

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԶԳԱՅԻՆ
ԱԿԱԴԵՄԻԱ

ԵՐԿՐՈԱԲԱՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒ

ԴԱՎԹՅԱՆ ԱՐԹՈՒՐ ՄԻԾԱՅԻ

**ԼԻԹՈՍՖԵՐԱՅԻՆ ՍԱԼԻ ՈՐՈՇ ԵՐԿՐՈԱԲԱՆԱԿԱՆ
ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ
ԵՐԵՎՈՒՅՑԹՆԵՐԻ ԴԵՊԵՉՈՒՄ**

ԻԴ.00.08 - Երկրաֆիզիկա, օգտակար հանածոների որոշման երկրաֆիզիկական
միթոդներ մասնագիտությամբ ֆիզ.-մաթ. գիտությունների թեկնածուի գիտական
ատոմիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ - 2004

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИИ

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

ДАВТЯН АРТУР МИШАЕВИЧ

**ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ЛИТОСФЕРНОЙ ПЛИТЫ
ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук по
специальности: 24.00.08 – Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых

ЕРЕВАН – 2004

Աստնային հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս Ա.Գ. Նազարովի
անվան Երկրաֆիզիկայի և ինժեներային սենյամաքանության ինստիտուտում

Գիտական դնկավար՝ ֆիզ.-մաթ.գիտությունների թեմանածու Լ.Ա Հայվերդյան

Պաշտոնական ընդդիմախառներ՝

ՀՀ ԳԱԱ թղթակից-անդամ, ֆիզ.-մաթ. գիտ.դոկտոր Ա.Գ. Բագրուն,
ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեմանածու Ե.Գ. Գնողակյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկայի կիրառական
պրոբլեմների ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2005թ. հունվարի 25-ին, ժամը 13⁰⁰-ին,

ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի

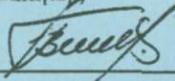
054 Մասնագիտական խորհրդի նիստում:

Հասցեն՝ 375019, Երևան, Մ. Բագրամյանի պող., 24ա:

Աստնային հաստատությանը կարենի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ գրադարանում:

Սեղմագիրն առարկած է 2004 թ. դնկումների 24-ին:

054 Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,
նրանք. -հանքար. գիտությունների թեմանածու


Վահագինյան

Тема диссертации утверждена в Институте геофизики и инженерной
сейсмологии НАН РА им.академика А.Г.Назарова

Научный руководитель: кандидат физ.-мат. наук Л.А.Ахвердян

Официальные оппоненты:

член-корр. НАН РА, докт. физ.-мат. наук А.Г.Багдоев,
кандидат физ.-мат. наук Э.Г.Геодакян

Ведущая организация: Институт прикладных проблем физики НАН РА

Зашита состоится 25 января 2005г., в 13⁰⁰ часов
на заседании Специализированного совета 054

Института геологических наук НАН РА.

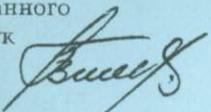
Адрес: 375019, Ереван, пр. М.Баграмяна, 24а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГН НАН РА.

Автореферат разослан 24 декабря 2004г.

Ученый секретарь Специализированного
совета 054, кандидат геол.-мин. наук

Г.В.Шагинян



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Полученные, за последние несколько лет, результаты теоретического изучения проблем сейсмологии РА побудили нас начать рассмотрение вопросов, связанных с новыми возможностями в постановке и проведении теоретическим путем новых физических исследований, касающихся законов распространения сейсмических волн в слоисто-изотропных упругих средах.

Для перечисленных задач, следовало бы ставить работы на разных моделях, например, как изгиб литосферной плиты, волновые процессы при взаимодействии литосферной плиты с астеносферой, с учетом того, какие волны могут возникнуть при возбужденном сейсмическом поле наличие тех или иных составляющих вектора смещений: законы распределения интенсивности колебаний вдоль волновых фронтов, т.е. какими причинами были возбуждены колебания и прохождения продольных волн на линейной и нелинейной границе.

С учетом закона убывания по интенсивности с увеличением расстояния от начальной точки (от очага) т.е. какая зависимость от упругих свойств среды с предсказанием теории. Рассмотрение плотности Земли, от которого и зависит скорость распространения сейсмических волн и т.д. (Подобными задачами в Армении занимались академики НАН РА Э.Г.Хачян, А.Р.Мкртчян, член кор. А.Г.Багдоев, доктор тех.наук.Л.Мовсисян, к.ф.м.н. А.Г.Мкртчян, к.ф.м.н.Л.А.Казарян и др.).

Учитывая горький опыт Спитакского землетрясения и тот факт, что большинство человеческих и материальных ресурсов сконцентрировано в пределах центральной части РА, что в республике функционирует Армянская Атомная Электростанция и ряд других потенциально опасных производств, изучение вопроса напряженно-деформационного состояния в республике становится ключевым.

