

А.К. Певнев

**О ГЛАВНЫХ ПРИЧИНАХ, НЕ ПОЗВОЛЯЮЩИХ РЕШИТЬ
ПРОБЛЕМУ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
МЕТОДАМИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ**

А.К. Pevnev

**ON THE MAIN REASONS NOT PERMITTING TO WORK OUT
THE CONCEPT OF THE PROGNOSIS OF THE EARTHQUAKES
BY INVERSE PROBLEMS METHODS**

В используемой стратегии решения проблемы прогноза землетрясений определяющей является идея о возможности определения местонахождения готовящегося очага землетрясения (прогноз мета) и отслеживания происходящих в нем процессов исключительно с помощью решения обратных задач. В предлагаемой статье показана ошибочность такого подхода к решению проблемы прогноза.

Ключевые слова: проблема прогноза землетрясений, прямые и обратные задачи, геодинамика.

In applicable strategy for prognosis of earthquakes the crucial concept of determination of the locations of future earthquake epicenters and the processes occurring there is solved exclusively by inverse problems methods. the fallibility of this approach to the solution of the problem is shown in the proposed article.

Key words: problem of forecast of earthquakes, direct and inverse problems, geodynamics.

Есть веские основания полагать, что причину неуспеха в решении рассматриваемой проблемы нужно искать именно в стратегии исследований, которая предполагает возможным осуществлять прогноз землетрясений лишь с помощью решения обратных задач, т.е. без использования прямых методов обнаружения готовящихся очагов землетрясений. Длительная практика поиска таких предвестников землетрясений показала полную бесперспективность этого направления исследований.

Критические соображения о реальных возможностях «стратегии аномалий» были высказаны уже более десяти лет тому назад. Вот как по поводу стратегии решения проблемы прогноза землетрясений, принятой после смерти директора Геофизического института АН СССР академика Г.А. Гамбурцева, высказался известный сейсмолог О.К. Кондратьев: "... начатые работы по прямому изучению разломов земной коры (по терминологии Г.А. Гамбурцева – сейсмических швов) были свернуты. В 1971 г. в Институте физики Земли утверждается "Про-

грамма работ по поискам предвестников землетрясений” и в 1980 г. новая “Научная программа исследований по прогнозу землетрясений”. Эти документы на несколько десятилетий утвердили примат поиска разрозненных сопутствующих явлений, более того, в них была заложена мысль, что наиболее быстрый успех может быть получен при изучении именно косвенных факторов...

Разрушительное Спитакское землетрясение 1988 г. инициировало попытку проанализировать состояние дел с краткосрочным прогнозом и породило определенные сомнения в эффективности ретроспективного анализа разнородных параметров в качестве предвестников землетрясений” [Кондратьев, 1995, с. 23].

А вот, что по этому поводу можно прочесть у академика В.Н. Страхова в предисловии к книге «Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде» [Лукк, 1996, с. 5]:

«Попытки решения проблемы путем увеличения числа измеряемых параметров и длительности получаемых временных рядов, составляющих основу материала "обучения", не привели к желаемому результату. Следует признать, что современная экспериментальная геофизика переживает определенный кризис в этой фундаментальной проблеме, суть которого состоит в том, что одно лишь наращивание экспериментальных данных не способствует прогрессу в области прогноза сильных сейсмических событий. Напротив, по мере появления все более протяженных рядов геофизических данных все очевидней становится проблематичность основного положения идеологии прогноза землетрясений – существования детерминированной причинно-следственной связи между экспериментально наблюдаемыми "аномальными" вариациями геофизических полей и возникновением сильных сейсмических событий, что заставляет признать неэффективность существующей методологии прогноза землетрясений».

Приведем также соображения авторов указанной монографии.

«Считается, что характеристики среды должны изменяться на различных стадиях "подготовки" сильного землетрясения, что в свою очередь может найти отражение в изменениях наблюдаемых геофизических величин. Попытки отождествления этих вариаций с "аномалиями", предвещающими возникновение сильного землетрясения, и составляют, согласно традиционной методологии, суть поиска предвестников землетрясений. При этом молчаливо предполагается существование детерминированной причинно-следственной связи между указанными явлениями...Необходимость поиска новых подходов продиктована тем кризисом, в котором оказалась современная геофизика на пути решения проблемы прогноза землетрясений».

Почему же рассматриваемая методология непригодна для решения проблемы прогноза землетрясений? Можно говорить, по крайней мере, о двух причинах, которые не позволяют осуществить прогноз землетрясений методами решения обратных задач.

Первая из них связана со строением, структурными и механическими свойствами земной коры, а вторая обусловлена незнанием реальных вариаций фоновых характеристик напряженно-деформированного состояния геофизической среды.

Рассмотрение первой причины начнем с предположения о том, что очаг землетрясения формируется в неких идеальных условиях: он создается в сплошной, однородной и изотропной среде и в благоприятной фоновой обстановке. Будем полагать, что фоновые процессы (шум) либо отсутствуют вообще, либо существенно меньше аномалий (полезный сигнал), рождаемых готовящимся очагом.

В такой среде, согласно принципу Сен-Венана, вокруг готовящегося очага сформировалось бы локальное поле напряжений, экспоненциально убывающих от места приложения дополнительной нагрузки (готовящегося очага) и поэтому можно полагать, что в описанной идеальной среде точная локализация местоположения готовящегося очага землетрясения методом мониторинга аномалий в различных полях была бы возможна.

