

УДК 528.2, 551.24, 550.34
DOI: 10.23671/VNC.2014.4.55517

О МОДЕРНИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ВЛАДИКАВКАЗСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПРОГНОЗНОМ ПОЛИГОНЕ

© 2014 А.К. Певнев¹, д.т.н., В.Б. Заалишвили², д.ф.-м.н., проф.,
Д.А. Мельков², к.т.н.

¹Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, Россия, 123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10, e-mail: an.pevnev@yandex.ru; ²Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru

С целью ускорения создания геодезической прогнозной системы на Владикавказском геодинамическом прогнозном полигоне предлагается для обнаружения очагов готовящихся землетрясений использовать метод отслеживания вариаций размеров и объема такого очага (объемная методика).

Ключевые слова: упругость, сейсмогенная деформация, дилатансия, прогноз землетрясений.

Северный Кавказ представляет собой область высокой сейсмической опасности. Одной из важнейших геологических структур на территории Северной Осетии является Владикавказский разлом, представляющий потенциальную опасность для столицы Республики Северная Осетия-Алания – г. Владикавказа. Его сейсмический потенциал оценивается магнитудой больше семи ($M=7,1$ по Рогожину Е.А., 2007). Владикавказский глубинный разлом, как единая структура 1-го порядка, выделяется, прежде всего, по геофизическим данным (Письменный и др., 2006). В поле горизонтальных градиентов силы тяжести он характеризуется аномально высокими значениями горизонтальных градиентов. В приповерхностной части ему соответствует расслоенная вертикальная флексура с размахом смыкающего крыла до 10 км и углом падения до 60° [Шемпелев, 1982]. По конфигурации изомов он интерпретируется как подвиг Предкавказского мегаблока Скифской эпигерцинской плиты под кристаллический массив горного сооружения (Письменный и др., 2006). Поверхность фундамента в районе Владикавказского разлома смещена на глубину до 5-6 км.

Для осуществления практически значимого прогноза землетрясений предлагается использовать прогнозные возможности деформационно-геодезического метода. При разработке проекта геодезической прогнозной системы на Владикавказском прогнозном полигоне первоначально предусматривалось создание шести геодезических профилей, рассчитанных на осуществление точного прогноза мест готовящихся землетрясений. Для достоверного выделения деформационного предвестника подготовки очага землетрясения (нарастающего упругого изгиба горных пород в готовящемся очаге). Каждый профиль должен быть оборудован достаточно большим количеством геодезических пунктов (десятки), что весьма затратно. К настоящему времени создан лишь один из этих профилей, проходящий по долине р. Терек и пересекающий территорию г. Владикавказ [Заалишвили и др., 2011]. С

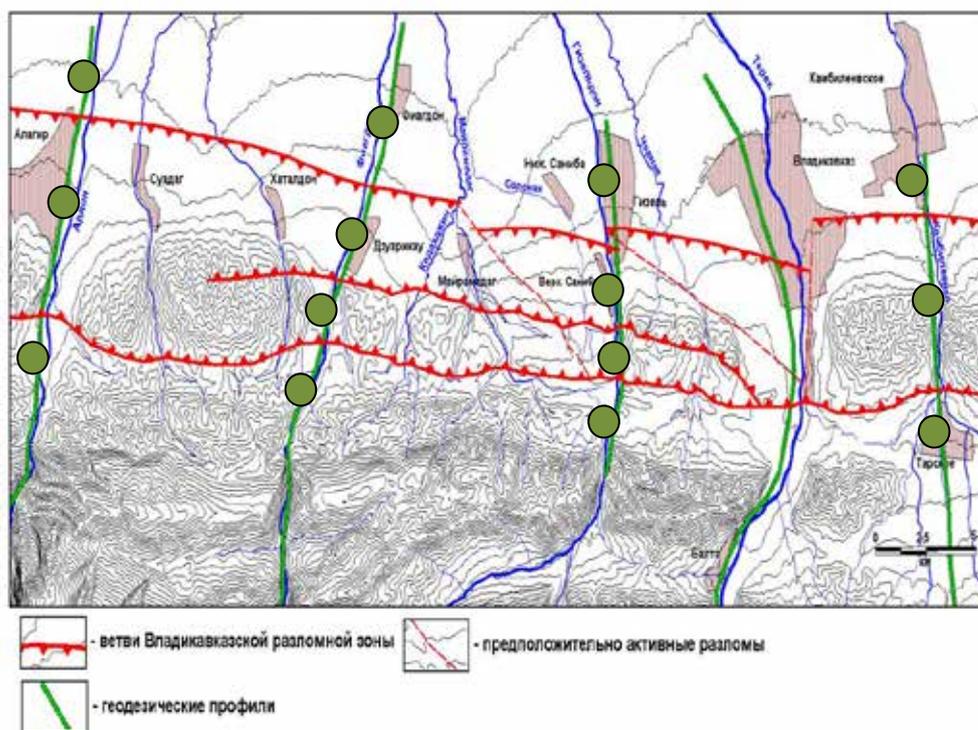


Рис. 1 Схема размещения геодезических пунктов на геодезических прогнозных профилях, рассчитанная на обнаружение очагов землетрясений с использованием объемной модели

целью быстрого создания всей системы профилей и экономии средств можно воспользоваться недавно предложенной методикой определения местоположения готовящегося очага землетрясения не методом отслеживания процесса накопления сейсмогенных деформаций в готовящемся очаге землетрясения, а методом отслеживания вариаций размеров и объема такого очага (объемная методика).