Состояние проблемы. Земля постоянно находится в напряженном состоянии. Если ее моделировать однородной сферой и предположить, что отклонение гравитационного поля Земли от гидростатически равновесного обусловлено тонким слоем, расположенным на ее поверхности, то потенциал притяжения, вызывает осредненное напряжение в наружных слоях $10^7\text{-}10^8\text{ Па}$.

Потенциал, создаваемый центробежными силами в „слое”, где генерируются землетрясения до глубины порядка 700км, вызывает напряжения примерно $10^8\text{-}10^9\text{ Па}$.

Из-за неоднородности строения земли, особенно в ее верхних частях, возникают области локализованных напряженных состояний. Одна из причин их проявления - давление масс рельефа, которое вызывает напряжение $10^8\text{-}10^9\text{ Па}$ до глубины $h=600\text{ км}$.

На Землю действуют периодические силы притяжения: например, лунный прилив вызывает напряжение порядка 10^4 - 10^5 Па. Локальные напряженные состояния в отдельных сейсмоактивных зонах оцениваются путем изучения механизма очага землетрясения. Обобщение результатов исследования разных сейсмических районов указывает на согласованность ориентации подвижек в очагах землетрясений, что свидетельствует о едином, глобальном характере освобождения напряжений сейсмоактивных зон и преодоления предела прочности. Напряжения, постоянно действующие в теле Земли, близки к пределу прочности, вместе с тем они могут превосходить предел текучести, а это означает, что породы должны проявлять реологические свойства. Таким образом вопрос оценки напряженного состояния осложняется влиянием фактора времени и вызывает необходимость исследовать немгновенно упругое состояние, и учитывать влияние времени на состояние вещества.

Все выше упомянутые методы оценки напряженного состояния относятся к упругой Земле. Полагая, что медленные движения охватывают всю планету, практическая информация ограничивается лишь континентальными участками.

Медленные движения распространены на больших территориях, на которых выявляются участки с более интенсивными движениями. Свойства медленных движений расширяют возможности их использования для оценки внутренних напряжений, действующих достаточно долго и характеризующих реологическое свойство Земли. Подобная постановка задачи требует динамической трактовки медленных движений с тремя основными параметрами: деформация поверхности Земли, напряжения и время.

Если учитывать, что поверхность Земли свободна от напряжения, то путем решения задачи механики, можно найти напряжения, действующие в земной коре и вызывающие наблюдаемые поднятия.

Подавляющее большинство землетрясений в основном происходят в земной коре, а это значит, что земная кора является достаточно твердым телом. Все эти признаки дают нам основание трактовать земную кору, как ползущую среду и при постановке математических задач моделировать ее в качестве линейного стандартного тела.

Решение задачи в случае линейного стандартного тела сводится к решению упругой задачи с последующим переводом статистического модуля упругости в динамической.

В результате наблюдений сейсмических волн известно, что в верхней мантии Земли выделяется зона пониженных скоростей с уменьшенными значениями параметров упругости. Модуль упругости понижается, среда преобретает свойства жидкости. Напряжения из-за релаксации могут падать до 0, деформация может быть до бесконечной,

что и является причиной уменьшения числа землетрясений. Такая модель соответствует упруго-вязкому телу. Решение этой задачи для упруго-вязкой среды сводится к операторной трансформации модуля сдвига.

Более объективной оценкой является сопоставление вычисленных напряжений и времени их нарастания с удельными внутренними напряжениями при учете периодов их выделения. Анализ сейсмических и геофизических данных указывает на более сильное напряженное состояние земной коры и среды, на глубинах 150-200км, и более слабые напряжения на глубинах 80-120км (зона пониженных скоростей). Полученные результаты, на наш взгляд, подтверждают правильность нами выбранных моделей. Таким образом, динамическая трактовка медленных движений Земли и более быстрых движений земной коры, с учетом длительности и постоянства их проявления позволяют оценить время роста напряжений, объяснить поведение среды во времени и установить реологические свойства внутренних частей Земли.

Более того, на наш взгляд, решение задач, которые рассматриваются в диссертационной работе, позволяют внести вклад в решении задач по проблеме прогноза землетрясений, так как они даут возможность оценить количественные соотношения между деформациями и соответствующими им физическими параметрами.

Напряжения сжатия в очагах землетрясений Армянского нагорья в большинстве случаев ориентированы горизонтально или в близмеридиональном направлении, что с позиции тектоники литосферных плит может быть объяснено расположением исследуемой территории между движущимся навстречу друг-другу в близмеридиональном направлении Евразиатской и Аравийской плитами.