Однако, что собой в действительности представляет так называемая геофизическая среда, в которой зарождаются, созревают и разрушаются очаги коровых землетрясений? Это несплошная, неоднородная, неизотропная и разбитая на блоки разной крупности среда. Согласно [Садовский М.А., 1982] геофизическая среда – это активная, нелинейная, изменяющаяся во времени среда. Изменения в состоянии среды приводят к чередованию порядка и хаоса в происходящих в ней процессах. Здесь крайне уместно сослаться на следующие соображения:

«Среда может находиться в различных метастабильных состояниях с несколькими положениями равновесия. Порядок проявляется в виде ритмов. При хаотизации процесс носит случайный характер... Смена порядка и хаоса обуславливает нестационарность пространственно-временных структур. Величины временных ритмов варьируют от секунд до сотен миллионов лет в определенных иерархических рамках» [Гамбурцев А.Г., 1994].

На основании вышеизложенного можно заключить, что анизотропия и разномасштабная кусковатость горных пород земной коры, их механические и структурные неоднородности, существенное влияние жидкой фазы на прочность горных пород и многое, многое другое не позволяют точно локализовать источник порождения различных аномалий.

Эти качества реальной среды не позволяют методами обратных задач решить проблему точного прогноза местоположения готовящегося очага землетрясения, так как благодаря им при подготовке очага, очевидно, имеет место явление «размывания» его очертаний. Благодаря этому возникает эффект кажущегося существенного увеличения его действительных размеров, так как рождаемые готовящимся очагом аномалии возникают в объеме горных пород, намного превосходящим реальные размеры зреющего очага землетрясения (рис. 1).

Таким образом, можно полагать, что если в идеальных условиях рассматриваемые обратные задачи, очевидно, могли бы отвечать условиям корректно поставленных задач, то указанные характеристики реальной среды переводят обратные задачи в разряд некорректно поставленных.

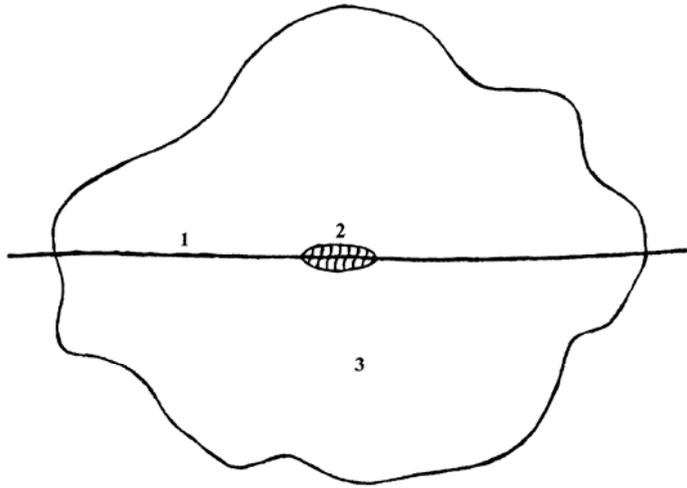


Рис. 1. Схема соотношений площади очага землетрясения (2) и гипотетической площади распространения различных аномалий (3), порождаемых этим очагом. 1 – сейсмогенный разлом; 2 – готовящийся очаг землетрясения; 3 – гипотетическая зона проявления различных аномалий, порождаемых готовящимся очагом землетрясения и проявляющихся в основном в фазе разрушения

Результаты исследований подтверждают правомерность изложенных соображений. Так, согласно этим материалам [Кейлис-Борок В.И., 1989, с. 11] «можно определить периоды повышенной вероятности (ППВ) сильного землетрясения длительностью в годы для областей диаметром в сотни километров». И это еще не предел, так как часто говорят о регистрации предвестников (аномалий) на расстояниях в тысячи километров от очага землетрясения.

Представление о том, что исключить влияние указанных причин можно существенным сгущением пунктов наблюдений, является заблуждением. Это наглядно продемонстрировало непредсказанное Калифорнийское землетрясение 1989 г., которое произошло в середине самой густой в мире наблюдательной сети.

Вот что о возможностях “количественного” решения проблемы прогноза в свое время было написано академиком В.И. Кейлис-Бороком:

“Долгое время работы по прогнозу землетрясений ориентировались в основном на расширение системы наблюдений. Калифорнийское землетрясение наглядно показало нам, насколько этого недостаточно. Оно произошло в середине самой мощной в мире наблюдательной сети, с тысячами датчиков, телеметрией, полной компьютеризацией” [Кейлис-Борок В.И., 1989].

Можно полагать, что помимо постигшей американцев неудачи одним из самых печальных последствий этой дорогостоящей попытки прогноза является то, что он еще раз породил у американских ученых (и не только у них) сомнения в возможности осуществления прогноза землетрясений.

Здесь необходим краткий экскурс в историю – вернемся примерно на 100 лет назад в то время, когда в Америке были предприняты попытки на практике

реализовать идеи теории упругой отдачи Рейда [Рихтер Ч.Ф., 1963]. Как известно, для обнаружения очагов готовящихся землетрясений Г.Ф. Рейда предлагал использовать метод повторных геодезических измерений на специально созданных геодезических построениях. Вот суть этих предложений.