В этом случае на профиле можно иметь 3-5 геодезических пунктов. Конечно, такие профили будут менее информативны, но на начальном этапе исследований, имея в виду, что уже имеется кондиционный накопительный профиль (Владикавказский), этим можно пока ограничиваться.

В этом случае можно будет достаточно быстро создать всю запланированную геодезическую прогнозную систему на Владикавказском геодинамическом прогнозном полигоне. На рис. 1 представлена схема размещения геодезических пунктов на геодезических прогнозных профилях, рассчитанная на обнаружение очагов землетрясений с использованием объемной модели.

Ниже приведено обоснование возможностей обнаружения готовящегося очага землетрясения с помощью наблюдений за вариациями его размеров.

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. 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} [Китайгородский, 1974]. 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) созидания 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 взаимосвязан-

ных процессов медленных и быстрых движений, накопления и разрушения напряжений, увеличения и уменьшения прочности» [Развитие идей..., 1982, 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 объеме 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 означает, что уменьшение ширины очага готовящегося землетрясения, происходящее вследствие накопления в нём сдвиговых упругих деформаций, является вполне измеримой величиной.

В монографии [Певнев, 2003] 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 объема 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 веке все попытки решить проблему прогноза землетрясений методом обратной задачи окончились полным провалом, что у многих подорвало веру в возможность решения этой животрепещущей проблемы. В статье [Певнев, 2011] показано, что использованные для решения проблемы прогноза обратные задачи являются некорректно поставленными.

Так как линейный размер очага сильного землетрясения (его ширина) измеряется десятками километров, то отслеживать во времени процесс уменьшения его объема можно лишь геодезическим методом. Для этого можно использовать предложенные ранее специальные геодезические построения – прогнозные профили [Певнев, 1988].

Об увеличении объема 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 искать, в первую очередь, в прочностных неоднородностях горных пород во всем объеме 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» [Развитие идей..., 1982, 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 [Гамбурцев, Певнев, 1996].

Для осуществления краткосрочного прогноза крайне перспективными могут оказаться наблюдения за различными аномалиями в ионосфере, которые возникают за...сутки, несколько суток перед землетрясением» [Гохберг, 1999, 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

[Scholz et al., 1973]. Если реальное увеличение объема 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.

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 объема) возможно лишь при чистом сдвиге. Если же в очаге имеют место и другие поля напряжений (сжатие, растяжение), то в этом случае наряду с вариациями ширины очага будут и вариации объема очага. Очевидно, что это происходит и в реальных условиях. Однако определяющим при этом является поле сдвиговых напряжений.

Определение момента перехода от уменьшения объема готовящегося очага землетрясения (фаза накопления упругих сейсмогенных напряжений) к его увеличению (фаза разрушения очага) – крайне важно в решении проблемы прогноза 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 глубокофокусных землетрясений.

Геодезические прогнозные системы, рассчитанные на точный прогноз места готовящегося очага землетрясения и максимальной силы, которую он может породить, описаны в [Певнев, 2003]. Следует отметить, что такая прогнозная система уже создана в Мексике вблизи города Мехикали на разломе Империял (южное продолжение разлома Сан-Андреас).

Литература

1. Гамбурцев А. Г., Певнев А. К. О перспективах геодезического и сейсмического мониторинга при прогнозе землетрясений // Геофизика. – 1996. – № 4. – С. 35-41.
2. Гохберг М. Б. Взаимодействие литосферы и ионосферы Земли // Изв. РАЕН. Секция наук о Земле. – 1999. – Вып. 2. – С. 136-140.
3. Заалишвили В. Б., Певнев А. К., Рогожин Е. А. О геодезическом мониторинге для прогноза землетрясений на Северном Кавказе (на примере владикавказского прогнозного полигона) // Геология и геофизика Юга России № 22011. С. 33-40.
4. Китайгородский А. И. Введение в физику. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1974.

5. Певнев А.К. Геодезический мониторинг для прогноза землетрясений// Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2011, № 11, с.65-72.
6. Певнев А.К. Прогноз землетрясений – геодезические аспекты проблемы // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. – 1988. – № 12. – С. 88-98.
7. Певнев А.К. Пути к практическому прогнозу землетрясений. – М.: ГЕОС, 2003. – 152 с.
8. Развитие идей Г.А. Гамбурцева в геофизике. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
9. Шемпелев А.Г. Разломно-блоковая тектоника Северного Кавказа по геофизическим данным // Геол. журн. 1982, т.42, №4. С.97-108.
10. Scholz C.H., Saykes I.R., Aggarwall Y.P. et al. Earthquake prediction: A physical basis // Science. – 1973. – Vol. 181. – P. 803-810.

DOI: 10.23671/VNC.2014.4.55517

ON THE GEODETIC STUDIES MODERNIZATION ON THE VLADIKAVKAZ GEODYNAMIC FORECAST POLYGON

© 2014 A.K. Pevnev¹, Sc. Doctor (Tech.), V.B. Zaalishvili², Sc. Doctor (Phys.-Math.), Prof., D.A. Melkov², Sc. Candidate (Tech.)

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Bolshaya Gruzinskaya str., 10-1, Moscow 123995, Russia, e-mail: an.pevnev@yandex.ru; ²Center of geophysical investigations of VSC of RAS and RNO-A, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov street, 93a, e-mail: cgi_ras@mail.ru

For the purpose of the geodetic forecast system creation acceleration on the Vladikavkaz geodynamic forecast polygon it is proposed for detecting the centers of the prepared earthquakes to use a method of the tracking of variations in sizes and volume of this center (volumetric procedure).

The keywords: elasticity, seismogenic deformation, dilatancy, the forecast of earthquakes.