

УДК 550.34.01

DOI: 10.23671/VNC.2016.1.20718

О РЕАЛЬНОМ ПУТИ К ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2016 А.К. Певнев, д.т.н.

Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, Россия,
123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10, e-mail: an.pevnev@yandex.ru.

Прогноз землетрясений является одной из актуальнейших проблем человечества, которая со временем возрастает. В XX веке были предприняты попытки решить проблему без использования каких-либо моделей подготовки и реализации очагов землетрясений а элементарно – методами обратных задач (распознавание образа) с помощью измерения и анализа разнородных аномалий в различных геофизических и других полях. Однако эти попытки успехом не увенчались из-за того, что эти задачи оказались некорректными. В силу этого возникла необходимость поиска новых путей решения этой проблемы. Наиболее реальный путь решения проблемы был предложен создателем первой научно обоснованной программы прогноза землетрясений академиком АН СССР Григорием Александровичем Гамбурцевым, реализовать который ему не позволила преждевременная трагическая кончина. Опираясь на указанные соображения Г.А. Гамбурцева, была разработана деформационная модель подготовки очага корового землетрясения, из которой следует, что осуществление точных прогнозов места и максимальной силы очага готовящегося землетрясения вполне реально. Реализация этих прогнозов возможна с помощью геодезических прогнозных систем, которые позволяют определять смещения и деформации блоков земной коры на базах в десятки и более километров.

К сожалению, и в настоящее время бытует мнение о геодезии лишь как о ремесле. Это, конечно же, заблуждение: грамотно поставленные геодезические исследования изучают современную тектонику. Достаточно вспомнить тектонику литосферных плит: современные скорости и направления их смещений получены именно методами динамической геодезии. Отмечено, что первая геодезическая прогнозная система была организована на сейсмогенном разломе Империял в Мексике. Рассмотрены разные аспекты создания Владикавказского геодинамического прогнозного полигона в Северной Осетии.

Ключевые слова: прогноз землетрясений, упругость, сейсмогенная деформация.

*Посвящается памяти академика
Григория Александровича Гамбурцева.*

Наука изучает только то, что можно измерить, это совершенно правильно; следует, однако, выделить то, что заслуживает быть измеренным.

Ремю Шовен.

Введение

Прогноз землетрясений является древнейшей и пока все еще не осуществленной мечтой человечества. Решительные шаги для решения этой проблемы были предприняты международным сообществом ученых лишь в 20-м веке. Наиболее масштабные и длительные исследования проводились в СССР, США и Японии. Но, к сожалению, эти исследования проблемы не решили.

Если говорить о причинах этой неудачи, то основной и определяющей из них, очевидно, является ошибочно выбранная стратегия решения проблемы прогноза

места, готовящегося очага землетрясения. Она зиждется на идеях обнаружения места очага не с помощью методов поиска прямых достоверных признаков его существования, а на решении проблемы методами обратных задач (распознавание образа) по разрозненным косвенным признакам – аномалиям в различных полях: сейсмических, деформационных, гидрогеологических, геохимических, электромагнитных и многих др.

Однако для такого решения задачи необходимо не только измерить порождаемые готовящимся очагом аномалии, но и, самое главное, однозначно их опознать. И вот почему.

Как известно обратные задачи подразделяются на два класса – корректные (корректно поставленные) и некорректные (некорректно поставленные). Одним из непеременимых условий для корректного решения подобной задачи является гарантированное выделение из всех фиксируемых аномалий лишь тех, которые порождены одним и тем же искомым объектом (условие существования решения), в нашем случае очагом готовящегося землетрясения. Только в этом случае обратная задача имеет положительное решение при любых допустимых исходных данных.

Так как использование различных разрозненных аномалий для «распознавания искомого образа» положительных результатов не дало, то из этого следует однозначный вывод – эти обратные задачи являются некорректно поставленными. Если предположить, что готовящийся очаг землетрясения действительно порождает рассматриваемые разрозненные аномалии и они действительно бывают измеренными, то возможная причина некорректности кроется в системе выбора этих необходимых данных – для этого нет надежных фильтров, с помощью которых можно было бы избавляться от фоновых помех, как региональных, так и глобальных, т.е. из «шума» выделять только лишь полезный сигнал.

Следует отметить, что с конца 20-го века критические оценки «стратегии аномалий» начинают звучать все отчетливее. Так известный российский сейсмолог О.К. Кондратьев, при рассмотрении вопроса о стратегии решения проблемы прогноза землетрясений, принятой после смерти в 1955 г. директора Геофизического института (ГЕОФИАН) академика Г.А. Гамбурцева, написал следующее: «... начатые работы по прямому изучению разломов земной коры (по терминологии Г.А. Гамбурцева – сейсмических швов) были свернуты. В 1971 г. в Институте физики Земли (бывший ГЕОФИАН) утверждается «Программа 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].

И еще одно соображение российских сейсмологов о сомнительности использования «аномалий» для обнаружения очагов готовящихся очагов землетрясений:

«Считается, что характеристики среды должны изменяться на различных стадиях «подготовки» сильного землетрясения, что в свою очередь может найти от-

ражение в изменениях наблюдаемых геофизических величин. Попытки отождествления этих вариаций с «аномалиями», предваряющими 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» [Мушкетов, 1899, с.7].

Итак, время показало, что господствующая в сейсмологии парадигма решения проблемы прогноза землетрясений оказалась несостоятельной и, следовательно, на повестку дня встал вопрос о поисках новых подходов её решения.

Такие исследования целесообразно было начать с тщательного изучения идей Григория Александровича Гамбурцева – творца первой в СССР научно обоснованной программы решения проблемы прогноза землетрясений. В этой программе наряду с рассмотренной методикой «аномалий» предложен и более фундаментальный путь решения проблемы прогноза землетрясений, основанный на изучении прямых предвестников подготовки очага землетрясения – смещений и деформаций земной коры в сейсмогенных зонах.

Рассмотрим эти соображения Г.А.

К истории вопроса

На территории СССР первое катастрофическое землетрясение произошло в 1948 г. Это было Ашхабадское землетрясение полностью разрушившее город и лишившее жизни более 100 тысяч человек. И именно оно сделало проблему прогноза этих грозных природных явлений одной из актуальнейших в нашей стране. К тому же судьбе было угодно для решения этой поставленной самой жизнью проблемы выбрать достойнейшего человека. Таким человеком оказался директор Геофизического института АН СССР академик Григорий Александрович Гамбурцев. Но, к сожалению, на занятие этой проблемой ему Проведением было отпущено всего лишь около пяти лет. Однако и за столь короткий срок, начав практически с нуля (до 1949 года работы в этом направлении в нашей стране почти не велись) Григорий Александрович по существу совершил в проблеме настоящую революцию. Ему удалось создать столь всеобъемлющую, глубоко продуманную и научно обоснованную программу исследований по проблеме прогноза землетрясений, что и по сей день она не только не утратила своего значения как руководства к осуществлению практически значимого прогноза землетрясений, а даже наоборот, прошедшие десятилетия лишь открывают новые для многих из нас блестящие грани творения академика Гамбурцева.

Без сомнения, Григорий Александрович обладал недюжинными способностями выдающегося ученого. Изучая его немногочисленные и немногословные работы по проблеме прогноза землетрясений нельзя не восхищаться его удивительной интуицией и даром научного предвидения. Около полувека тому назад он первым в мире предложил модель процессов зарождения и развития очагов сильных землетрясений, которая оказалась удивительно адекватной действительным природным процессам. Обратимся к первоисточнику:

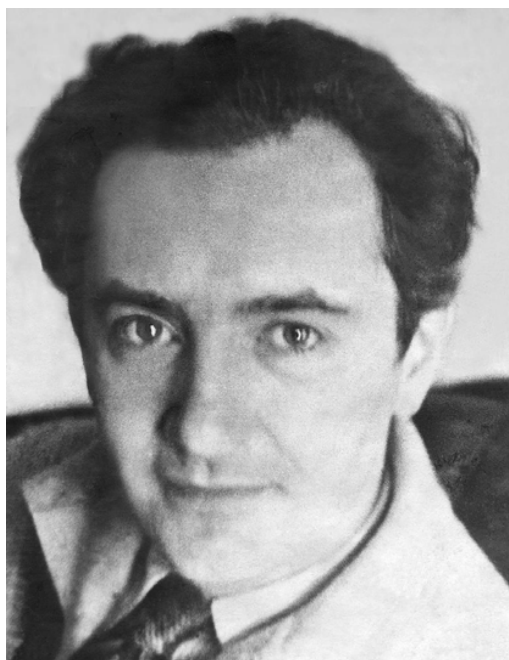


Рис. 1. Григорий Александрович Гамбургцев.

«Программа базируется на следующих представлениях о механизме возникновения землетрясений и о существовании закономерных пространственных и временных связей между слабыми сейсмическими толчками, медленными движениями земной коры и сильными землетрясениями.

В процессе своего развития земная кора расчленялась на относительно прочные блоки, разделенные ослабленными зонами – сейсмическими швами. Медленные относительные смещения этих блоков приводят к накоплению сдвиговых напряжений и их концентрации в определенных местах шва. Там, где напряжения превосходят предел прочности, возникают очаги землетрясений. Энергия самых сильных землетрясений в 10^{17} и более раз превосходит энергию слабых сейсмических толчков. Так как напряжения разрыва не могут меняться в очень широких пределах, то отсюда следует, что энергия землетрясения в основном определяется не напряжением, а размерами очага, т.е. размерами той области, внутри которой в результате землетрясения исчезают сдвиговые напряжения. Таким образом, крупные землетрясения имеют очаги большого объема, а слабые землетрясения – очаги малого объема» [Гамбургцев, 1960, с.437–438].

«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» [Развитие идей..., 1982, с. 306].

Из приведенных соображений Григория Александровича однозначно следует, что в процессах подготовки и реализации землетрясений пальму первенства он вслед за нашими выдающимися основоположниками сейсмологии и сейсмогеологии А.П. Орловым [1887], И.В. Мушкетовым [1899], Б.Б. Голицыным [1960] и известным американским ученым Рейдом [Reid, 1911] и др. отдавал глубинным

тектоническим процессам. Однако никто из предшественников Г.А. не предложил столь наглядного и достоверного механизма формирования очагов землетрясений. Первым это сделал Григорий Александрович, который ввел емкие понятия “сейсмического шва” и “спайки” и предсказал, что концентрация сдвиговых напряжений, порождаемая медленными смещениями блоков, происходит не на всем протяжении сейсмического шва (сейсмогенного разлома в современной терминологии), а лишь на тех его участках, на которых возникают “спайки” блоков земной коры.