«Так как разрыв не может возникнуть без предварительно накопленных напряжений, то просто нужно выбрать метод для обнаружения накапливающихся напряжений с тем, чтобы заранее знать, что готовится землетрясение. Разрыв произойдет вдоль линии наибольших напряжений или вдоль какого-нибудь старого разлома, где породы более слабые. Сдвиговое напряжение, необходимое для разрыва гранита, заключено между величинами $1/2000$ и $1/1500$, или возможно немного более, что легко измеримо. Если в регионе, где были землетрясения, мы установим ряд столбов, скажем, через один километр (we should set up a series of piers say a kilometer apart), под прямым углом к предполагаемой или известной линии разлома и если мы будем время от времени измерять направления линий, их соединяющих, и их различия высот, то по их изменениям мы обнаружим накапливающиеся напряжения. Если напряжения станут достаточно большими, мы будем ждать землетрясение, а местоположение наибольшего напряжения или расположение старого разлома будет местом, где может произойти землетрясение. Повторение точных геодезических измерений выявит относительные смещения различных пунктов и таким образом покажет, есть ли накопление напряжений, но пунктов обычно бывает недостаточно для обнаружения местоположения наибольших напряжений» [Кондратьев О.К., 1995, р. 5].

Американскими геодезистами были сделаны попытки реализовать эту возможность на разломе Сан-Андреас, но, судя по публикациям, сделано это было крайне неудачно: не были созданы специальные геодезические построения и, к тому же, делалась ставка на очень быстрое получение положительного ответа. Вполне естественно, что все это закончилось дискредитацией прекрасной идеи.

Может быть, именно с этих недостаточно продуманных попыток использования геодезического метода и начался кризис в проблеме прогноза землетрясений – американцы разочаровались в опороченном методе. Очевидно, синдром неуспеха был настолько силен, что и теперь геодезические построения на сейсмогенных разломах США рассчитаны на что угодно, но только не на обнаружение мест готовящихся очагов землетрясений. Можно почти не сомневаться в том, что на сегодняшний день это является единственной причиной отсутствия точного прогноза мест подготовки сейсмических катастроф в Калифорнии.

Яркими примерами сказанному являются названное выше непредсказанное разрушительное землетрясение в Сан-Франциско в 1989 г. и полностью провалившийся разрекламированный прогноз в Паркфилде. Можно не сомневаться, что такое положение будет сохраняться до тех пор, пока американские учёные не изменят свое отношение к геодезическому методу и не заставят служить прогнозу землетрясений сильные стороны этого метода.

Как было сказано выше, вторая причина, не позволяющая реализовать прогноз землетрясений с помощью «стратегии аномалий», обусловлена незнанием реальных вариаций фоновых характеристик напряженно-деформированного состояния геофизической среды. Попытаемся обосновать это утверждение.

Есть веские основания полагать, что наряду с локальными и региональными вариациями фоновых характеристик напряженно-деформированного состояния горных пород имеют место и существенные глобальные вариации этих фоновых характеристик (шум). Эти вариации столь существенны, что они не позволяют достоверно опознавать аномалии, порождаемые готовящимся очагом землетрясения, т.е. шум фона столь велик, что делает невозможным выделение искомого нами полезного сигнала.

Постараемся обосновать высказанные соображения.

Как известно, Земля представляет собой вращающуюся термодинамическую систему, напряженно-деформированное состояние которой является результатом взаимодействия многих факторов, главными из которых являются следующие три.

1. Происходящие в объеме всей Земли и являющиеся основной причиной ее тектонической активности так называемые внутренние (эндогенные) процессы.

2. Внешние (экзогенные) процессы, «нацеленные» на выравнивание, сглаживание контрастных форм рельефа поверхности Земли, создаваемого эндогенными процессами.

3. Деформации и нестабильность вращения Земли, обусловленные главным образом космическими факторами.

Можно полагать, что масштабные эндогенные процессы, время существования которых исчисляется геологическими отрезками времени, по природе своей являются медленно и устойчиво развивающиеся во времени и поэтому есть основания считать, что они создают столь же устойчивое, медленно меняющееся во времени напряженно-деформированное состояние земных недр. Из сказанного следует, что, вероятно, не они являются основной причиной быстрых и значительных вариаций напряженно-деформированного состояния значительных объемов геофизической среды.

Экзогенные процессы, являющиеся производными от эндогенных процессов, также вряд ли могут быть причиной указанных выше вариаций.

Что же касается космических воздействий, то, скорее всего, их влияние на напряженно-деформированное состояние земных недр не отличается постоянством и их вклад в вариации этого состояния является определяющим. В первую очередь можно сослаться на неравномерность вращения Земли, для которого характерны не только разнопериодные изменения скорости (рис. 2) [3], но и ее скачкообразные изменения. Есть все основания считать, что именно космические факторы порождают глобальные, кратковременные (от года и до мгновений) значительные вариации напряженно-деформированного состояния Земли и в первую очередь в ее верхних частях.

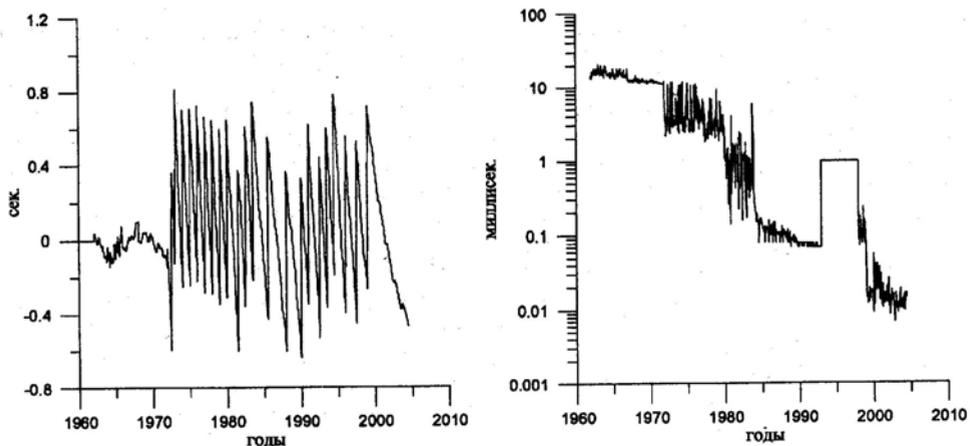


Рис. 2. Расхождение шкал времени UT1 (слева) и погрешности измерений (справа) (Зотов, 2005):
 UT1 – шкала Всемирного времени, получаемая из астрономических наблюдений.
 UTC – атомная шкала Всемирного координированного времени

