение очагов землетрясений гарантирует участие земной поверхности в их подготовке.

Итак, выполненными исследованиями было установлено, что искомым признаком подготовки очага землетрясения является накапливаемый во времени по экспоненциальному закону и, следовательно, закономерный упругий изгиб горных пород в этом очаге [9]. Причины зарождения, созревания и разрушения очагов коровых землетрясений в тех или иных участках разломов обуславливаются или полным прекращением или существенным уменьшением тектонических смещений на этих участках. Выше указывалось, что академик Гамбурцев такие участки назвал "спайками"; чем длиннее такая "спайка", тем больше сейсмической энергии она способна накопить [4].

Что касается закона распределения упругих смещений горных пород в очаге землетрясения, то оно определяется следующим уравнением

$$d = D \cdot e^{\alpha x} \quad (1)$$

где d - величина упругого смещения рассматриваемой точки земной поверхности; x - удаление

этой точки от разлома; D - максимальное упругое смещение на разломе ($x=0$); α - параметр, характеризующий упругие свойства горных пород в очаге [8].

Выше было показано, что при подготовке сильных коровых землетрясений регулярное изгибание испытывает и земная поверхность над очагом, являющаяся его верхней границей. Именно участие земной поверхности в процессе подготовки очага и открывает реальные возможности для обнаружения и отслеживания искомого признака. **Отслеживать процесс накопления сейсмогенных деформаций в очаге можно лишь с помощью геодезического метода, так как только этим методом можно определять деформации земной поверхности на базах в десятки километров [10].**

На рис.4 показана принципиальная схема обнаружения очага готовящегося землетрясения.

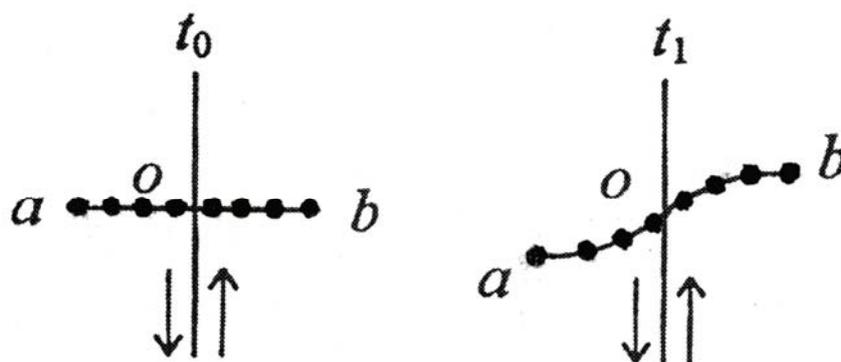


Рис.4. Схема реализации прогноза места очага готовящегося землетрясения.

На этом рисунке: вертикальные линии – сейсмогенный разлом, смещения по которому показаны стрелками; t_0 - момент создания прямолинейного геодезического прогнозного профиля aob , черные точки на профиле – геодезические пункты. t_1 – момент повторных измерений на профиле. Если прямолинейный профиль был создан над уже готовящимся очагом землетрясения, или подготовка очага началась в промежутке между t_0 и t_1 , то в момент t_1 пункты геодезического профиля будут располагаться на экспоненциальной кривой aob , являющейся единственным достоверным признаком процесса накопления упругих сейсмогенных деформаций в исследуемом участке сейсмогенного разлома.

Именно такое использование геодезического метода откроет путь к прогнозу места очага готовящегося землетрясения.

Геодезическим методом можно осуществлять не только прогноз места, но и прогноз силы готовящегося землетрясения. Это возможно потому, что сила землетрясения функционально связана с размерами очага, что показано в приведенной таблице, составленной известным советским сейсмологом Ю.В. Ризниченко [12]. Следует отметить, что в сейсмологии смещения бортов разлома при землетрясении называют «подвижкой в очаге» и, следовательно, величина D (в таблице) численно равна сумме максимальных упругих сейсмогенных деформаций накопленных в очаге до землетрясения.

**Зависимость силы землетрясения
(магнитуды M) от длины очага (L)
и подвижки в очаге (D)**

M	$L, \text{ км}$	$D, \text{ см}$
3	1,1	0,11
4	3,0	0,62
5	8,3	3,5
6	23	20
7	62	120
8	170	660
9	470	3800

Из таблицы однозначно следует, что с увеличением длины очага L растет и сила землетрясения (магнитуда M). Соотношение этих величин таково – при возрастании маг-

нитуды на одну единицу длина очага увеличивается примерно в три раза.

Принципиальная схема осуществления прогноза силы землетрясения показана на рис.5: линии (1-1,...8-8) – геодезические профили, которые в момент зарождения очага (t_0) представляли собой сплошные прямые линии, в процессе подготовки очага были либо разорваны и смещены по разлому (1-1 и 8-8), либо деформированы и смещены (2-2 и 7-7), либо упруго деформированы над очагом (3-3, ...6-6); I - зона сжатия; II - зона растяжения; L – линия прекращения смещений по разлому т.е. искомая длина очага готовящегося землетрясения («спайка»); X – ширина очага землетрясения.

