

А.К. Певнев

К ПРОГНОЗУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ЧЕРЕЗ ИЗУЧЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ОБЪЕМА ЕГО ОЧАГА

А.К. Pevnev

TO FORECAST EARTHQUAKES THROUGH THE STUDY OF VARIATIONS IN THE VOLUME OF HIS HOME

На стадии подготовки землетрясения происходит уменьшение размеров его готовящегося очага, обусловленное процессом накопления упругих сейсмогенных деформаций (напряжений). Затем происходит существенное увеличение размеров при его разрушении, обусловленном достижением предельных упругих напряжений. Указанные вариации объема очага весьма значительны и вполне измеримы геодезическим и уровнемерным методами, что и открывает путь к реальному прогнозу землетрясений.

Ключевые слова: упругость; сейсмогенная деформация; дилатанция; прогноз землетрясений.

At the preparation stage of an earthquake dimensions of the earthquake centre decrease because of the process of accumulation of elastic seismic strains (stresses). Then they significantly increase during destruction of the center caused by achievement of ultimate elastic stresses. These variations of the earthquake centre volume are considerable. They are quite measurable by the geodetic and leveling methods. It opens a way to a real prediction of earthquakes.

Key words: elasticity; seismic strain; dilatancy; prediction of earthquakes.

Почти всегда в научной геодезии имеют дело с установлением очень малых величин, которые, однако, свидетельствуют о мощных грандиозных процессах в жизни Земли.

Ф.Н. Красовский [4]

Об уменьшении размеров очага готовящегося землетрясения в стадии его подготовки

Деформационные процессы подготовки и разрушения очага корового землетрясения являются разнонаправленными процессами. В стадии подготовки очага землетрясения имеет место накопление в нём упругих сейсмогенных деформаций

(напряжений), в то время как в стадии разрушения очага происходит обратное явление — сброс накопленных в нём указанных напряжений.

Возникает вполне закономерный вопрос — нельзя ли эти обстоятельства использовать в прогностических целях — в первую очередь в проблеме прогноза времени землетрясения. Совершенно очевидно, что начинать такие исследования нужно с определения реальных величин изменения объёма очага землетрясения, обусловленных накоплением в нём сейсмогенных деформаций.

Как известно, при упругом деформировании из-за приложенных напряжений тело испытывает изменение формы и размеров. Отличительной особенностью упругого деформирования от пластического является то, что при нём не нарушаются межатомные связи и не создаются новые, т.е. в отличие от пластических деформаций в упруго деформированном теле взаимное расположение атомов остаётся неизменным. Благодаря этому обстоятельству при снятии дополнительной нагрузки и происходит восстановление равновесного состояния.

Следует отметить, что при упругом сжатии расстояния между атомами уменьшаются, при упругом растяжении увеличиваются, а при чистом упругом сдвиге вся решётка кристалла скашивается как единое целое, что приводит к уменьшению расстояния между плоскостями приложения касательных напряжений в ортогональном к ним направлении.

Таким образом, при приложении упругих напряжений сжатия и сдвига изменяется форма и размеры деформируемого тела, что сопровождается либо уменьшением его объёма (при сжатии), либо уменьшением его размеров (при чистом сдвиге). Причём это уменьшение является весьма ощутимым. Так, при сжатии предельное уменьшение равновесных межатомных расстояний составляет величину 10^{-3} [3]. Совершенно очевидно, что, если столь значительные уменьшения размеров, установленные на микро уровне, имеют место и на макро уровне, то их измерение не представляет никакой проблемы, так как точность современных методов геодезических измерений составляет 10^{-6} – 10^{-7} , а стационарными деформометрами измерять изменения расстояний можно с точностью 10^{-10} и выше. Но в праве ли мы полагать равенство деформаций на столь разных уровнях. Есть все основания считать, что такое равенство имеет место в действительности и вот почему.

Теоретические соображения о причинах этого явления сводятся к следующему. Тектоническое коровое землетрясение — это порождающее сдвиговые волны быстрое (сейсмическое) разрушение некоторого объёма горных пород (очага землетрясения), вызванное накопленными в этом очаге упругими сдвиговыми деформациями (упругими сдвиговыми напряжениями). А это означает, что непременным условием подготовки очага землетрясения является наличие в зоне разлома механически прочного, консолидированного объёма горных пород (жёсткого включения), т.е. что очаг в **стадии (фазе) соиздания должен представлять тело, преобладающими деформациями которого являются упругие деформации. Совершенно очевидно, что именно это условие является необходимым и достаточным для зарождения и формирования очага землетрясения.**

Академик Г.А. Гамбурцев, ещё в середине XX в. разработавший прекрасную, глубоко научно обоснованную программу прогноза землетрясений, гениально предсказал возникновение участков задержки в сейсмогенных разломах, которые он образно

назвал «спайками». Он писал: «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» [10, с. 306].