Неоднородное по прочности и блоковое строение земной коры приводит к тому, что вариации напряженно-деформированного состояния земной коры, порождаемые космическими причинами, носят не плавный, а дискретный характер (бухты, пилообразность). Наибольшие амплитуды вариаций испытывают наименее прочные, ослабленные участки земной коры (разломные зоны и другие менее прочные структуры земной коры). Можно полагать, что именно такие вариации в различных полях часто принимают за вариации, порождаемые очагами землетрясений. Это представляется тем более вероятным, когда слушаешь или читаешь сообщения о том, что по результатам выполненного после случившегося землетрясения анализа предвестники землетрясения обнаруживаются даже на расстояниях многие тысячи километров. Как известно, любой импульс из какого-нибудь источника ослабевает по мере удаления от него и поэтому к сообщениям об обнаружении предвестников на огромных расстояниях от их источника следует относиться с большой осторожностью. К тому же при больших расстояниях между источником возбуждения (очаг землетрясения) и приемником на пути распространяющегося в реальной среде импульса располагаются многочисленные препятствия, которые не только его ослабляют, но и вообще могут погасить. Академик Г.А. Гамбурцев прозорливо полагал – «Большинство из предвестников землетрясений, по всей видимости, будут проявляться лишь в эпицентральной области землетрясения; поэтому они будут наблюдаться очень редко» [Гамбурцев, 1960, с. 433].

В настоящее время имеются экспериментальные данные, подтверждающие правомерность изложенных соображений о быстрой глобальной изменчивости напряженно-деформированного состояния геофизической среды Земли. Речь идет о ее гидрогеодеформационном поле. Обратимся к первоисточнику.

«Многолетние исследования, связанные с изучением режима подземных вод, и сопоставленные наряду с этим геомеханические свойства массивов горных пород привели к обнаружению неизвестного ранее явления – глобально распространенных быстропротекающих пульсационных изменений в гидросфере и обусловленной таким постоянно действующим процессом новой разновидности геофизического поля – гидрогеодеформационного (ГГД) поля Земли...

Исследования особенностей функционирования ГГД-поля, проведенные в приложении к различным регионам мира, позволили установить очень высокие темпы и планетарный охват деформационных процессов, протекающих в земной коре ...» [Вартанян Г.С., 1995, с. 29].

Таким образом, изучение пространственно-временных характеристик одного из наиболее чувствительных индикаторов изменения напряженно-деформированного состояния геофизической среды Земли – ее подземной геосферы – подтверждает наличие глобально распространенных быстрых изменений указанного состояния среды.

На основании указанных исследований ГГД-поля Г.С. Вартанян делает с нашей точки зрения необоснованное заключение о возможности их использования для осуществления прогноза землетрясений. Он пишет [Вартанян Г.С., 1995, с. 30]:

«Именно дальное действие ГГД-поля позволило установить, что процессы предсейсмической геодинамической активизации, охватывая гигантские ареалы, происходят в разновозрастных геолого-структурных системах крупных литосферных плит, взаимодействующих между собой и формирующих в толщах сложные поля напряжений и деформаций. Весьма представительно в этом отношении крупнейшее Рудбар-Таромское землетрясение (июнь 1990 г., Иран).

Результаты ГГД-мониторинга, выполненного на территории Кавказа, Казахстана и Средней Азии, позволили инструментально зарегистрировать развитие мощных процессов растяжения земной коры, охвативших в 1989–1990 гг. Памирскую горную страну, Тянь-Шань, Туранскую и, по-видимому, Аравийскую плиты, системы Копет-Дага, Кавказа. С учетом полученных измерений, даже по сильно заниженным оценкам, следует, что на заключительной фазе подготовки землетрясения (с января 1990 г.) в этот процесс были вовлечены ареалы площадью не менее $3\,000\,000\text{ км}^2$ » [Вартанян Г.С., 1995, с. 30].

Вывод о том, что выявленные на огромной площади (не менее 3 млн км²) вариации напряженно-деформированного состояния геофизической среды обусловлены подготовкой Рудбар-Таромского землетрясения ($M = 7.3$) не представляется обоснованным и вот почему.

В статье приведены три карты ГГД-поля [то же, с. 31], отражающие его состояние в три момента: за три месяца до землетрясения, во время землетрясения и спустя 2 месяца после землетрясения (рис. 3). Даже беглого взгляда на эти карты достаточно для того, чтобы убедиться в том, что показанные на этих картах вариации ГГД-поля совершенно противоречат представлениям о том, что показанные на них вариации поля обусловлены процессами разрушения очага