Истинное восхищение вызывает удивительно простое и физически обоснованное решение Григорием Александровичем вопроса о функциональной связи энергии землетрясения не с напряжением, а с размерами его очага. Эти отмеченные соображения Г.А. являются основополагающими в вопросах точного прогноза места формирования очага будущего землетрясения и его максимально возможной силы.

В дополнении к вышеизложенному приведем крайне важные для рассматриваемой нами проблемы соображения Г.А.

«Частые слабые и редкие сильные землетрясения вместе с медленными движениями земной коры образуют единый глубинный процесс, изучение которого должно лечь в основу развития методов прогноза землетрясений» [Гамбурцев, 1960, с.437].

«Землетрясения происходят в результате быстрого разрешения напряжений, относительно медленно нарастающих в земной коре. Таким образом, первая часть задачи предвидения землетрясений состоит в обнаружении этих напряжений. Вторая часть её состоит в определении таких особенностей в процессе подготовки напряжений, которые непосредственно предшествуют их разрешению» [Научное наследие..., 2003, с. 228].

Анализ приведенных соображений Г.А. позволяет сделать следующие выводы.

1. Причина коровой сейсмичности (очаги землетрясений находятся в земной коре) обусловлена тектонической активностью Земли, а именно смещениями блоков земной коры по разделяющим их сейсмогенным разломам, т.е. подготовка и разрушение очагов коровых землетрясений являются процессами механическими.

2. Обоснован механизм накопления упругих напряжений в очагах готовящихся землетрясений – возникновение «гамбурцевской спайки» (концентратора напряжений), препятствующей в месте ее возникновения взаимному смещению бортов сейсмогенного разлома и тем самым порождающей в этом месте разлома локальное поле упругих напряжений, которое и провоцирует начало процесса подготовки очага землетрясения.

3. Намечен путь к осуществлению прогноза места готовящегося землетрясения: «первая часть задачи предвидения землетрясений состоит в обнаружении этих напряжений» [Научное наследие..., 2003, с. 228].

4. Намечен путь к осуществлению прогноза силы готовящегося землетрясения – «Таким образом, крупные землетрясения имеют очаги большого объема, а слабые землетрясения – очаги малого объема» [Гамбурцев, 1960, с.437–438].

5. Намечен путь к осуществлению прогноза времени готовящегося землетрясения – «Вторая часть её состоит в определении таких особенностей в процессе подготовки напряжений, которые непосредственно предшествуют их разрешению» [Научное наследие..., 2003, с. 228].

Таким образом, прямой путь к прогнозу землетрясений Г.А. видел в исследова-

ниях, позволяющих изучать закономерности взаимных смещений блоков земной коры по разделяющим их разломам, а также деформации этих блоков.

Определяя опытным путем величины смещений блоков по разломам, а также и возникающие при этом упругие деформации в этих блоках можно определить вид деформационного признака подготовки очага землетрясения, а также длину участка сейсмогенного разлома, на котором этот признак имеет место. Именно так можно осуществить два прогноза – прогноз места и силы готовящегося очага землетрясения.

Осуществление прогноза времени совершенно обоснованно Г.А. видел в исследовании особенностей «в процессе нарастания напряжений, которые непосредственно предшествуют их разрешению», т.е. в аномалиях нарастания напряжений, которые должны наблюдаться при переходе от стадии созидания очага к стадии его разрушения.

Так как размеры очагов сильных землетрясений измеряются десятками и более километров, то для осуществления прогнозов места и силы пригоден лишь геодезический метод, который позволяет изучать смещения и деформации земной коры на больших базах.

Вполне естественно, что для осуществления необходимых геодезических исследований Г.А. привлек Центральный Научно Исследовательский Институт Геодезии, Аэросъемки и Картографии (ЦНИИГАиК). Таким образом, благодаря Г.А. геодезия как наука впервые официально была привлечена к решению проблемы прогноза землетрясений [Вопросы советской науки..., 1954]. К сожалению, приходится констатировать, что ЦНИИГАиК с этой задачей не справился. Без сомнения, одной из главных причин этого явилась преждевременная трагическая смерть Г.А. – проблема оказалась без лидера, который мог бы направить геодезические исследования в нужное русло, а достойной замены ему ни среди геофизиков, ни среди геодезистов не нашлось. Есть все основания считать, что из-за этого путь определения реальных и значительных возможностей геодезии в проблеме прогноза землетрясений оказался очень долгим.

Говоря об отсутствии возможного геодезического лидера в решении рассматриваемой проблемы, хочется вспомнить следующие.

Выдающийся советский геодезист Феодосий Николаевич Красовский высказал следующие провидческие соображения:

«Существует взгляд, что дело геодезистов собирать материалы, которые используют другие ученые, то есть в самой геодезии нет научных проблем. Думается, что когда ежегодно в течение десятков лет сотни ученых геодезистов собирают точнейшие материалы на огромной территории, то уже сама программа собирания этого материала требует весьма тщательной научной разработки...

Почти всегда в научной геодезии имеют дело с установлением очень малых величин, которые, однако, свидетельствуют о мощных грандиозных процессах в жизни Земли. Конечно, дело заключается не в том, чтобы отвести геодезистов от интерпретации колебаний земных полюсов, уклонений отвесных линий, аномалий силы тяжести, колебаний уровней морей и т.п., а дело именно заключается в том, чтобы вовлечь геодезистов в научную работу по интерпретации и выяснению физического знания этих явлений в мощном научном центре.

Нам, расходуя ежегодно огромные средства на картографию и геодезию, необходимо усвоить взгляд, что научная картография и геодезия есть часть, и со-

всем немаловажная, науки о Земле, от развития которой зависит и развитие других частей этой важнейшей науки» [Мазмишвили и др., 1938].

Этот призыв поиска действительно места геодезическим исследованиям в науках о Земле прозвучал как набат на фоне успокоительных и расхолаживающих представлений о геодезии лишь как о ремесле. К сожалению, эти представления и сейчас еще живучи.

Однако судьба не позволила Феодосию Николаевичу быть причастным к решению проблемы прогноза землетрясений; он умер в 1948 г., т.е. незадолго до того как Григорием Александровичем было угадано место геодезических исследований в этой проблеме.

Очень и очень жаль, что этим двум выдающимся ученым не пришлось вместе решать проблему прогноза землетрясений. Из-за этого геодезические исследования того времени (после смерти Г.А.) по существу соответствовали пресловутым «поисками пятака под фонарем», так как в подражание другим методам геодезисты считали своей главной задачей лишь поиски различных разрозненных аномалий в смещениях и деформациях земной поверхности, которые тем или иным образом пытались связывать с прогнозом. Десятилетия исследований показали ошибочность этого пути.

Рассуждения на тему тернистости пути познания невольно рождают мысли о том, что Природа не всегда охотно раскрывает свои тайны, но и даже может ставить преграды на пути их решения. В нашем случае это безвременная смерть двух выдающихся ученых, которые могли бы приблизить решение проблемы прогноза землетрясений.

Это небольшое лирическое отступление о роли лидера в науке хочется закончить поэтическими строками русского философа В. Соловьева:

Природа с красоты своей
Покровы снять не позволяет.
И ты машинами не выудишь у ней
Чего твой дух не угадает.

Следует заметить, что начало геодезическим исследованиям было положено на Гармском геодинатическом полигоне. Вот как это описано Г.А. «С 1944 г. в районе Гарм-Сталинобад Гармской экспедицией Геофизического института АН СССР начаты нивелировки высшего класса; установлены репера, высоты которых будут периодически определяться. Результаты работ в этом направлении еще не получены» [Научное наследие..., 2003, с. 228].

Здесь уместно еще раз отметить прозорливость Г.А. – вопреки бытовавшим представлениям о возможности быстрого решения проблемы прогноза землетрясений он понимал, что решение этой сложной многогранной проблемы не может быть скорым. Очень ярко об этом поведала его жена Люся Самуиловна Вейцман:

«Нельзя сказать, что Г.А. не был мечтателем. Он удивительно сочетал в себе ясную необходимость работать на сегодняшний день и в то же время отдавал много сил мечтам, говоря, что всё большое в науке рождается из мечты и труда... Он иногда в своих мечтах намного опережал своё время, и только теперь можно с удивлением видеть, как далеко в завтра заходили его мечты.

Однажды в Щели Дальней (геофизическая обсерватория вблизи Алма-Аты в

подножии хребта Заилийский Алатау. А.П.) к Г.А. пришёл один из сотрудников. Он установил свою аппаратуру для проведения стационарных наблюдений и должен был уехать в Москву. Он был очень озадачен и встревожен: “Что же мы вкалывали, вкалывали, а плоды пожинать будут другие?” Г.А. улыбнулся и сказал: “Если хотите пожинать плоды, не включайтесь в работу по прогнозу землетрясений. Если наши дети или внуки пожнут плоды – это будет просто великолепно» [Григорий Александрович..., 1998, с.143-144].

О небыстром и сложном решении проблемы прогноза землетрясений говорят и следующие провидческие соображения Г.А.

«Превалирование сейсмостатистики при современном состоянии сейсмологии и сейсмогеологии является вынужденным. В дальнейшем, по мере накопления наших знаний о природе землетрясений и об их возникновении, роль сейсмостатистики должна уменьшаться и соответственно главное значение должны получить твердо обоснованные физические и геологические критерии сейсмичности. В этом основная задача развития методов сейсмического районирования (Г.А. прогнозы места и силы землетрясения отнес к сейсмическому районированию)» [Гамбурцев, 1960, с.431].

Даже трудно представить себе сколь архисовременны эти соображения, высказанные много десятков лет назад.

Когда читаешь у наших классиков такие намного опережающие время мысли, то испытываешь чувство безмерной радости и гордости, так как воочию убеждаешься в том “что может собственных Платонов и быстрых разумом Невтонов Российская земля рождать”.

И еще раз приходится посетовать на то, что судьба не отпустила Григорию Александровичу времени на реализацию этих идей, а у принявших от него эстафету, эти идеи, к сожалению, не стали определяющими. Здесь крайне уместно процитировать сына Г.А. – А.Г.Гамбурцева – “С тех пор начались работы по прогнозу, о которых много написано в трудах отца и к которым, к сожалению, мало сейчас обращаются” [Григорий Александрович..., 1998, с.151].

В подтверждение слов А.Г. Гамбурцева приведем соображения 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” [Друмя, Шебалин, 1985, с.132-133].

Таким образом, даже во второй половине прошлого века некоторые сейсмологи были уверены в отсутствии возможных 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 [Болт, 1981; Лукк и др., 1996].