Да, собственно сам факт возникновения землетрясений в верхнем слое земной коры говорит о том, что в этом слое есть условия для накопления в том или ином объёме горных пород упругих сейсмогенных (сдвиговых) деформаций.

Таким образом, предположение о сопоставимости величин упругих деформаций на микро и макро уровнях можно считать вполне обоснованным и это позволяет считать, что происходящее при подготовке очага землетрясения уменьшение его размеров (его ширины) является вполне измеряемой величиной.

В монографии [8] приведены доказательства того, что процесс подготовки очага землетрясения отражается на земной поверхности — верхней границе сейсмогенного слоя земной коры, мощность которого составляет 10–25 км и поэтому рассматриваемое уменьшение объёма очага может быть измерено непосредственно на земной поверхности. Это обстоятельство открывает возможности использования для прогноза землетрясений метода прямых задач и, следовательно, реального решения проблемы прогноза.

Как известно, в XX в. все попытки решить проблему прогноза землетрясений методом обратной задачи окончились полным провалом, что у многих подорвало веру в возможность решения этой животрепещущей проблемы [5]. В статье [9] показано, что использованные для решения проблемы прогноза обратные задачи являются некорректными.

Так как линейный размер очага сильного землетрясения (его ширина) измеряется десятками километров, то отслеживать во времени процесс уменьшения его объёма можно лишь геодезическим методом. Для этого можно использовать предложенные ранее специальные геодезические построения — прогнозные профили [6, 7, 8].

Об увеличении объёма очага землетрясения в стадии его разрушения

Так как в процессе разрушения очага землетрясения происходит сброс накопленных в нём упругих напряжений, отсюда следует, что упруго напряжённые горные породы в очаге должны возвращаться в исходное — упруго ненапряжённое состояние, т.е. ширина очага должна увеличиваться. Следовательно, если определить момент перехода от уменьшения к увеличению ширины очага, т.е. момент начала разрушения этого очага, то уже одно это не позволит сделать землетрясение неожиданным. Однако установление указанного момента не означает установление точного времени будущего землетрясения, так как процесс предразрушения — время до возникновения магистрального разрыва (землетрясения) — может длиться достаточно долго: для сильных землетрясений возможно месяцы, а может быть и годы. Причину этого следует в первую очередь искать в прочностных неоднородностях горных пород во всем объёме очага землетрясения.

Совершенно очевидно, что локальные объёмы в очаге с менее прочными породами начнут разрушаться ранее более прочных пород и этот процесс может длиться долго. Существованием периода этапа предразрушения следует воспользоваться для организации наблюдений (если они не были организованы ранее), нацеленных на установление **закономерностей разрушения очагов землетрясений**.

При определении перечня методов, необходимых для прогноза времени, крайне уместно привести следующие соображения академика Г.А. Гамбурцева: «Изыскание методов прогноза времени землетрясений следует направить в первую очередь в сторону поиска механических предвестников землетрясений. Такие поиски могут быть успешными только в том случае, если они будут основываться на глубоком изучении всех деталей механизма быстрых и медленных движений блоков земной коры сейсмоактивных районов» [10, с. 306].

С учётом этих соображений Г.А. Гамбурцева мы имеем полное основание говорить о том, что перечень методов для прогноза времени должен начинаться с методов наблюдений за полями смещений и деформаций в непрерывном режиме (сейсмологические, наклономерные, деформографические и специальные геодезические измерения повышенной точности, проводимые в непрерывном режиме).

Одновременно с проведением комплексных деформационных исследований целесообразно следить за очагом с помощью сейсмических методов, позволяющих отслеживать вариации его напряжённого состояния [1].

Для осуществления краткосрочного прогноза крайне перспективными могут оказаться наблюдения за различными аномалиями в ионосфере, которые возникают за «...сутки, несколько суток перед землетрясением» [2, с. 139]. Эти наблюдения могут указать на то, что очаг уже находится в последней стадии разрушения.

Мы назвали здесь лишь некоторые из наиболее перспективных, с нашей точки зрения методов, необходимых в решении проблемы прогноза времени землетрясения. Однако на современной стадии исследований их целесообразно проводить с использованием широкого комплекса самых разных методов. Помимо прочего это позволит получить сравнительные характеристики информативности различных методов и оценить перспективы их использования.