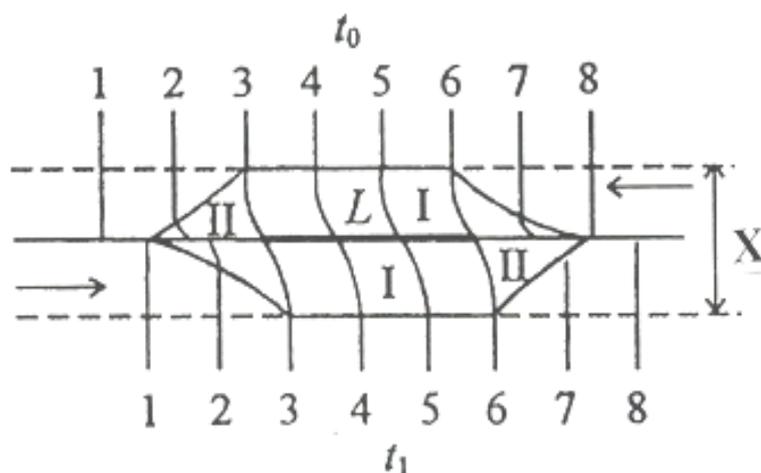


Рис.5. Модель упругого деформирования земной поверхности над очагом готовящегося землетрясения (в момент t_1).

На этом рисунке показана модель смещений и деформаций прямолинейных геодезических прогнозных профилей в момент t_1 , созданных в момент t_0 над очагом готовящегося землетрясения. Согласно этому рисунку длину очага L можно определить по виду деформируемых профилей; она соответствует расстоянию между полностью упруго деформируемыми частями профилей, оказавшихся в зоне действия очага. В нашем случае это профили 3-6. В концевых зонах очага профили испытывают и упругие деформации и смещения (профили 2 и 7). За пределами очага профили испытывают лишь тектонические смещения (профили 1 и 8). Что касается профилей 2 и 7, то их учет в длине очага следует оценивать по величине измеренного упругого компонента.

Следовательно, если с помощью геодезического мониторинга определить длину готовящегося очага землетрясения, то данные таблицы по-

зволят установить какой магнитуде (M) соответствует измеренная длина очага (L) и таким образом определить, какой максимальной силы землетрясение он может породить.

Итак, приведенная схема геодезического мониторинга позволяет осуществлять два прогноза – точный прогноз места готовящегося очага землетрясения и прогноз максимальной силы, которую способен породить исследуемый очаг.

О прогнозе времени землетрясения

Что касается прогноза времени землетрясения, то в отличие от прогнозов места и силы, которые можно осуществлять по установленным закономерностям, главным препятствием на пути его осуществления является незнание реальных закономерностей процессов разрушения очагов. А так как в на-

стоящее время среди методов прогноза нет ни одного, способного достоверно определить эти закономерности, то единственно правильным решением поиска таких закономерностей является широкое комплексирование методов, т.е. создание специальных комплексных прогнозных систем. Из смысла решаемой задачи следует, что такие комплексные системы должны иметь разрешения, достаточные для отслеживания в различных полях тонкой структуры процесса разрушения горных пород в сейсмогенном слое земной коры.

В этой связи следует особо подчеркнуть значение заблаговременных осуществлений прогнозов места и силы готовящегося очага землетрясения для положительного решения прогноза времени его реализации. Только в этом случае открывается возможность проводить комплексные исследования не в случайно или недостаточно обоснованно выбранных местах, а непосредственно над реально существующим очагом готовящегося землетрясения, что позволит осуществлять регистрацию даже очень слабых и быстро затухающих с удалением от их источника аномалий, порождаемых этим очагом. В этом случае, еще даже и до установления законов разрушения очагов, можно рассчитывать на то, что коллективное поведение аномалий в различных полях явится достаточно объективным показателем приближающейся катастрофы и позволит своевременно принять необходимые меры безопасности.

Заблаговременное обнаружение готовящихся очагов землетрясений позволит создавать компактные комплексные системы наблюдений с разрешением достаточным для изучения тонкой структуры развития процессов разрушения в этих очагах, то есть для определения закономерностей протекания этих процессов. Таким видится прямой путь к прогнозу времени землетрясений.

Крайне важно и то, что заблаговременное обнаружение очагов готовящихся землетрясений позволит заранее принять меры, необходимые для уменьшения ущерба от землетрясения, а также приступить к разработке методов искусственной безопасной разрядки обнаруженных очагов. В настоящее время это технически возможно: закачка жидкости в очаг, серии небольших взрывов в пробурен-

ных скважинах, использование, установленных на земной поверхности, мощных вибраторов и др. С помощью этих мероприятий можно постепенно, малыми порциями уменьшать величину накопленных в очаге сейсмогенных деформаций, вплоть до его полной разрядки.

Таким образом, в настоящее время появились реальные возможности для разработки последовательной, научно-обоснованной стратегии точного, практически значимого прогноза землетрясений методом решения прямой задачи.