Итак, в решении проблемы прогноза землетрясений настало время вернуться на путь, намеченный Григорием Александровичем Гамбурцевым. С этой целью была разработана деформационная модель подготовки очага корового землетрясения, ко-

торая полностью подтвердила правильность Гамбургцевского пути к прогнозу коровых землетрясений.

Ниже описаны основные положения этой модели и подтверждающие их выводы.

1. О причине зарождения и подготовки очагов коровых землетрясений

Рассматривая проблему прогноза землетрясений следует иметь в виду, что Земля подвержена двум видам сейсмичности: коровой и глубокофокусной. Коровые землетрясения происходят в земной коре, а глубокофокусные в расположенной под земной корой мантии Земли. Основная масса мантийных землетрясений происходит на глубинах 100–300 км, однако отмечены землетрясения и на глубине 700 км. В предлагаемой статье речь идет о прогнозе коровых землетрясений. Вопрос о интервале глубин расположения коровой сейсмичности в земной коре (ее сейсмогенном слое) рассмотрен следующем параграфе.

Опираясь на вышеизложенные соображения Г.А., есть основания считать, что коровая сейсмичность является следствием тектонической активности Земли, порождаемой глубинным эндогенными процессами, которые на земной поверхности проявляются в ее непрерывном движении. Энергией этих процессов создаются горы и впадины, движутся континенты и огромные участки океанического ложа. Они разбили земную кору (литосферу) на множество блоков и заставляют смещаться эти блоки относительно друг друга по разделяющим их глубинным разломам. Скорости относительных смещений систем блоков по указанным разломам существенно различаются для различных тектонических структур Земли. Наибольшую скорость смещения имеют блоки в тектонически активных горных структурах Земли – в орогенах. Здесь скорости измеряются сантиметрами в год. Так на разломе Сан-Андреас в Калифорнии (рис. 2) эта скорость составляет 5 см/год, а в зоне сочленения Памира и Тянь-Шаня (Вахшский надвиг) – 2,5 см/год. С максимальной, измеренной геодезическими методами, скоростью – 10 см/год смещается ложе Тихого океана.

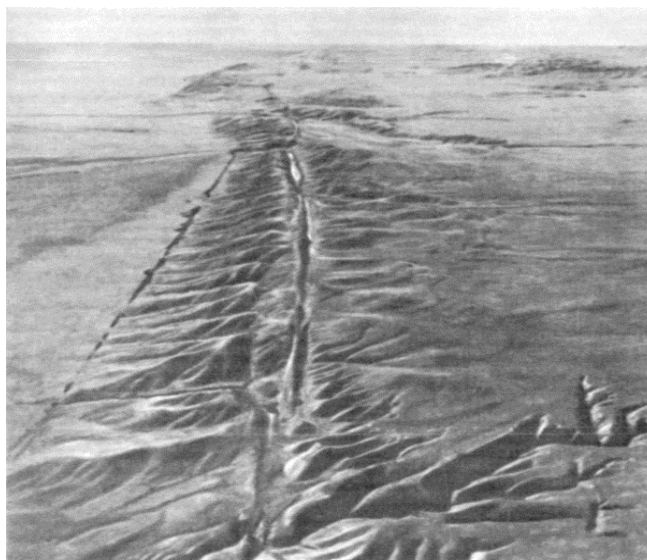


Рис. 2. Разлом Сан-Андреас, как гигантский шрам, пересекает равнину Карризо в Калифорнии, по [Ботт, 1974].

С существенно меньшими скоростями смещаются блоки земной коры в **тектонически менее активных структурах Земли**. К таким структурам относятся обширные равнинные участки земной коры – платформы. Скорости смещений блоков на платформах примерно на порядок меньше чем в орогенах и измеряются миллиметрами и даже десятками долями мм/год.

Структуры, отличающиеся большими скоростями смещений в разломах, являются и наиболее сейсмоопасными, в то время как тектонически малоактивные структуры являются менее сейсмоопасными. Это позволяет сделать обоснованный вывод о существовании прямой корреляционной зависимости между сейсмической активностью тектонических структур и скоростями смещений блоков земной коры в этих структурах и, следовательно, причину сейсмичности следует искать в особенностях поведения этих скоростей. Вид возможных вариаций скоростей, при которых в том или ином участке разлома возможно зарождение очага землетрясения определить достаточно просто: если поверхности разделенных разломом блоков не препятствуют их перемещению, т.е. блоки как бы «скользят» относительно друг друга, то эта ситуация исключает возможность зарождения очага сильного корового землетрясения на этом участке разлома. Если же возникает ситуация, мешающая на каком-либо участке сейсмогенного разлома свободному перемещению блоков, т.е. если на этом участке разлома появится так называемый концентратор напряжений, то лишь в этом случае возникают условия для накопления в этом участке упругих напряжений – зарождение очага землетрясения.

Таким образом, рассматривая возможные причины зарождения очага землетрясения, т.е. старта процесса накопления сейсмогенных деформаций в этом очаге, можно прийти к выводу, что начало этих процессов обусловлено уменьшением (вплоть до полного прекращения) тектонических движений в том или ином конкретном участке сейсмогенного разлома.

Среди причин, порождающих концентраторы напряжений в разломе можно назвать следующие: вариации локальных и региональных полей напряжений, изменяющие величину коэффициента трения в разломе; влияние температуры и давления; вариации флюидных процессов; механические «зацепы» блоков из-за неровностей их соприкасающихся поверхностей и др.

Теоретические соображения о реальности возникновения участков задержек смещений в сейсмогенных разломах сводятся к следующему. Тектоническое коровое землетрясение – это порождающее сдвиговые волны быстрое (сейсмическое) разрушение некоторого объема горных пород (очага землетрясения), вызванное накопленными в этом очаге упругими сдвиговыми деформациями (напряжениями). А это означает, что непременным условием подготовки очага землетрясения является наличие в зоне разлома механически прочной, консолидированной среды (жесткого включения), обладающей упругими свойствами, благодаря чему способной накапливать потенциальную упругую энергию.

Таким образом, очаг в стадии накопления потенциальной упругой энергии (в фазе созидания) должен представлять собой стабильное, пластически мало деформируемое включение в сейсмогенном слое земной коры.

Таким видится путь зарождения и формирования очага корового землетрясения.

Как отмечено ранее, Г.А. Гамбурцев, рассматриваемые консолидированные участки в сейсмогенных разломах очень метко назвал «спайками».

Следует отметить, что реальность существования «гипотетических спаек Гамбурцева» подтверждается самим фактом существования коровой сейсмичности. Возникновение сильных землетрясений в верхнем слое земной коры говорит о том, что в сейсмогенных разломах этого слоя, в тех или иных их участках, по тем или иным причинам возникают условия для накопления в том или ином объеме горных пород предельных упругих сейсмогенных деформаций.

Таким образом, можно считать, что главным условием зарождения очага корового землетрясения является возникновение концентратора напряжений, препятствующего тектоническим смещениям в месте его образования и приводящее к формированию в той или иной зоне разлома механически прочного, консолидированного объема горных пород (спайки).

Эта спайка, означающая остановку смещений блоков в том или ином участке разлома при непрекращающемся движении двух протяженных, взаимно смещающихся систем блоков и породит на этом участке поле упругих напряжений, т.е. этот участок явится зародышем очага землетрясения. Теоретическое объяснение возникновения такого поля упругих напряжений сводится к следующему: импульс силы, возникающий из-за образования концентратора напряжений в той или иной части системы, является ничтожно малым в сравнении с количеством движения всей системы и поэтому он не повлияет на скорость смещения всей системы.

Таким видится путь зарождения и формирования очага корового землетрясения.

Таким образом, очаг в начальной фазе должен представлять тело, преобладающими деформациями которого являются упругие деформации – **это условие является необходимым и достаточным для зарождения и формирования очага сильного землетрясения.**

Следует еще раз сослаться на то, что сам факт существования коровой сейсмичности является бесспорным подтверждением тому, что указанный процесс «закачки» упругой энергии в некоторый объем горных пород вокруг остановившегося участка разлома: в очаг землетрясения, имеет место в действительности.

Итак, мы имеем полное право заключить, что причиной коровой сейсмичности, порождаемой взаимными тектоническими смещениями блоков земной коры, является полная (или частичная) задержка этих смещений блоков в том или ином участке сейсмогенного разлома. Возможен и другой механизм возникновения коровых землетрясений. Это так называемые обвальные землетрясения, которые могут иметь место в зонах растяжения, в зонах раздвига земной коры, например, в Байкальской рифтовой зоне. Однако сведений о сильных коровых землетрясениях пока нет.

Следует заметить, что выделяемая при землетрясениях сейсмическая энергия является очень незначительной долей тектонической энергии, затрачиваемой на тектонические смещения систем блоков по разделяющим их разломам. По оценкам ученика Г.А. члена-корреспондента АН СССР Ю.В. Ризниченко [Ризниченко, 1985] для района Кавказа эта доля не превышает 1%. Даже трудно себе представить, что творилось бы на Земле, если бы эта доля была бы равна, например, 40–60%. Можно считать, что система тектонических смещений блоков земной коры к счастью для нас работает с очень небольшим «браком», который, тем не менее, для Земли весьма ощутим.

2. Сейсмогенный слой земной коры.

В свете рассматриваемой проблемы крайне важно знать сейсмична ли вся толща земной коры или нет, так как чем на меньшей глубине в земной коре расположен очаг готовящегося землетрясения, тем больше вероятность его обнаружения.

В сейсмологии традиционно считают, что коровые землетрясения происходят на глубинах до 70 км. Однако это не соответствует действительности. Как теперь установлено упругим, способным накапливать значительные упругие деформации и хрупко разрушаться при достижении накопленными упругими напряжениями предела прочности пород, т.е. сейсмогенным, является верхний слой земной коры мощностью 10–25 км [Каталог..., 1977; Певнев, 2003; Рогожин, 2013]. Причина этого явления кроется в реологической неоднородности горных пород земной коры по вертикали.

В свете решаемой нами проблемы земную кору в первом приближении можно разделить на два слоя – упругий и пластичный [Ботт, 1974; Жарков, 1983; Шерман, 1977; Николаевский, 1982, Тёркот, Шуберт, 1985; Павленкова, 1988 и др]. Таким образом, упругим или сейсмогенным является верхний холодный слой земной коры. Горные породы, слагающие более низкие горизонты литосферы более разогреты, менее прочны (пластичны и вязкопластичны) и поэтому в них не могут формироваться очаги сильных землетрясений. В качестве обоснования этого утверждения приведем имеющиеся теоретические соображения и экспериментальные данные.