В этом этапе основным опорным методом является **комплексный деформационный**, включающий в себя следующие три метода: геодезический, геофизический и сейсмологический.

Комплексирование этих методов обязательно, так как они фиксируют не только различные скоростные и количественные характеристики деформационных процессов, но и их разномасштабность, т.е. они являются взаимодополняющими друг друга при изучении закономерностей протекания деформационных процессов.

Рассматривая вопрос об увеличении ширины очага при его разрушении, следует иметь в виду, что в стадии предразрушения имеет место значительное увеличение объёма очага вследствие возникновения дилатансионных процессов — увеличения пористости пород, формирования в них различных трещин и др. Существенное увеличение объёма разрушающегося очага может быть обусловлено также его заполнением (насыщением), оказывающими распирающее действие, подземными водами из окружающего пространства. Реальность этих соображений находит

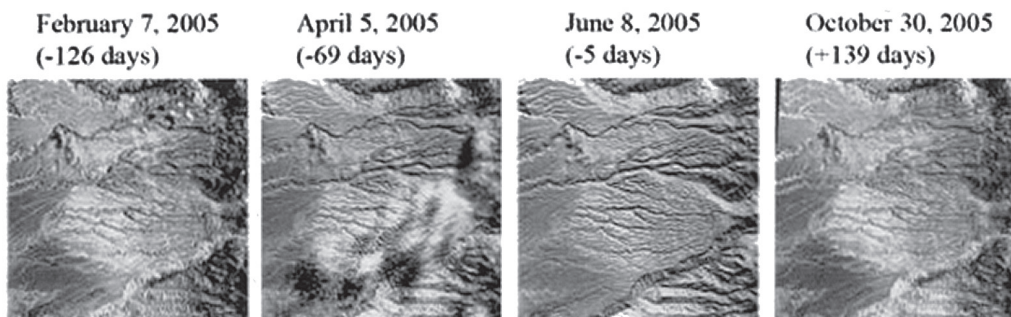
подтверждение в экспериментальных данных — результаты наблюдений за изменениями уровней воды в колодцах и скважинах в сейсмоактивных зонах, а также наблюдаемые подьёмы (вспучивания) земной поверхности в эпицентральных зонах будущего землетрясения.

Лабораторные эксперименты по изучению этого явления показали, что для разных типов пород увеличение их объёма составляет от долей до первых процентов, т.е. до 10^{-2} [12]. Если реальное увеличение объёма очага будет сопоставимо с полученным в лаборатории, то его отслеживание геодезическим методом более чем реально.

Таким образом, можно полагать, что деформационные процессы этапа разрушения могут быть на порядок (или порядки) интенсивнее деформационных процессов при подготовке очага землетрясения.

О возможности прогнозов места и времени для глубоководных землетрясений

В статье [11], посвящённой использованию космических снимков высокого разрешения для отслеживания деформаций земной поверхности в местах подготовки сильных землетрясений, рассмотрены деформации (изменения ширины линеаментов) для землетрясения в северной части Чили, произошедшего вблизи побережья 13.06.2005. Магнитуда 7,8, глубина гипоцентра 115 км (см. рис.).



Космические снимки одного и того же участка земной поверхности в эпицентральной зоне чилийского землетрясения, сделанные до и после землетрясения 13 июня 2005 г. [11]

На снимках прекрасно видно, что с приближением к дате землетрясения (за 69 и 5 дней) линеаменты видны очень чётко, в то время как за 126 дней до землетрясения и через 139 дней после события такой чёткой картины нет.

В свете вышеизложенного можно полагать, что увеличение объёма глубоководного разрушающегося очага землетрясения достигает земной поверхности и столь значительно, что даже визуально улавливается на космических снимках. Совершенно очевидно, что указанные процессы вариаций объёмов очагов землетрясений с большой точностью можно отслеживать геодезическим методом. Без сомнения, такие исследования могут явиться ключом к познанию закономерностей процессов разрушения очагов землетрясений.

Заключение

Подготовка и разрушение очага землетрясения являются процессами механическими — накопление и сброс упругих сейсмогенных деформаций (напряжений). Это прямые указатели, прямые предвестники как подготовки, так и разрушения очага землетрясения, и поэтому в решении проблемы прогноза землетрясений изучение именно этих процессов должно быть определяющим. Все остальные методы, рассматриваемые как предвестники, не являются обязательными в этих процессах, и поэтому они могут иметь место, а могут и не иметь.