В результате проведенного изучения сейсмических условий и механизма очагов землетрясений, а также характеристика геофизических полей ($\Delta g, \Delta T_a$), установлено, что земная кора Армянского нагорья (или территория РА) имеет блоковое строение. Линейными размерами блоков достигают 50,70,130км.

Блоки земной коры находятся в сложном движении (в основном горизонтальном), относительно друг-друга, что и является причиной возникновения землетрясений на границах блоков, причем на границах блоков возможны землетрясения с $M \geq 6.0-7.0$.

Таким образом, чтобы иметь возможность судить о силе и времени возможного возникновения землетрясения в пределах Армянского нагорья, в частности на территории Республики Армении, необходимо в первую очередь определить динамические параметры блоков земной коры, например характер и скорость движения во времени напряженно-деформационного состояния динамической устойчивости и потери области динамической неустойчивости, частотное взаимодействие

литосферной плиты с астеносферой и т.д. и, наконец, моделировать механизм, какие процессы в недрах Земли приводят блоки земной коры в движение.

Механизм землетрясений - весьма сложный процесс. Очаг сильного землетрясения представляет собой некоторое внезапное смещение в определенном объеме пород по относительно обширной плоскости разрыва, поэтому механизм землетрясения представляет собой кинематику движения в очаге. Существуют несколько наиболее распространенных моделей механизма очага землетрясений.

Наиболее ранняя модель, разработанная Х. Рейдом в 1911 году, основана на упругой отдаче при деформации горных пород, в которых превышен предел прочности. Модель Н.В.Шебалина (1984год) предполагает, что главную роль в возникновении короткопериодных колебаний с большими ускорениями играют осложнения, шероховатости, которые препятствуют свободному скольжению, и именно они ответственны за накопление напряжений в очаге. Модель лавинонеустойчивого трещинообразования, развиваемая В.И.Мячким, заключается в быстром нарастании количества трещин, из взаимодействия между собой и в конце концов возникновении главного или магистрального разрыва, смещение по которому мгновенно сбрасывает раскапившееся напряжение с образованием упругих волн. Еще одна модель американских геофизиков У.Брейса и А.М.Нура предполагает важную роль дилатансии, то есть увеличения объема горной породы при деформации. Возникающие при этом микроскопические трещины при попадании в них воды не способны вновь закрыться, объем породы увеличивается, и напряжения возрастают, одновременно увеличивается поровое давление и снижается прочность породы. Все это приводит к разрядке напряжения - к землетрясению.

Существует модель неустойчивого скольжения, полнее всего разработанная американским геофизиком К. Шольцем в 1990 году и заключающаяся в „залипании“ контактов взаимно перемещающихся блоков пород при относительно гладком строении поверхности сместителя. Залипание приводит к накоплению сдвиговых напряжений, разрядка которых трансформируется в землетрясение.

Цель работы. Целью представляемой диссертационной работы является изучение некоторых вопросов литосферной плиты при динамических процессах, вследствие приводящихся к напряженно-деформированному состоянию земной коры, где формируются очаги будущего землетрясения.

Основные задачи исследований:

1. Анализ существующих литературных данных с критическим подходом.

2. Рассмотрение вопроса-зависимость длительности гравитационного предвестника (ΔT) от силы землетрясения (M) в теоретическом плане.
3. О свойстве функции скорости изменения плотности момента дислокационных источников и сейсмические волны в дальней зоне.
4. О линейном убывании плотности Земли.
5. Об одной модели изгиба литосферной плиты
6. Динамическая устойчивость литосферной плиты.
7. Определение области динамической неустойчивости сферической литосферной плиты.
8. Возникновение частоты при взаимодействии литосферной плиты с астеносферой.

Основные защищаемые положения:

1. Теоретическая оценка длительности ΔT от M.
2. О связи времени проявления деформационного предвестника с магнитудой землетрясения и эпицентральным расстоянием.
3. Устойчивость литосферной плиты находящейся под действием периодической продольной силы.
4. Частотное изучение динамической неустойчивости литосферных плит.
5. Взаимосвязь астеносферы с литосферной плитой при динамических процессах.

Научная новизна работы. В работе впервые рассматриваются критическое давление и частота литосферной плиты, определена наибольшая ширина динамической неустойчивости, что является главной областью литосферной плиты.

Практическое значение работы. Полученные результаты, могут быть рассмотрены в дальнейшем, при оптимизации и создании наблюдательной сети деформографических наблюдений на территории Армении, а также для мониторинга изучения напряжений земной коры. Результаты работ по моделированию могут быть использованы и для других геодинамических регионов.