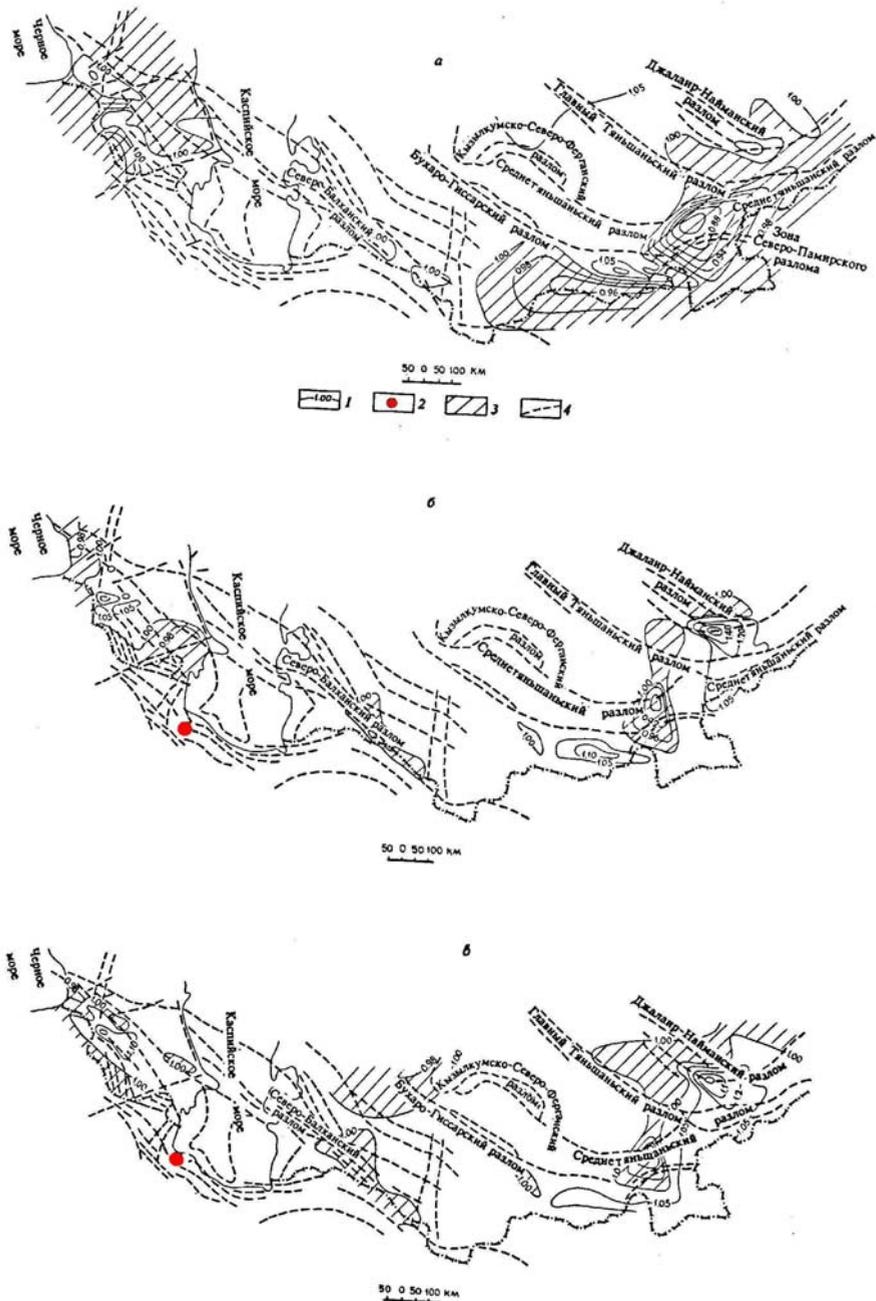


Рис. 3. Карта ГДД-поля Кавказа – Средней Азии на 25.03.90 г. (а), 20.06.90 г. (б) и 15.08.90 г. (в) – соответственно до, во время и после Рудбар-Таромского землетрясения (Вартанян, 1995): 1 – изолинии напряженного состояния ГДД-поля; 2 – эпицентр землетрясения (20.06.90 г., Иран); 3 – зоны относительного сжатия; 4 – основные тектонические разломы

Рудбар-Таромского землетрясения. Если бы это было действительно так, то, как уже отмечалось выше, максимальные вариации поля должны были бы иметь место в районе расположения очага и убывать по мере удаления от него. В действительности все наоборот – максимальные вариации поля испытали наиболее удаленные (на тысячи километров) от очага районы (Памир – Тянь-Шань), а минимальные вариации испытали районы расположенные вблизи очага.

Таким образом, есть веские основания считать, что приведенные на рис. 3 данные противоречат представлениям о том, что они связаны с процессами в очаге Рудбар-Таромского землетрясения. В свет изложенного в этой статье можно полагать, что ГГД-поле рассматриваемого района является лишь частью глобального нестационарного ГГД-поля и поэтому если бы ГГД-мониторингом был охвачен весь Альпийско-Гималайский пояс, то, скорее всего, аналогичные вариации были бы зафиксированы во всем этом поясе.

Подтверждение этому выводу можно найти и в поле деформаций земной коры, измеренных геодезическими методами. В статье Л.И. Серебряковой [10] приведены данные повторных нивелирований на Алтае, проведенных до Алтайского землетрясения 2003 года (рис. 4 и 5). Из приведенных графиков скоростей вертикальных движений земной коры в интервале 1978–1994 гг. следует, что максимальные вариации скоростей испытывают участки земной поверхности, удаленные от очага будущего землетрясения на сотни километров (общая длина геодезической трассы около 800 км), в то время как вблизи этого очага заметные вариации скоростей отсутствуют.