При подготовке очага землетрясения уменьшение ширины его очага (без изменения его объёма) возможно лишь при чистом сдвиге. Если же при этом в очаге имеют место и другие поля напряжений (сжатие, растяжение), то, в этом случае, наряду с вариациями ширины очага будут иметь место и вариации объёма очага. Очевидно, это и имеет место в реальных условиях. Однако при этом определяющим является поле сдвиговых напряжений.

Определение момента перехода от уменьшения объёма готовящегося очага землетрясения (фаза накопления упругих сейсмогенных напряжений) к его увеличению (фаза разрушения очага) — крайне важно в решении проблемы **прогноза времени землетрясений**. В этом случае появляются реальные возможности для организации комплексных исследований, нацеленных на расшифровку законов разрушения очагов землетрясений, что необходимо для осуществления прогноза времени максимального сброса накопленной в очаге упругой энергии, т. е. для точного прогноза времени землетрясения.

Геодезический метод можно с успехом использовать для прогноза как коровых, так и сильных глубоководных землетрясений.

Литература

1. *Гамбурцев А.Г., Певнев А.К.* О перспективах геодезического и сейсмического мониторинга при прогнозе землетрясений. // Геофизика, 1996, № 4, с. 35–41.
Gamburtsev A.G., Pevnev A.K. O perspektivakh geodezicheskogo i seysmicheskogo monitoringa pri prognoze zemletryaseniya. // Geofizika, 1996, № 4, s. 35–41.
2. *Гохберг М.Б.* Взаимодействие литосферы и ионосферы Земли. // Изв. РАЕН. Секция наук о Земле, 1999, вып. 2, с. 136–140.
Gokhberg M.B. Vzaimodeystvie litosfery i ionosfery Zemli. // Izv. RAEN. Sektsiya nauk o Zemle, 1999, vyp. 2, s. 136–140.
3. *Китайгородский А.И.* Введение в физику. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1974.
Kitaygorodskiy A.I. Vvedenie v fiziku. — M.: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 1974.
4. *Красовский Ф.Н. и др.* В Академии наук СССР должна быть создана картографо-геодезическая группа. // Геодезист, 1938, № 12, с. 5–7.
Krasovskiy F.N. i dr. V Akademii nauk SSSR dolzhna byt' sozdana kartografo-geodezicheskaya gruppa. // Geodezist, 1938, № 12, s. 5–7.
5. *Лукк А.А., Дещеревский Ф.В., Сидорин А.Я., Сидорин И.А.* Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде. — М.: ОИФЗ РАН, 1996. — 210 с.
Lukk A.A., Deshcherevskiy F.V., Sidorin A.Ya., Sidorin I.A. Variatsii geofizicheskikh poley kak proyavlenie determinirovannogo khaosa vo fraktal'noy srede. — M.: OIFZ RAN, 1996. — 210 s.

6. *Певнев А.К.* О прогнозе сильных коровых землетрясений. // Геодезия и картография, 1987, № 4, с. 18–23.
Pevnev A.K. O prognoze sil'nykh korovykh zemletryaseniyy. // Geodeziya i kartografiya, 1987, № 4, s. 18–23.
7. *Певнев А.К.* Прогноз землетрясений — геодезические аспекты проблемы. // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1988, № 12, с. 88–98.
Pevnev A.K. Prognoz zemletryaseniyy — geodezicheskie aspekty problemy. // Izv. AN SSSR. Ser. Fizika Zemli, 1988, № 12, s. 88–98.
8. *Певнев А.К.* Пути к практическому прогнозу землетрясений. — М.: ГЕОС, 2003. — 152 с.
Pevnev A.K. Puti k prakticheskomu prognozu zemletryaseniyy. — M.: GEOS, 2003. — 152 s.
9. *Певнев А.К.* Геодезический мониторинг для прогноза землетрясений. // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 2011, № 11, с. 65–72.
Pevnev A.K. Geodezicheskiy monitoring dlya prognoza zemletryaseniyy. // Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel', 2011, № 11, s. 65–72.
10. Развитие идей Г.А. Гамбурцева в геофизике. — М.: Наука, 1982. — 320 с.
Razvitie idey G.A. Gamburtseva v geofizike. — M.: Nauka, 1982. — 320 s.
11. *Arellano-Baeza A.A., Garcia R.V., Trejo-Soto M.* Use of high resolution satellite images for tracking of changes in the liniament structure, caused by earthquakes. arXiv:0706.1827v2 [physics.geo-ph] 14 Jun 2007.
12. *Scholz C.H., Saykes I.R., Aggarwall Y.P. et al.* Earthquake prediction: A physical basis. // Science, 1973, vol. 181, pp. 803–810.