Вот что о состоянии пород в верхней части земной коры можно прочесть в книге английского геофизика М. Ботта:

“Результаты экспериментальных исследований показали, что механические свойства пород на глубине 10-25 км претерпевают два существенных изменения. Во-первых, совершается переход от хрупкого состояния к пластическому; Григгс, Тернер и Хирд ... не наблюдали внезапного появления трещин в любых породах, кроме кварцита, при давлениях выше 5 кбар и температуре выше 500°C, что соответствует условиям на глубине примерно 20 км. Во-вторых, следует ожидать, что предел прочности на сжатие уменьшается с глубиной под преобладающим воздействием температуры; например, предел прочности дунита, пироксенита и гранита при всестороннем сжатии 5 кбар уменьшается от 20 кбар при 25°C до 10 кбар при 500°C и до 7 кбар при 800°C”. [Ботт, 1974, с. 280]. И далее:

“Есть основания полагать, что нижняя часть коры – при условии достаточно высокой температуры и больших разностей напряжений – может испытывать заметные деформации в виде неустановившейся и установившейся ползучести ” [Ботт, 1974, с. 281].

Разделение в вертикальном разрезе вещества литосферы на слои с различными упругими характеристиками подтверждается так же распределением в ней механической добротности (Q_{μ}). Обратимся к работе В.Н. Жаркова:

«Величину Q_{μ} можно также рассматривать как «меру идеальности» упругости среды. Чем больше значение Q_{μ} , тем меньшая часть механической энергии при колебаниях рассеивается и переходит в тепло, тем ближе среда к идеально упругой» [Жарков, 1983, с.90]. И далее:

«Наружный жёсткий слой Земли (её литосфера) разделяется на три зоны: повышенной добротности (0–19 км), $Q_{\mu} \sim 600$; средней добротности (19–38 км) $Q_{\mu} \sim 300$, и пониженной добротности (38–90 км), $Q_{\mu} \sim 150$ ». [Жарков, 1983, с. 92] (рис. 3).

Обращает на себя внимание хорошее совпадение между обоснованной Боттом границей перехода пород коры в пластическое состояние на глубине около 20 км и мощностью слоя земной коры с наиболее высокой добротностью: 0–19 км. Следует отметить, что это максимальная добротность не только в литосфере, но и мантии Земли (рис. 3).

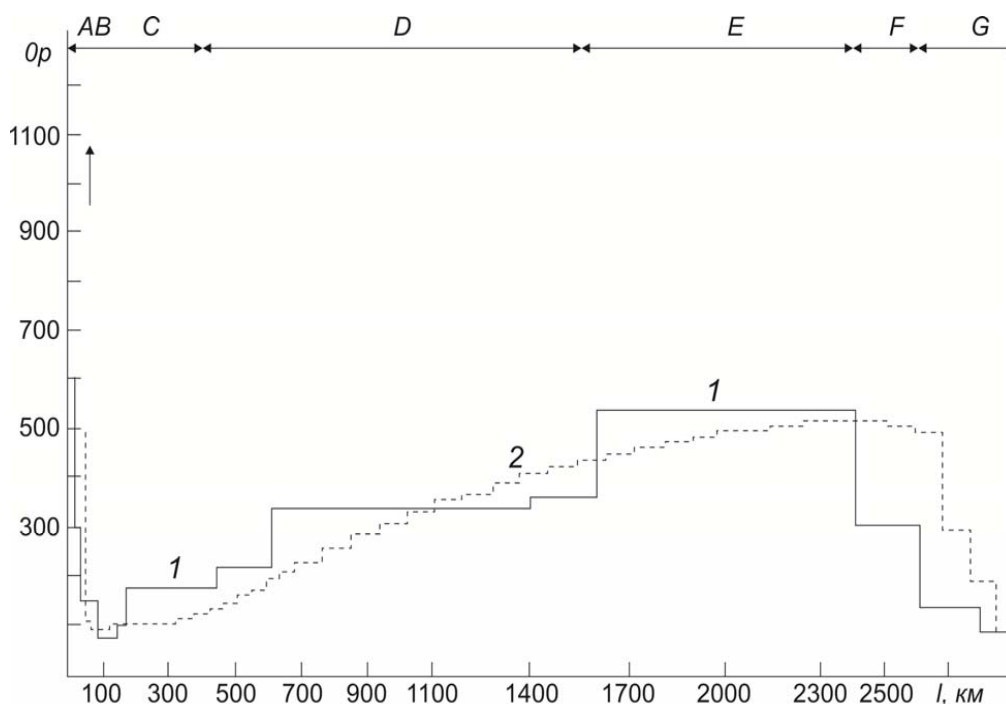


Рис. 3. Распределение механической добротности $Q_{\mu}(l)$ в коре и мантии Земли.

A (0-38 км) – 1-я зона высоких Q_{μ} (упругая литосфера); B (38-90 км) – неупругая литосфера; C (90-450 км) – 1-я зона низких Q_{μ} ; D (450-1600 км) – 1-я зона промежуточных Q_{μ} ; E (1600-2400 км) – 2-я зона высоких Q_{μ} ; F (2400-2600 км) – 2-я зона промежуточных Q_{μ} ; G (2600-2885 км) – 2-я зона низких Q_{μ} . 1 – модифицированное распределение Q_{μ} , полученное В.М. Дорофеевым и В.Н. Жарковым (1978 г.); 2 – модель SL8 (Андерсон, Харт, 1978 г.), по: [Жарков, 1983]

В свете рассматриваемой проблемы также крайне интересна представленная на рис. 4 схема строения разлома, предложенная Д.И. Шерманом.

По расчётам Д.И. Шермана породы земной коры в разломе сохраняют упругие свойства (в той или иной мере) лишь на трёх первых, показанных на **рис. 4** горизонтах (I, II и III). Суммарная мощность этих горизонтов ориентировочно составляет 25 км. В пределах этих 25 км с увеличением глубины имеет место переход от хрупкого разрушения (твёрдое тело Гука) – примерный интервал глубин 0–5 км – к квазихрупкому разрушению (вязкоупругое тело Бюргерса) ориентировочно на глубинах 5–10 км и наконец к квазипластическому течению (упруговязкое тело Максвелла) на глубинах около 10–25 км. На больших глубинах (горизонты IV и V) имеют место только пластические деформации: пластическое течение (пластическое тело Сен-Венана) в горизонте IV переходит в вязкое течение (вязкопластическое тело Бингама) в V горизонте.

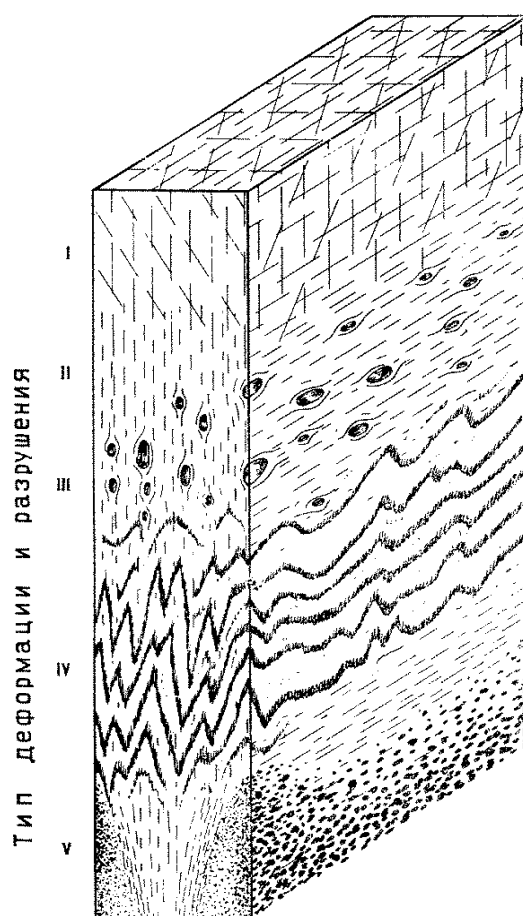


Рис. 4. Схема строения генерального разлома по вертикальному разрезу

(I – хрупкое разрушение,
 II – квазихрупкое разрушение,
 III – квазипластическое течение,
 IV – пластическое течение,
 V – вязкое течение), по: [Шерман, 1977]

Разделение земной коры по реологическим параметрам на два слоя, достоверность местонахождения наиболее упругого слоя в самой верхней ее части и реальность указанной выше мощности этого слоя подтверждаются и ярко иллюстрируются натурными наблюдениями – данными о распределении глубин афтершоков сильных коровых землетрясений. Афтершоки – это более слабые землетрясения, возникающие в очаговой зоне сильного землетрясения. По существу афтершоки «доделывают» то, что не сделал основной сейсмический удар – снимают упругие напряжения, оставшиеся в очаге после сильного землетрясения. Следовательно, афтершоки могут происходить лишь в среде, способной накапливать упругие сейсмогенные деформации (напряжения), и поэтому, изучив распределение афтершоков по глубине, можно определить мощность сейсмогенного слоя в исследуемом районе. Типичным примером таких данных является Рачинское землетрясение 1991 г. (рис. 5).

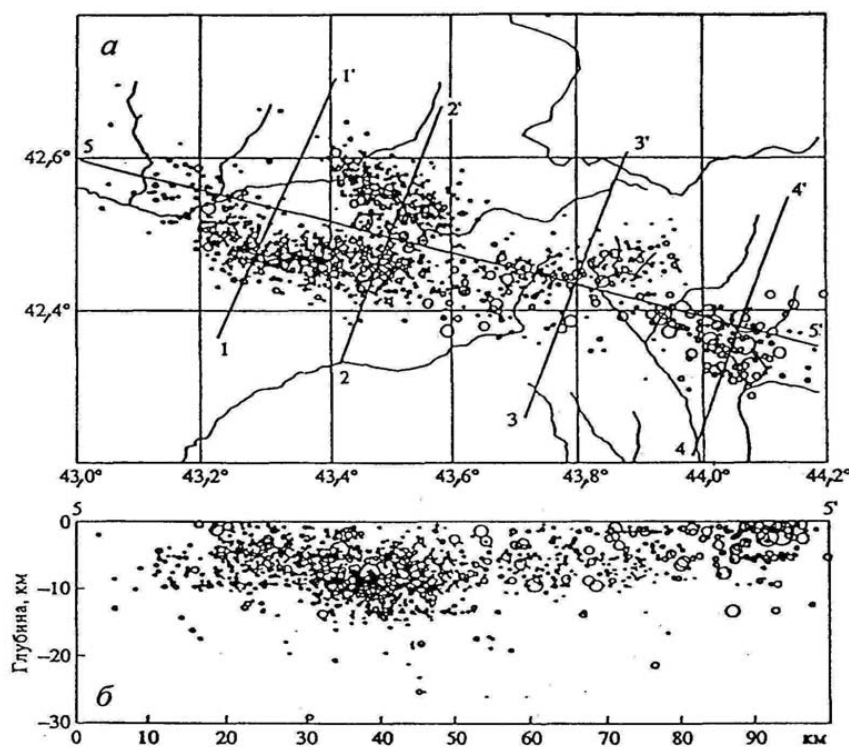


Рис. 5. Карта эпицентров Рачинского землетрясения (а) и вертикальный разрез по линии 5-5 (б) по: [Арефьев и др., 1993]. На секущую плоскость спроецированы все сейсмические события за афтершоковый период. Глубина основного толчка 10 км, длина очага около 100 км, магнитуда 7,3.