Вопрос об участии космических факторов в тектонической жизни Земли, конечно же, не нов и пока все еще остается дискуссионным – единой точки зрения на эту проблему нет. Вот что по этому поводу можно прочесть у профессора М.В. Стоваса – приверженца и страстного пропагандиста идей космического влияния на развитие Земли:

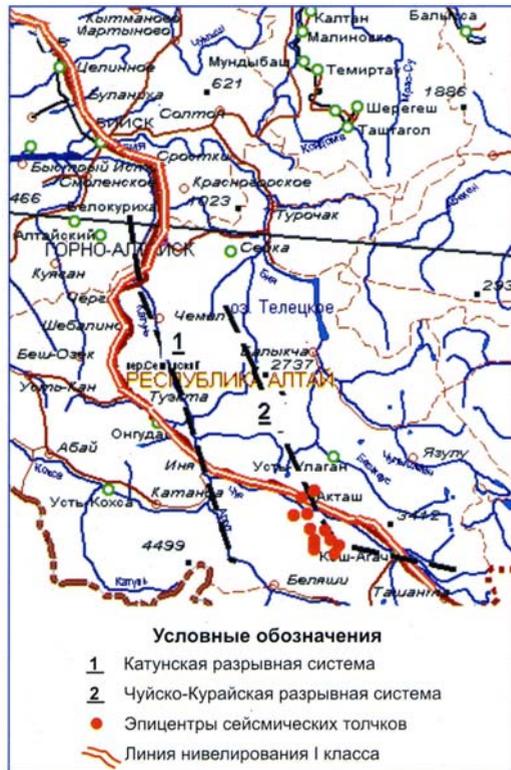


Рис. 4. Район Алтайского землетрясения 2003 г.

«...многие тектонисты стремились дать объяснение тектоники Земли только с позиции одной причины — изменения внутреннего строения, т. е. рассматривали и изучали Землю без учета ее космической жизни, ее жизни как планеты Солнечной системы, без учета совокупности ее движений в пространстве и во времени... Такое геоцентрическое мировоззрение существовало в свое время в естествознании, когда Землю считали неподвижным и неизменяемым центром вселенной. К сожалению, в настоящее время (1960 г. – А.П.) некоторые геотектонисты, несмотря на успехи в области изучения ротационного режима Земли, все еще продолжают оставаться на давно забытых в астрономии устоях Птолемеевой системы мира, крах которой произошел четыре столетия тому назад» [Стовас М.В., 1975, с. 3-4].

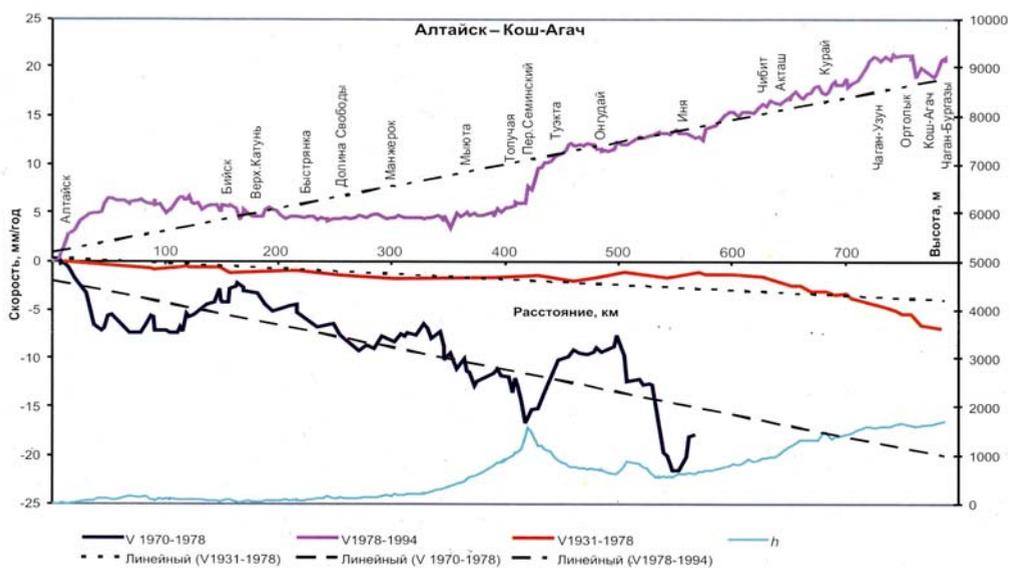


Рис. 5. Данные повторных нивелирований, выполненных до Алтайского землетрясения 2003 г.

Следует также обратить внимание на следующие соображения М.В. Стова-са, высказанные им еще в середине прошлого века: «...Земля под действием деформирующих сил сопряженно меняет свою фигуру за геологическое время, что и предопределяет широтно-зональную направленность ее тектонической жизни, которая, в свою очередь, вуалируется движениями, возникающими за счет изменения внутреннего строения, и горизонтальными движениями корового слоя в связи с вращением планеты. Зональное движение корового слоя, несомненно, связано с неравномерностью вращения Земли и расслоением ее оболочек» [Стовас М.В., 1975, с. 3].

Здесь, по существу, речь идет о так называемом тектоническом расслоении литосферы, которое значительно позже широко обсуждалось и получило заслуженное признание [Тектоническая расслоенность литосферы и региональные геологические исследования, 1990].

Укажем также фамилии некоторых ученых, занимавшихся и занимающихся проблемами влиянием космоса на развитие Земли: Авсюк Ю.Н., Бондарчук В.Г., Гуттенберг Б., Косыгин Ю.А., Красовский Ф.Н., Лейбензон Л.С., Личков В.Л., Марков К.К., Шатский Н.С., Эйгенсон М.С., De Sitter W., Stoyko N.