Помимо этой задачи геодезическому методу также доступно:

1. Определение возможных мест готовящихся очагов коровых землетрясений. Для этого нужно следить за скоростями смещений в сейсмогенных разломах. Участки разломов, в которых смещения отсутствуют, или они существенно меньше смещений на прилегающих участках разлома, являются достаточно убедительным доказательством того, что здесь имеет место подготовки очага землетрясения и поэтому здесь следует создать описанную выше геодезическую прогнозную систему.
2. Участие в комплексных исследованиях, нацеленных на прогноз времени глубоководных землетрясений. Эти исследования перспективны на стадии разрушения очагов, когда вследствие этого процесса возникают существенные аномалии в различных полях – учитывая физику процесса можно полагать, что в первую очередь в поле деформационном.

Заключение

Кризисное состояние проблемы прогноза землетрясений обусловлено объективными причинами – используемые для ее решения обратные задачи являются некорректными, не позволяющими осуществлять точный прогноз местоположения готовящегося очага землетрясения.

Можно полагать, что начало ошибочному выбору стратегии аномалий было положено неудачной попыткой американских геодезистов решать проблему прогноза землетрясений методом прямых задач [11, 13, 15], при-

ведшая к его дискредитации. Приоритет получили представления о том, что процессы подготовки очагов землетрясений не проявляются на земной поверхности.

Следует еще раз подчеркнуть, что для осуществления достоверных прогнозов места и силы землетрясения пригоден лишь один метод - геодезический, так как лишь этому методу доступно определение вида деформаций на базах в десятки километров. Никакому другому из существующих методов измерений деформаций это недоступно. Что касается сейсмологического метода, то он способен фиксировать лишь быстрые сейсмические смещения земной поверхности, а измерение медленно накапливаемых деформаций ему недоступно. Возможно в этом кроется причина недопонимания сейсмологами возможностей геодезического метода в проблеме прогноза землетрясений – они преувеличивают возможности сейсмологического метода в решении этой проблемы.

Возможно ли в настоящее время решение проблемы практически значимого прогноза землетрясений? Да, возможно. Для этого нужно использовать те возможности геодезического метода, благодаря которым возможно осуществление точного прогноза места готовящегося очага землетрясения и его максимально возможной силы методами решения прямых задач [10].

Получить ответы на все три главных вопроса – где, какой силы и когда, можно только при разумном сочетании в решении проблемы прогноза землетрясений методов прямых и обратных задач. После того как прямыми методами будет обнаружен готовящийся очаг землетрясения (прогноз места) и определены его размеры (прогноз силы) на нем нужно будет создавать систему комплексных очаговых наблюдений, рассчитанную в первую очередь на установление закономерностей проявления деформационных и других процессов на разных стадиях его разрушения. Это и позволит приблизить решение проблемы прогноза времени землетрясений.

Таким образом, ответить на все три главных вопроса проблемы прогноза землетрясений: где?, какой силы? и когда? можно лишь при разумном сочетании, при разумном использовании в решении проблемы методов

прямых и обратных задач, т.е. если в решении проблемы будут использоваться значительные возможности геодезического метода.

Список литературы

1. Арефьев С.С., Плетнев К.Г., Татевосян Р.Э., Делицын Л.Л. и др. Рачинское землетрясение 1991 г.: результаты полевых сейсмологических наблюдений // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1993. N3. С.12-23.
2. Безухов Н.И., Лужин О.В. Приложение методов теории упругости и пластичности к решению инженерных задач. М.: Высшая школа. 1974. 200 с.
3. Ботт М. Внутреннее строение Земли. М.: Мир, 1974. 375 с.
4. Гамбурцев Г.А. Перспективный план исследований по проблеме "Изыскание и развитие методов прогноза землетрясений" // Развитие идей Г.А.Гамбурцева в геофизике: М.: Наука, 1982. с. 304-311.
5. Друмя А.В., Шебалин Н.В. Землетрясение: где, когда, почему? Кишинёв. Штиинца, 1985. 196 с.
6. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 415 с.
7. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985, 264 с.
8. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Наука, 2006. 390 с.
9. Певнев А.К. Прогноз землетрясений - геодезические аспекты проблемы // Изв.АН СССР. Физика Земли. 1988. N12. С.88-98.
10. Певнев А.К. Пути к практическому прогнозу землетрясений. М.: ГЕОС. 2003. 153 с.
11. Певнев А.К. Об ошибке американских геодезистов, положившей начало кризису в проблеме прогноза землетрясений// Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2011, №3, с.94-104.
12. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.
13. Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология. М.: Изд-во иностр. лит. 1963. 670 с.
14. Саваренский Е.Ф. Вступительное слово председателя Международной комиссии МАСФНЗ по поискам предвестников землетрясений чл.-корр. АН СССР. В сб. Поиски предвестников землетрясений. (Междкнародный симпозиум. 27 мая- 3 июня 1974) Изд.-во «ФАН» Узбекской ССР. Ташкент – 1976. С.7-8.
15. Reid H.F. The Mechanism of the Earthquake. The California Earthquake of April 18, 1906: Rep. of the State Investigation Commiss. Vol.2. P.1. Washington, 1910, 56 p.