Из рисунка однозначно следует, что после землетрясения упругие напряжения снимались в самой верхней части земной коры: 0–25 км. Однако наиболее однородное поле афтершоков занимает интервал глубин всего лишь от нуля до 10 км. После этой границы, с увеличением глубины, число афтершоков резко сокращается и на максимальной глубине (25 км) зафиксированы лишь единичные афтершоки. Такое распределение афтершоков дает основания полагать, что именно этот слой земной коры ответственен за коровую сейсмичность, т.е. именно он и является сейсмогенным.

Так можно полагать, что в рассматриваемом районе мощность сейсмогенного слоя составляет 10–15 км. С полным основанием можно считать, что подобные исследования афтершоков являются наиболее надежным методом определения мощности сейсмогенного слоя в тех районах, где имеющаяся сеть сейсмических станций не позволяет фиксировать слабые землетрясения и определять глубины гипоцентров землетрясений с достаточной точностью – в пределах 1–5 км.

Высказанные соображения о мощности сейсмогенного слоя земной коры подтверждаются также натурными сейсмологическими наблюдениями на разломе Сан-Андреас в Калифорнии, где, как известно, создана и функционирует очень густая сеть сейсмических станций, позволяющая фиксировать даже очень слабые землетрясения и определять с высокой точностью глубины гипоцентров всех местных землетрясений. Некоторые результаты таких наблюдений продемонстрированы на рис. 6.

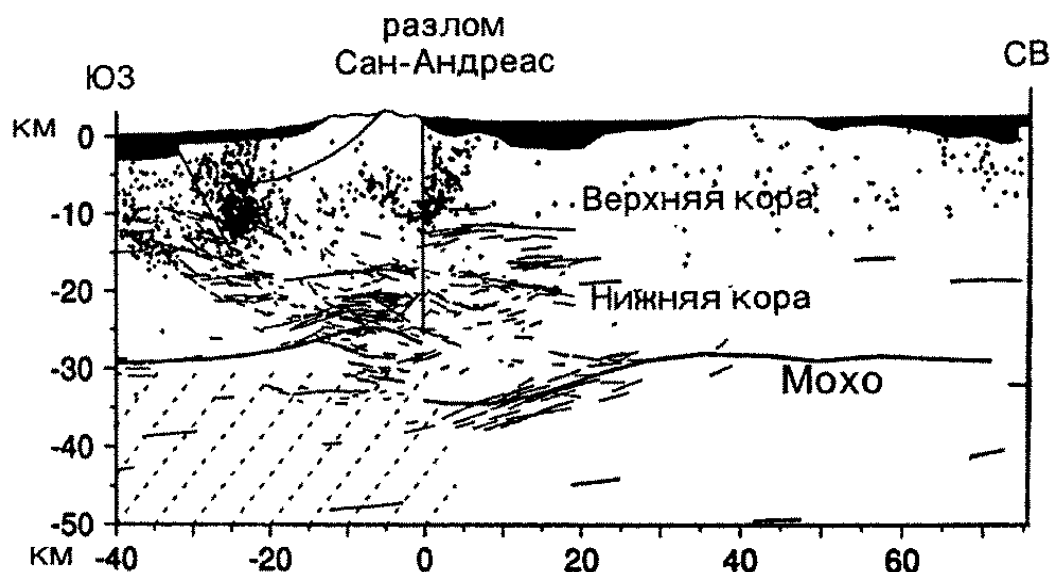


Рис. 6. Сейсмический профиль в районе Лос-Анджелеса, по: [Короновский, Ломидзе, 2001]

Толстые линии – Мохо и другие поверхности раздела,
тонкие линии – рефлекторы. Диагональная штриховка – аномально
высокоскоростная верхняя мантия по данным сейсмической томографии.
Точки – гипоцентры землетрясений за период с 1981 по 1998 гг.

Представленные на этом рисунке данные убедительно говорят о том, что разлом Сан-Андреас сейсмичен лишь до глубины 15 км.

Таким образом, и теоретические соображения, и экспериментальные лабораторные исследования, и натурные сейсмологические наблюдения убедительно говорят о том, что мощность сейсмогенного слоя земной коры действительно составляет 10–25 км, что сейсмогенные, упругие напряжения накапливаются во всей толще этого слоя и что именно в сейсмогенном слое **зарождаются, созревают и реализуются очаги коровых землетрясений.**

Ошибочные представления о сейсмичности всей толщи земной коры скорее всего возникли из-за значительных ошибок (до десятки километров) определения глубины гипоцентров землетрясений. Причиной этих ошибок является редкая сеть сейсмических станций – чем больше расстояния сейсмических станций от эпицентра землетрясения, тем с большей ошибкой определяется глубина гипоцентра.

3. Поле упругих напряжений, возникающее из-за образования «спайки» и вид сейсмогенной деформации, порождаемой этим полем

Для определения вида и размеров рассматриваемого поля упругих напряжений можно воспользоваться широко применяемым в решении задач теории упругости принципом локальности эффекта самоуравновешенных 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)» [Безухов, Лужин, 1974, с.6].

Для обнаружения очагов готовящихся землетрясений принцип Сен-Венана вполне применим в силу несопоставимости размеров сейсмогенных разломов (тысячи километров) и размеров очагов землетрясений – длина очага разрушительного землетрясения с $M=7$ составляет 50–60 км и даже для сейсмической катастрофы с $M=8$ не превышает 200 км.

Согласно этому принципу вокруг возникшего концентратора напряжений (спайки) возникает местное поле упругих напряжений максимальное в месте зарождения спайки и экспоненциально уменьшающееся с удалением от этого участка разлома.

Совершенно очевидно, что локальное поле упругих напряжений с экспоненциальным характером затухания напряжений должно порождать **изгибные деформации горных пород** в готовящемся очаге землетрясения.

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

Проверить справедливость этих теоретических соображений можно с помощью имеющихся в настоящее время геодезических экспериментальных данных. Речь идет о результатах повторных геодезических измерений в эпицентральных зонах сильных коровых землетрясений, выполненных до и после этих землетрясений (рис. 7).

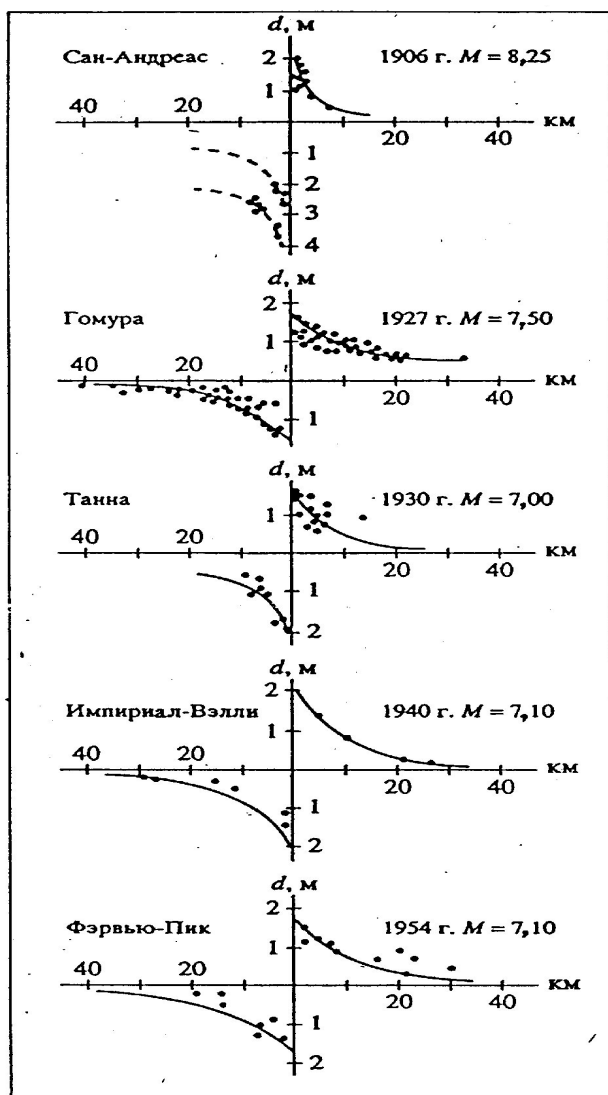


Рис. 7. Реальное распределение смещений пунктов триангуляции (d) в зонах сейсмогенных разломов при сильных коровых землетрясениях в зависимости от удаления геодезических пунктов от разломов, по: [Казахара, 1985]

На этом рисунке представлены данные повторных триангуляций, выполненных в эпицентральных зонах после случившихся сильных землетрясений. 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.

На всех пяти графиках прослеживается одна и та же закономерность – смещения максимальны вблизи разлома и очень быстро (экспоненциально) убывают с удалением от него. Этот факт убедительно говорит о том, что порождаемые при сильных землетрясениях смещения геодезических пунктов несут информацию о едином механизме подготовки этих землетрясений. Крайне важно и то, что этот механизм един для разных континентов. Можно полагать, он является универсальным, но это требует тщательной проверки.

Причина появления указанной закономерности смещений пунктов триангуляции при землетрясении демонстрируется рис. 8.