Итак, можно полагать, что осуществляемая в настоящее время методология решения проблемы прогноза землетрясений принципиально непригодна для этих целей, так как из-за значительных фоновых помех (шума) невозможно достоверно выделять порождаемые очагом землетрясения разрозненные аномалии в различных полях (полезный сигнал). Именно поэтому осуществить проблему прогноза землетрясений методами решения обратных задач не представляется возможным, что и подтверждается длительными, и в некоторые периоды очень интенсивными (СССР, США – Паркфилд, Япония), комплексными исследованиями, осуществляемые по указанной методологии.

В последнее время некоторыми геодезистами вновь будируется идея о возможности осуществления проблемы прогноза землетрясений методом решения обратных задач на основе данных мониторинга в больших геодезических сетях [Прилепин М.Т., 1998; Серебрякова Л.Н., Кузнецов Ю.Г., 2005].

Следует отметить, что подобный эксперимент уже был осуществлен. Более 100 лет назад на всей территории Японии была создана сеть триангуляции I класса. В середине прошлого века измерения в сети были повторены. И что же это дало для прогноза землетрясений? Ни одного готовящегося очага на территории Японии обнаружено не было! Яркой иллюстрацией сказанному является землетрясение 1995 года, разрушившее г. Кобе, очаг которого готовился никак не менее 200 лет.

Использование больших геодезических сетей в том виде, как предлагается в [то же], по существу, является призывом к тому, чтобы в решении проблемы прогноза землетрясений вернуться на несколько десятилетий назад и повторить тот ошибочный путь, который и завел проблему в тупик. Ссылки на то, что деформации земной коры будут измеряться не наземными, а космическими методами геодезии принципиального значения не имеют. В рассматриваемом случае важно ни то чем, а что мерить. Ведь в прогнозе землетрясений главными и определяющими являются не количественные характеристики измеряемых деформаций, а их вид. **Упругий изгиб.**

О том, что в исследуемом объеме горных пород идет процесс подготовки землетрясения, можно говорить лишь в том случае, если обнаруженные в нем деформации будут упругими (упругим изгибом). Пластические деформации при этом ни в счет: никакие, даже сверх большие, накопленные в горных породах пластические деформации не могут породить землетрясение, так как при пластическом деформировании в них не накапливается необходимая для этого потенциальная энергия. Землетрясение произойдет лишь в том случае, если в том или ином объеме горных пород земной коры будут накоплены предельные для этих пород касательные напряжения, порождаемые упругим изгибным деформированием этих пород. Именно нарастающая во времени деформация упруго-

го изгиба горных пород приводит к накоплению в них порождающей землетрясение потенциальной энергии.

Таким образом, если иметь в виду решение проблемы точного прогноза места очага готовящегося землетрясения, то геодезический метод нужно использовать не просто для измерения разрозненных аномальных деформаций (этим занимаются уже десятки лет), а по его прямому назначению – для обнаружения участков земной коры, в которых накапливаются упругие сейсмогенные деформации. Большие геодезические сети с редким расположением пунктов для этой цели непригодны, так как такое расположение пунктов не позволяет обнаруживать и уверенно выделять узкие (шириной 5–10 км) сильно деформированные упругим сейсмогенным изгибом участки земной поверхности очаговых зон, т.е. не позволяет решить проблему точного прогноза места готовящегося очага землетрясения и его размеры прямым методом. Готовящийся очаг землетрясения можно обнаружить лишь с помощью специальных, незначительных по размерам (десятки километров) геодезических прогнозных профилей, ортогонально пересекающих сейсмогенную зону. Пункты наблюдений на таком профиле должны располагаться очень часто – 200–500 м в центральной части профиля (вблизи сейсмогенного разлома) и не превышать 1 км на его концах. Большая густота пунктов наблюдений необходима для уверенного определения вида деформирования, так как единственным и достоверным признаком подготовки очага землетрясения является регулярная деформационная кривая, фиксирующая нарастающий во времени упругий сейсмогенный изгиб горных пород. Методология осуществления точного прогноза места готовящегося очага землетрясения и определения его размеров подробно рассмотрена во многих публикациях и том числе в [Певнев А.К., 2003; Певнев А.К., 2006].

Однако изучение пространственно-временных характеристик полей деформаций и их вариаций с помощью мониторинга больших геодезических сетей весьма перспективно и вот почему.

Есть все основания полагать, что процесс накопления сейсмогенных напряжений (упругих деформаций) в очаге готовящегося землетрясения является процессом консолидационным, т.е. накопление значительных упругих деформаций в очаге возможно лишь в том случае, если упругие процессы в том или ином объеме горных пород являются определяющими. А это означает, что очаг в стадии накопления потенциальной упругой энергии (в фазе созидания) должен представлять собой более стабильное, пластически мало деформируемое включение в сейсмогенном слое земной коры. А так как очаги готовящихся землетрясений представляют собой участки сейсмогенных зон, в которых прекратились или существенно замедлились пластические (крип), тектонические смещения, то это обстоятельство можно использовать для выделения вероятных местоположений таких очагов, т.е. с помощью указанного геодезического мониторинга выделять участки сейсмогенных зон с нарушенным ритмом тектонических смещений в разломе. Можно полагать, что одним из основных элемен-

тов таких построений является геодезический четырехугольник, который, как известно, является чутким индикатором горизонтальных подвижек его пунктов.

Здесь уместно обратить внимание на следующее. Расхожим мнением является то, что очаги будущих землетрясений нужно искать в местах максимальных деформаций горных пород. Очевидно, это справедливо для очага, находящегося в последней стадии разрушения – незадолго до возникновения в нем магистрального разрыва, т.е. когда в нем главенствующая роль принадлежит пластическим деформациям. Очаги же в стадии их созидания следует искать в наименее пластически деформируемых участках сейсмогенных зон. Проверить справедливость этих соображения можно лишь экспериментальным путем.