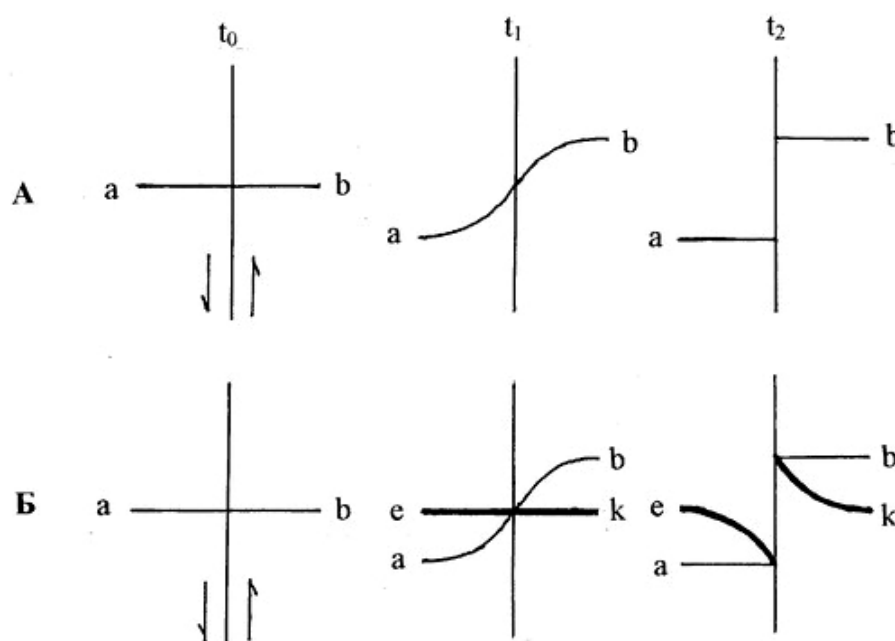


Рис. 8. Объяснение явления экспоненциального распределения смещений геодезических пунктов в эпицентральных зонах сильных коровых землетрясений

На рис. 8А показан один и тот 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, при котором произошли следующие события: магистральный разрыв горных пород в очаге; смещение горных пород по этому разрыву и благодаря этому сброс накопленных в них ранее изгибных сейсмогенных деформаций – прямолинейные отрезки a и b .

Теперь обратимся к рис. 8Б, который отличается от рис. 8А лишь тем, что в

нем добавлена прямая **ek**, представляющая собой прямолинейное геодезическое построение (геодезический профиль) созданное в момент t_1 , над зреющим очагом землетрясения. Вид прямолинейного геодезического профиля претерпел на первый взгляд парадоксальные изменения, превратившись в два искривленных отрезка, смещенных относительно друг друга. Однако в этом нет ничего загадочного – по условиям задачи профиль был создан над уже деформированными упругим изгибом горными породами готовящегося очага землетрясения. И, следовательно, при сбросе упругих напряжений горные породы сместились по разлому и при этом выпрямились, а прямолинейный геодезический профиль над очагом наоборот превратился в два изогнутых отрезка, сохранивших кривизну кривой **ab**.

Эти два отрезка являются зеркальным отображением двух половинок упругой кривой **ab**, так как в результате землетрясения кривая **ab** и прямая **ek** обменялись своими формами и, следовательно, в этих изогнутых отрезках сохранилась информация о величине упругих деформаций, накопленных в очаге к моменту создания этого геодезического профиля. Из анализа **рис. 7** 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 – многие десятки и более лет.

Таким образом, нам удалось расшифровать загадку появления кривых на **рис. 7**.

Эти экспериментальные данные убедительно подтвердили высказанные ранее теоретические соображения о том, что процессом подготовки корового землетрясения является накопление в его очаге упругих изгибных сейсмогенных деформаций. Кроме того они несут бесценную информацию о величине упругого изгиба горных пород, накопленного в каждом очаге землетрясения к моменту создания над ними исходных триангуляций.

Следует отметить, что по данным этого рисунка можно определить и ширину очага землетрясения, которую можно считать равной ширине зоны проникновения упругих смещений в тела контактирующих по разлому блоков земной коры. Для этого нужно определить расстояние между точками выхода на асимптоты экспоненциальных кривых этих блоков. Согласно данным **рис. 6** эти расстояния измеряются несколькими десятками километров: от 40 до 60.

4. О возможностях геодезии в осуществлении прогноза коровых землетрясений

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

Красовский. Ф.Н.

Анализ данных повторных геодезических измерений в эпицентральных зонах сильных землетрясений позволяет сделать следующие крайне важные для рассматриваемой проблемы выводы.

1. Коровая сейсмичность обусловлена нарушением режима тектонических смещений – их задержкой в тех или иных участках сейсмогенных разломов.

2. Деформационным признаком подготовки очага землетрясения является, накапливаемый упругий изгиб в горных породах этого очага.

3. Указанный упругий изгиб удовлетворительно описывается кривыми $d = Ae^{ax}$; где d – величина упругого смещения рассматриваемой точки земной поверхности; x – удаление этой точки от разлома; A – величина максимального смещения бортов разлома при землетрясении, a – интегральная характеристика упругих свойств горных пород в очаге землетрясения.

4. Земная поверхность над очагом готовящегося землетрясения, являющаяся верхней границей сейсмогенного слоя земной коры, участвует в процессе подготовки этого очага.

5. При подготовке землетрясения упругие деформации проникают в тела контактирующих по разлому блоков на 20–30 км, т.е. полная ширина очага сильного землетрясения составляет 40–60 км.

6. Отслеживать процесс подготовки очага землетрясения, т.е. достоверно определять вид упругой кривой на таких базах (десятки километров) возможно лишь геодезическим методом [Певнев, 2003].

Эти выводы позволяют сделать обоснованное заключение о том, что изучение деформаций земной поверхности геодезическими методами позволяет осуществлять точный прогноз места очага готовящегося землетрясения, а также определять максимальную силу, которую он способен породить.

О прогнозе места

Для реализации этого прогноза необходимо на выбранном, по тем или иным соображениям, участке сейсмогенной зоны создать геодезическое построение, позволяющее с необходимой точностью определять вид деформаций земной поверхности на исследуемом участке, т.е. достоверно устанавливать вид упругого изгиба горных пород в случае если на этом участке идет процесс подготовки очага землетрясения.

Таким образом, анализ результатов геодезических исследований с полной определенностью показал, что геодезическим методом можно решением прямой задачи осуществлять точный прогноз места готовящегося очага землетрясения. Это возможно с помощью специальных геодезических построений. Конструкции таких геодезических построений детально описаны в [Певнев, 2003].

О прогнозе силы

Однако возможности геодезического метода не ограничиваются только прогнозом места готовящегося очага землетрясения: он позволяет также осуществлять прогноз силы землетрясения, которую может породить этот очаг. Эту возможность предвидел Г.А. Здесь уместно вернуться к ранее изложенным его соображениям по этой проблеме: «Так как напряжения разрыва не могут меняться в очень широких пределах, то отсюда следует, что энергия землетрясения в основном определяется не напряжением, а размерами очага, т.е. размерами той области, внутри которой в результате землетрясения исчезают сдвиговые напряжения» [Григорий Александрович Гамбурцев..., 1998, с. 437].

Функциональную зависимость между силой землетрясения – магнитудой M и длиной очага L установил Ю.В. Ризниченко [1985]. Эти данные приведены в таблице 1.

Таблица 1.

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

M	L, км	D, 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

Таким образом, если будет известна длина очага готовящегося землетрясения L, то это позволит предсказать и максимальную силу землетрясения (магнитуду M), которую может породить зреющий очаг. Совершенно очевидно, что это достижи-мо геодезическим методом. Для решения этой проблемы необходимо и достаточно определить длину упруго деформированного участка земной поверхности над обнаруженным ранее очагом зреющего землетрясения. Вопрос о виде геодезических построений, необходимых для определения размеров готовящегося очага землетрясений, рассмотрен в [Певнев, 2003].

Что касается величины D в таблице, то, так как основной сброс накопленных упругих напряжений происходит при основном (магистральном) разрыве горных пород в очаге, то определенную сейсмологическим методом величину подвижки бортов разлома при землетрясении (D), можно считать численно равной максимальному сейсмогенному упругому смещению, накопленному в очаге к моменту землетрясения.

И о прогнозе времени землетрясения

В отличие от прогнозов места и силы коровых землетрясений, которые можно осуществлять решением прямых задач, для прогноза времени это невозможно, так как нам не известны законы разрушения горных пород в реальных природных условиях. Поэтому исследования, нацеленные на прогноз времени нужно начинать с изучения этих закономерностей. А так как в настоящее время мы не можем назвать ни один из методов, с помощью которого можно было бы изучить 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 геофизических и других полях тонкой структуры процесса разрушения горных пород в сейсмогенном слое земной коры. Конечно создавать такие системы на значительных площадях практически невозможно, но здесь на помощь приходит геодезический метод, который позволяет осуществлять заблаговременное обнаружение зреющего очага землетрясения. Благодаря этому открывается реальная возможность создавать кон-

диционные системы комплексных наблюдений и проводить на них соответствующие решаемой задаче комплексные исследования не в случайно или недостаточно обоснованных местах, а непосредственно над готовящимся очагом землетрясения.

Крайне важно то, что лишь при такой системе исследований возможна регистрация 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 достаточным объективным показателем приближающейся катастрофы и позволит своевременно принять необходимые меры безопасности. В подтверждение такому заключению сошлёмся на следующее высказывание Г.А. Гамбурцева: “Большинство из предвестников землетрясений, по всей видимости, будет проявляться лишь в эпицентральной области землетрясения; поэтому они будут наблюдаться очень редко” [Гамбурцев, 1960, с. 433].

Есть все основания считать, что такой подход может открыть путь к точному прогнозу времени главных сейсмических событий в созревшем и начавшем разрушаться очаге землетрясения.

В прогнозе времени Г.А. Гамбурцев большие надежды возлагал на механические предвестники. Он писал: «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 учетом 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 в основном с использованием космических методов геодезии).

Таким образом, наиболее перспективной можно считать следующую стратегию прогнозных исследований. На выбранных по тем или иным практическим или научным соображениям участках сейсмогенных зон создаются геодезические прогнозные сети, способные решать задачу прогнозов места и силы землетрясения. Затем в местах готовящихся очагов организуются нацеленные на прогноз времени наблюдательные сети комплексных исследований.

Приступив к практической реализации предлагаемой стратегии прогноза, мы восстановим историческую справедливость по отношению к патриарху проблемы прогноза землетрясений в нашей стране – **Григорию Александровичу Гамбурцеву!**

Заканчивая рассмотрение вопроса о прогнозе времени землетрясения, следует остановиться на следующих аспектах.

Во-первых, на существенной практической значимости заблаговременного, за многие годы и десятки лет, прогноза места и силы зреющего очага землетрясения. Ведь в этом случае появится реальная возможность своевременно осуществить в потенциально опасной зоне все необходимые мероприятия для сведения к минимуму любого ущерба от будущего землетрясения. Это уже во власти людей и поэтому будет определяться мерой их рациональности и гуманных принципов.

Во-вторых, точное знание местонахождения и размеров зреющего очага зем-

летрясения позволит приступить к опробованию методов искусственного воздействия на этот очаг с целью безопасного снятия накапливаемых в нем сейсмогенных напряжений. На современном научном и техническом уровнях знаний это вполне реально и если предлагаемая концепция прогноза получит практическое осуществление в недалеком будущем, то мы имеем все шансы быть свидетелями безопасной разрядки очагов землетрясений.