Таким образом, благодаря исследованиям в больших геодезических сетях можно будет с той или иной степенью вероятности определять местоположение, а возможно и размеры, готовящегося очага землетрясения. Так как результаты такого мониторинга являются вероятностными, то такой предварительный этап исследований можно считать рекогносцировочным. Подтвердить или опровергнуть результаты работ этого этапа можно с помощью описанной выше методики, позволяющей отслеживать процесс накопления упругих сейсмогенных деформаций в предполагаемом очаге готовящегося землетрясения. В отличие от первого рекогносцировочного этапа этот второй этап можно назвать прогнозным очаговым.

Таким видится реальный путь использования геодезического метода в решении проблемы прогноза землетрясений. Так как в настоящее время создание рекогносцировочного этапа только обсуждается, то создавать такие геодезические прогнозные системы второго этапа следует в местах, непредсказанные сейсмические катастрофы в которых представляют наибольшую опасность (густозаселенные участки земной поверхности, экологически опасные производства и многое другое).

Заключение

Прогресс в решении проблемы прогноза землетрясений будет возможен лишь в том случае, если наряду со сбором различных аномалий будут начаты исследования, нацеленные на обнаружение **прямых предвестников, прямых указателей того, что в данном конкретном объеме горных пород идет процесс накопления упругих сейсмогенных деформаций. Решить эту задачу можно с помощью специального геодезического мониторинга** [Певнев А.К., 2003; Певнев А.К., 2006].

Без сомнения ГГД-мониторинг является мощнейшим и очевидно надежнейшим инструментом изучения различных пространственно-временных характеристик напряженно-деформированного состояния геофизической среды и поэтому с его помощью можно, наконец-то, с достаточной точностью решить проблему фоновых процессов. Он также позволит районировать земную кору по степени ее современной деформируемости. Организация масштабного и тщательно продуманного ГГД-мониторинга является крайне необходимой.

То же самое относится и к изучению деформационного поля Земли с помощью космических методов геодезии (ГЛОНАСС, GPS), позволяющих изучать вариации этого поля на площадях с характерными размерами в десятки, сотни и тысячи километров. Разумное сочетание геодезического и ГГД-мониторингов позволит более достоверно отслеживать вариации фоновых процессов и с той или иной долей вероятности обнаруживать готовящиеся очаги землетрясений.

Существующее мнение [Вартанян Г.С., 1995; Серебрякова Л.Н., Кузнецов Ю.Г., 1982], что значительные и происходящие на больших площадях вариации напряженно-деформированного состояния земной коры являются следствием сейсмических процессов, представляется ошибочным. Есть веские основания считать, что основными источниками таких вариаций являются эндогенные тектонические процессы и космические факторы. Коровая сейсмичность это лишь одна из разновидностей тектонических движений в активных сейсмогенных разломах земной коры. Она обусловлена либо полным прекращением смещений, либо их замедлением на том или ином участке сейсмогенного разлома, что и приводит к накоплению упругих сейсмогенных деформаций на таких участках, т.е. к зарождению созреванию и разрушению очагов землетрясений.

Литература

1. *Вартанян Г.С.* Гидрогеодеформационное поле в исследовании механизмов геодинамики // Отечественная геология, 1995, № 4, с. 29–37.
2. *Гамбурцев А.Г., Александров С.И., Беляков А.С. и др.* Атлас временных вариаций природных процессов. Порядок и хаос в литосфере и в других сферах, т. 1. – М., 1994. – 196 с.
3. *Зотов Л.В.* Регрессионные методы прогнозирования параметров вращения Земли // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика. Астрономия, 2005, № 5, с. 64–70.
4. *Кейлис-Борок В.И.* Динамика литосферы и прогноз землетрясений // Природа, 1989, № 12, с. 10–18.
5. *Кейлис-Борок В.И.* До аплодисментов еще далеко // Известия, № 307, 2 ноября 1989 г.
6. *Кондратьев О.К.* Разведочная геофизика с целью прогноза землетрясений // Геофизика, 1995, № 3, с. 19–25.
7. *Лукк А.А., Децеровский Ф.В., Сидорин А.Я., Сидорин И.А.* Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде. – М.: ОИФЗ РАН. 1996. – 210 с.
8. *Певнев А.К.* Пути к практическому прогнозу землетрясений. – М.: ГЕОС, 2003. – 153 с.
9. *Певнев А.К.* О реальных возможностях деформационно-геодезического метода в решении проблемы прогноза землетрясений // Геофизика XXI столетия: 2005 год. Сб. трудов Седьмых геофизических чтений имени В.В. Федынского. – М.: Научный мир, 2006, с. 221–230.
10. *Прилепин М.Т.* Концепция использования глобальных спутниковых систем для прогноза землетрясений // Вестник ОГГТГН Рос АН. 1998. Т. 1. № 3, с. 202–213.
11. *Рихтер Ч.Ф.* Элементарная сейсмология. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 670 с.
12. *Садовский М.А., Николаев А.В.* Новые методы сейсмической разведки: Перспективы развития // Вест. АН СССР, 1982, № 1, с. 57–64.
13. *Серебрякова Л.И., Кузнецов Ю.Г.* Геодезия и прогноз землетрясений // Геодезия и картография, 2005, № 2, с. 9–18.
14. *Стюас М.В.* Избранные труды. Ч. 1. – М.: Недра, 1975. – 156 с.
15. Тектоническая расслоенность литосферы и региональные геологические исследования. – М.: Наука, 1990. – 294 с.
16. *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.