В-третьих, рассматривая проблему прогноза землетрясений крайне важно иметь в виду следующее обстоятельство. Смещения и деформации земной коры происходят не только под действием устойчивых во времени долгоживущих эндогенных (внутренних) процессов, но также и в результате воздействия на Землю различных экзогенных (внешних) процессов, среди которых, определяющими (*факторами* – ред.) можно считать космические. Так, например, Землю периодически упруго деформируют лунно-солнечные приливы и вариации скорости ее вращения [Уткин и др., 2012]. При рассмотрении этой проблемы целесообразно сослаться на следующие соображения А.Г. Гамбурцева.

«Среди природных воздействий большую роль играют воздействия ритмические. Существует множество подобных воздействий в широчайшем диапазоне периодов – от секунд до сотен миллионов лет [Аптикаева, 2013; Арефьев и др., 1993; Безухов, Лужин, 1974]. Но ритмы эти не постоянны – они меняют периодичность, исчезают и появляются вновь, изменяя тем самым свойства литосферы» [Гамбурцев, 1995, с. 646].

Если иметь в виду прогноз землетрясений, то можно полагать, что пока готовящийся очаг корового землетрясения находится в устойчивом состоянии такие изменения свойств литосферы (земная кора является ее верхней частью) не окажут существенного влияния на процесс формирования очага. Скорее всего, они могут либо несколько ускорить этот процесс либо его замедлить. Однако они могут оказать существенное воздействие на очаг, находящийся в состоянии неустойчивого равновесия, т.е. когда в очаге накоплены предельные упругие напряжения. В этом случае даже слабое дополнительное воздействие на него может сыграть роль спускового механизма (триггерный эффект) и спровоцировать преждевременное землетрясение.

С рассмотренных позиций отслеживание указанных вариаций свойств литосферы не только целесообразно, но и крайне необходимо. Разумная схема таких исследований предложена А.Г. Гамбурцевым.

«Исходя из изложенного, можно наметить следующую последовательность действий: 1) режимные наблюдения процессов, происходящих в природных и природно-техногенных системах; 2) выявление закономерностей и критических уровней состояния среды, за которыми следуют катастрофы; 3) прогнозирование будущих состояний изучаемой среды (объектов); 4) составление режимов природопользования, учитывающих природные вариации состояния среды (возможно, также и некоторые уже существующие техногенные воздействия). В эту последовательность может быть включено звено, предусматривающее принятие специальных по предупреждению негативных экологических последствий» [Гамбурцев, 1995, с. 651].

Таким образом, использование геодезических исследований в решении проблемы прогноза землетрясений позволяет осуществлять точный прогноз места и силы готовящегося землетрясения, что, конечно же, ускорит решение проблемы прогноза времени землетрясения.

Владикавказский геодинамический прогнозный полигон

Следует отметить, что первая геодезическая прогнозная система, рассчитанная на прогноз места и силы корового землетрясения, была создана в 2011 г. в Мексике в Штате Нижняя Калифорния на сейсмогенном разломе Империял (южное продолжение разлома Сан-Андреас). Система расположена вблизи столицы Штата города Михикали, пережившим сильное землетрясение в 2010 году.

Подобная вышеприведенной сеть несколько позже была создана на Северном Кавказе в районе относительно мощного Владикавказского разлома. Хотя инструментальными наблюдениями в этом разломе ранее не были зарегистрированы землетрясения с магнитудами, превышающими $M=5$, однако в действительности его потенциальные возможности гораздо больше.

В результате выполненных под руководством проф. Е.А. Рогожиным из ИФЗ РАН с применением «тренинг» метода детальных сеймотектонических исследований было установлено, что указанный разлом характеризуется высоким сейсмическим потенциалом [Рогожин и др., 2008]. Здесь, в частности, были выявлены следы 9-10 балльных сотрясений. В это же время под руководством проф. В.Б. Заалишвили были разработаны первые вероятностные карты сейсмической опасности территории Северной Осетии [Аракелян и др., 2008; Заалишвили и др., 2008; Заалишвили, Рогожин, 2010; 2011; Рогожин и др., 2013; Zaalishvili, Rogozhin, 2011; Zaalishvili, 2012]. Особое внимание было уделено особенностям формирования интенсивности собственно сейсмической опасности [Заалишвили, 1986;1996; 2014]. Необходимо отметить, что и в настоящее время разлом является сейсмоактивным. Учитывая, что согласно изучению имеющихся инструментальных данных, сейсмическая активность Владикавказского разлома в последнее время несколько уменьшилась, можно полагать это проявлением т.н. «зоны затишья», формируемой при подготовке крупного сейсмического события [Заалишвили и др., 2012а, 2012б, 2012в, 2013а, 2013б; Заалишвили, Невская, 2014; Заалишвили и др., 2014].

С целью установления причинно-следственных связей различных факторов с неожиданным сходом ледника Колка (Северная Осетия, 2002 г.) проф. И.В. Бондыревым из Института географии им. В. Багратиони АН Грузии совместно с сотрудниками Геофизического института ВНИЦ РАН, были детально изучены возможные причины такого схода и, в том числе, современные геодинамические процессы в регионе [Бондырев, Заалишвили, 2003; 2005; Заалишвили и др., 2005; Заалишвили, Харебов, 2008; Заалишвили и др., 2014].

Эти и другие исследования, проведенные в Северной Осетии (Гусева Т.В. и др.) [Заалишвили и др., 2011], легли в основу разработки прогнознoй концепции и последующего создания в 2012 г. Владикавказского геодинамического прогнозного полигона в зоне относительно мощного (ожидаемая магнитуда $M=6,5-7,1$) Владикавказского разлома, расположенного в непосредственной близости от г. Владикавказа (практически, в южной части города) (рис. 9). [Певнев и др., 2014].

Основными элементами системы мониторинга здесь являются деформационно-геодезические прогнознoе профили, ортогонально пересекающие сейсмогенный разлом (рис. 9).

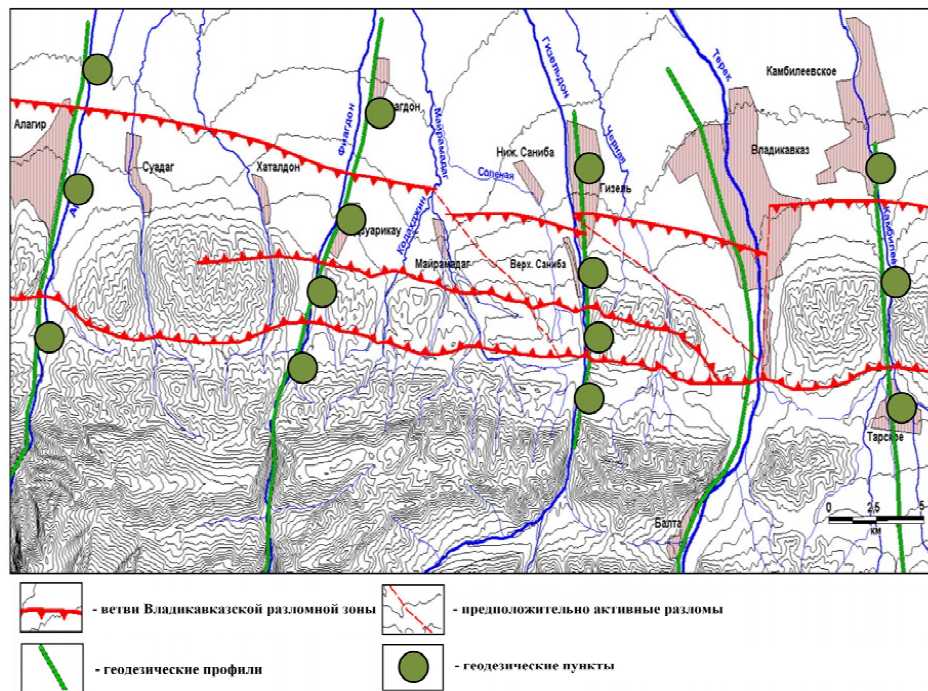


Рис. 9. Схема размещения геодезических пунктов на геодезических прогнозных профилях, рассчитанная на обнаружение очагов землетрясений с использованием объемной модели. Схема расположения ветвей Владикавказской разломной зоны по [Рогожин и др., 2008]

Длины таких профилей должны быть сопоставимы с шириной очагов сильных землетрясений – первые десятки километров. С целью достоверного определения вида измеряемых деформаций профили должны быть оснащены достаточным для этой цели количеством пунктов наблюдений. К настоящему времени создан один из таких профилей, проходящий по долине р. Терек и пересекающий территорию г. Владикавказ. Для ускорения формирования полной системы профилей, охватывающих всю зону разлома, как на территории республики, так и прилегающих территориях, развитие полигона Геофизического института в настоящее время осуществляется на основе вновь предложенной методики 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) [Певнев и др., 2014].

Более детально собственно геодезические аспекты проблемы прогнозов места, силы и времени будут рассмотрены в следующей статье.

Заключение

Искреннее восхищение вызывает то, что много десятилетий тому назад, впервые занявшись проблемой прогноза землетрясений, Григорий Александрович Гамбургцев наметил единственно правильный подход к ее решению. Можно не сомневаться, что если бы не случилась ранняя трагическая смерть Г.А., то вместо современного кризиса в решении проблемы прогноза землетрясений мы были бы далеко впереди на пути ее решения.

Литература

1. Аптикаева О.И. О связи сейсмической активности с особенностями строения земной коры и верхней мантии Гармского прогностического полигона. Актуальность идей Г.А. Гамбурцева в геофизике XXI века. М.: «Янус-К». 2013. С.293-313.
2. Аракелян А.Р., Заалишвили В.Б., Макиев В.Д., Мельков Д.А. К вопросу сейсмического районирования территории республики Северная Осетия-Алания//В сборнике: Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа. Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Заалишвили В.Б. (редактор), Владикавказский научный центр РАН и РСО-А. 2008. С. 263-278.
3. Арефьев С.С., Плетнев К.Г., Татевосян Р.Э. и др. Рачинское землетрясение 1991 г.: результаты полевых сейсмологических наблюдений // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1993. №3. С.12–23.
4. Безухов Н.И., Лужин О.В. Приложение методов теории упругости и пластичности к решению инженерных задач. М.: Высшая школа. 1974. 200 с.
5. Болт Б.А. Землетрясения. М.: Мир, 1981, 264 с.
6. Бондырев И.В., Заалишвили В.Б. Опасность активизации геодинамических процессов на Северном Кавказе Вестник Владикавказского научного центра. 2003. Т. 3. №2. С. 39-46.
7. Бондырев И.В., Заалишвили В.Б. Современные геодинамические процессы Казбеги-Кельского района Центрального Кавказа. Тбилиси, 2005. 154 с.
8. Ботт М. Внутреннее строение Земли. М.: Мир, 1974. 375 с.
9. Вопросы советской науки. Прогноз землетрясений. Изд-во Академии Наук СССР. 1954 г. 16 с. Составлено группой специалистов под руководством академика Г.А. Гамбурцева, экспертной комиссией Президиума АН СССР под руководством академика И.П.Герасимова. Одобрено Президиумом Академии Наук СССР на заседании 12 марта 1954 г.
10. Гамбурцев Г.А. Состояние и перспективы работ в области прогноза землетрясений. Избранные труды. М: Изд-во АН СССР. 1960, с. 427–435.
11. Григорий Александрович Гамбурцев. Воспоминания, очерки, статьи. М.: Ин-т физики Земли РАН, 1998, 246 с.
12. Гамбурцев А.Г. Современная геодинамика и катастрофы // Вестник российской академии наук. 1995, том 65, №7. С.646–655.
13. Голицын Б.Б. Избранные труды. Сейсмология. М.: Изд-во АН СССР. 1960, Т.2. 465 с.
14. Друмя А.В., Шебалин Н.В. Землетрясение: где, когда, почему? Кишинев: Штиинца, 1985, 196 с.
15. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 415с.
16. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование по данным искусственного возбуждения колебаний грунтовой толщи // Автореферат кандидатской диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Институт Геофизики АН ГССР. Тбилиси, 1986.
17. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование на основе изучения нелинейных свойств грунтов искусственными источниками //автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / Москва, 1996.

18. Заалишвили В.Б., Харебов К.С. Исследование процесса схода ледника колка 20.09.2002 по динамическим характеристикам инструментальных записей // В сборнике: Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа. Центр геофизических исследований ВНИЦ РАН и РСО-А, Заалишвили В.Б. (ред.), Владикавказский научный центр РАН и РСО-А. 2008. С.202-221.

19. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Макиев В.Д., Мельков Д.А. Интерпретация инструментальных данных процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года // Вестник Владикавказского научного центра. 2005. Т. 5. №3. С.43-54.

20. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Отинашвили М.Г. Использование метода конечных элементов при оценке сейсмической опасности горных территорий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. №3. С. 49-52.

21. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования // В сборнике: Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Труды института геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук. 2010. С.251-262.

22. 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 №2 2011. С.33–40.

23. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального районирования и сейсмического микрорайонирования // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. №3. С.31–43.

24. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Шепелев В.Д. Мониторинг опасных природных и техногенных процессов на территории Северной Осетии // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2012а. №2. С.46–53.

25. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Трофименко С.Н., Шемпелев А.Г. Глубинные геофизические исследования в Северо-Кавказском федеральном округе: проблемы глубинной геологии и геофизики в региональных исследованиях. О зоне предполагаемого Ардонского межглыбового разлома // Геология и геофизика Юга России. 2012б. №2. С.11-20.

26. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Мельков Д.А., Шемпелев А.Г. Мониторинг опасных геологических процессов в зоне предполагаемого Ардонского разлома и на участке трассы газопровода от сел. Дзуарикау до границы РСО-Алания // Геология и геофизика Юга России. 2012в. №4. С.25-32.

27. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Шепелев В.Д. Мониторинг опасных природных и техногенных процессов на территории РСО-Алания // Геология и геофизика Юга России. 2013а. №1. С.17–27.

28. Заалишвили В.Б., Бурдзиева О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С. Информационный мониторинг распределённых физических полей в пределах урбанизированной территории // Геология и геофизика Юга России. 2013б. №4. С.8-16.

29. Заалишвили В.Б. Некоторые проблемы практической реализации сейсмического микрорайонирования. Факторы, формирующие интенсивность землетрясения // Геология и геофизика Юга России. 2014. №3. С.3-39.

30. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Мельков Д.А. Инструментальный геофизический мониторинг на территории Северного Кавказа // Физика Земли. 2014. №2. С.114.
31. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Габараев А.Ф., Шепелев В.Д. Сход каменно-ледовой лавины в районе ледника Девдорак 17 мая 2014 года по инструментальным данным // Геология и геофизика Юга России. 2014. №4. С.122-128.
32. Заалишвили В.Б., Невская Н.И. Сейсмологические наблюдения на территории Республики Северная Осетия-Алания // Геология и геофизика Юга России. 2014. Т. 2. №4. С.34–40.
33. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.
34. Каталог сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука. 1977. 535 с.
35. Кондратьев О.К. Разведочная геофизика с целью прогноза землетрясений // Геофизика. 1995. №3. С.19–25.
36. Короновский Н.В., Ломизе М.Г. Концепция глубинных разломов в тектонике плит. Фундаментальные проблемы общей тектоники // Под редакцией Ю.М. Пушаровского. М.: Научный мир, 2001. С.344–373.
37. Мазмишвили А.И., Красовский Ф.Н., Чеботарев А.С. и др. В Академии Наук СССР должна быть создана картографо-геодезическая группа // Геодезист, 1938, №12, стр. 10.
38. Лукк А.А., Дещеревский Ф.В., Сидорин А.Я. и др. Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде. М.: ОИФЗ РАН. 1996. 210 с.
39. Мушкетов И.В. Физическая геология, Ч.1. СПб., 1899, 784с.
40. Научное наследие Г.А. Гамбурцева и современная геофизика. Развитие идей и воспоминания. М.: ОИФЗ РАН. 2003.
41. Николаевский В.Н. Обзор: земная кора, дилатансия и землетрясения. В кн. Дж. Райс. Механика очага землетрясения. М.: Мир, 1982. 217 с.
42. Орлов А.П. Землетрясения и их соотношения с другими явлениями природы. Казань, 1887.
43. Павленкова Н.И. Сейсмические модели земной коры и верхней мантии и их геологическая интерпретация // Тектоника и геодинамика: общие и региональные аспекты. Т.II. М.: ГЕОС. 1988, с. 72–75.
44. Певнев А.К. Пути к практическому прогнозу землетрясений. М.: ГЕОС. 2003. 153 с.
45. Певнев А.К., Заалишвили В.Б. О причинах коровой сейсмичности и возможности прогноза землетрясений методами решения прямых задач // Геология и геофизика Юга России. №4. Т.2. 2014. С.91–99.
46. Певнев А.К., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. О модернизации геодезических исследований на Владикавказском геодинамическом прогнозном полигоне // Геология и геофизика Юга России. №4. Т.2. 2014. С.84–90.
47. Развитие идей Г.А. Гамбурцева в геофизике. К 80-летию со дня рождения академика Григория Александровича Гамбурцева. Изд-во Наука, М.: 1982. 320 с.
48. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.
49. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Новиков С.С., Дзеранов Б.В., Мельков Д.А. Отчет о научно-исследовательской работе «Изучение следов

возможных проявлений сейсмической активности в зоне Владикавказского глубинного разлома», выполненного по теме «Современная геодинамика, сейсмическое районирование, риск, регистрация сигналов, создание баз данных и сейсмостойкое строительство в горных регионах». Владикавказ, ГФИ ВНИЦ РАН. 2008. Т.1, книга 8. 33 с. № гос. регистрации 01200701676.

50. Рогожин Е.А. Идеи академика Г.А. Гамбурцева в области выделения сейсмоактивных районов. Актуальность идей Г.А. Гамбурцева в геофизике XXI века. М.: «Янус-К». 2013. С.263–292.

51. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Андреева Н.В., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзобоев Б.А., Габараев А.Ф. Новые представления о глубинном строении Осетинского сектора Большого Кавказа // Геология и геофизика Юга России. 2013. №4. С.3–7.

52. Тёркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. Т.1-2. М.: Мир, 1985. 730 с.

53. Уткин В.И., Юрков А.К., Цурко И.А. Вариации неравномерного вращения земли как триггирующий фактор сейсмичности планеты // Геология и геофизика Юга России. №1. 2012. С.3–13.

54. Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск: Наука, 1977. 102 с.

55. Reid H.F. The elastic-rebound theory of earthquakes // Bull. Department Geology. Univ. Calif. Publ. 1911. Vol.6. №19. P.413–444.

56. Zaalishvili V.B., Rogozhin E.A. Assessment of seismic hazard of territory on basis of modern methods of detailed zoning and seismic microzonation // Open Construction and Building Technology Journal. 2011. T.5. P.30-40.

57. Zaalishvili V. Assessment of seismic hazard territory // Earthquake Engineering. Published by InTech. Edited Halil Sezen, 2012, P.25-64

DOI: 10.23671/VNC.2016.1.20718

ON THE WAY TO THE REAL IMPLEMENTATION OF EARTHQUAKE PREDICTION

© 2016 A.K. Pevnev, Sc. Doctor (Tech.)

Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, 123995, Moscow, B. Gruzinskaya 10,
e-mail: an.pevnev@yandex.ru.

Earthquake forecasting is one of the most pressing problems of humanity, which increases with time. In the twentieth century there have been attempts to solve the problem without the use of any model of forming and implementation of earthquake sources but elementary using inverse problem methods (pattern recognition) with the measurements and analysis of heterogeneous anomalies in the various geophysical and other fields. However, these attempts have not been successful due to the fact that these problems were proved to be incorrect. Because of this, it became necessary to find new ways to solve this problem. The most realistic solution was proposed by the creator of the first scientifically based program of earthquake forecasting academician of Academy of Sciences of the USSR Grigory Gamburtsev but premature tragic death did not allow him

to realize it. Based on the considerations of G.A. Gamburtsev the deformation model of crustal earthquake source formation was developed. It follows from this model that the implementation of accurate forecasts of place and maximum source power of coming earthquake is quite real. The realization of these forecasts is possible with the help of geodetic systems, which allow to determine the displacement and deformation of the crustal blocks on the bases of tens of kilometers or more.

Unfortunately, even at the present time, there is a perception that geodesy is only a craft. Sure enough this is misleading: modern tectonics is explored by competently set geodetic investigations. It is sufficient to mention the plate tectonics: current velocities and directions of displacement are obtained using methods of dynamic geodesy.

The first geodesic forecast system was organized on the seismogenic Imperial fault in Mexico. The different aspects of creation Vladikavkaz forecast geodynamic testing range in North Ossetia are considered.

Keywords: earthquake forecasting, elasticity, seismogenic deformation.