Реализация работы. Методические ошибки были оценены и внедрены в Гарнийской Геофизической обсерватории при регистрации деформации с помощью штанговых деформографов.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации освещались в опубликованных статьях и тезисах, докладывались на конференции, посвященной 40-летию основания ИГИС НАН РА им. А.Г.Назарова (2001), 60-летию основания НАН РА, на научных семинарах Геофизической обсерватории Гарни, на конференции, посвященной 90-летию со дня рождения основания ИГИС НАН РА академика А.Г.Назарова (1998), на конференции, посвященной

памяти к.г.м.н. А.Г.Бабаджяна(1998).ASC 2000.Abstracts.Third meeting of Asian Seismological Commission and Earth Interior Related Topic. October 10-12,2000.

Объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы. Объем работы составляет 123 машинописного текста, 4 рисунка,115 литературных наименований.

Благодарности. Особую признательность автор выражает своему научному руководителю к.ф.м.н. Л.А.Ахвердяну за обсуждение принципиальных положений и осуществление настоящей работы.

Автор благодарит весь коллектив института геофизики и инженерной сейсмологии им.А.Г.Назарова во главе д.ф.м.н.С.М.Оганесян за помощь в выполнении работы.

Слова искренней признательности заслуживают академик Э.Е.Хачиян и коллектив обсерватории, и, в частности, к.г.м.н. Р.Т.Мириджанян и Р.А.Пашаян, Г.А.Туманян.

Основное содержание работы.

Изучение напряженно-деформационного состояния земной коры, как одного из спускового механизма возникновения землетрясения является очевидным. Совместное исследование данных о механизмах и динамических параметров очагов землетрясения позволяют определить движения литосферных плит и блоков, а также характер поля упругих напряжений на их границах. Одной из важных задач, на пути решения проблемы поисков предвестников землетрясений, является изучение динамических процессов, как в локальном, так и в региональном плане.

Изучения условий сейсмичности напряженно-деформированного состояния и блокового строения литосферы, играют важную роль, так как пространственное расположение эпицентров сильных землетрясений этого региона, приурочены к границам литосферных плит и макроплит, что дает возможность четкого моделирования процессов динамики литосферных плит.

Гравитационная неустойчивость может являться причиной многих тектонических процессов. По мнению ряда исследователей развитие неустойчивости в мантии Земли приводит к литосферным движениям. Однако, эти работы по устойчивости литосферы связаны с расчетом и анализом стационарных режимов. Между тем, именно динамика развития неустойчивости может представить большой интерес для геофизики.

Необходимо отметить, что реалистичная модель процесса разломо-образования одновременно может быть моделью очага землетрясения, если учесть влияние иннерционных сил и исследовать динамический аспект процесса. С другой стороны с возрастанием глубины разрыва все большее значение приобретают гравитационные силы литостатического давления и бокового сжатия. Поэтому необходимо их рассмотреть вместе. В работе делается попытка оценить форму развития

неустойчивости в многослойной модели, в зависимости от вязкости и толщины слоев. Нами рассмотрена временная и пространственная зависимость напряженного состояния земной коры, обусловленная взаимодействием существенно упругой литосфера с подстилающей астеносферой, которая при длительном воздействии напряжений ведет себя подобно вязкой жидкости. Такое взаимодействие литосферы, астеносферы, по-видимому, дает ключ к периодичности повторяемости катастрофических землетрясений, равно как и передачи сейсмической активности вдоль сейсмических поясов, а также нарастанию во времени напряжений, приводящих к разрушению в сейсмичных зонах., которые не „приспособились“ аналогично соседним по сейсмическому поясу областям к данному направлению движения плит. Подавляющее большинство землетрясений вызывается скоплением напряжений в земной коре и литосфере, которые появляются в процессе различных движений в недрах Земли. Эти движения и деформации ведут к возникновению движений и деформаций поверхности земной коры. К сожалению движения и деформации земной поверхности, полученные из наблюдений, связаны с внутренними напряжениями, а следовательно и с землетрясениями в очень сложной форме. Знание пространственного распределения напряжений в Земной коре и эволюции этого распределения во времени имеет огромное значение как для фундаментальных, так и прикладных направлений в науке о Земле.

В диссертации рассматривается только часть известных, а также теоретически возможных видов движений литосферы. Более того, их происхождение обычно анализируется с помощью сильно упрощенных механических моделей, не учитывающих реальных геологических объектов и процессов, протекающих в недрах Земли.

Глава I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Землетрясения - это один из наиболее страшных природных катаклизмов, уносящие десятки и сотни тысяч человеческих жизней и вызывающие опустошающие разрушения на огромных пространствах.

Землетрясения представляют собой мощные динамические воздействия, имеющие тектоническую природу: под действием накопленных в очаге землетрясения тектонических напряжений в его малой области - фокусе, возникает разрыв сплошности материала Земли. Научиться точно прогнозировать землетрясения - одно из важных социальных и экономических проблем науки. Среди специалистов существуют разные мнения о возможности прогноза землетрясений, и эти мнения меняются со временем. Иногда преобладает крайний пессимизм, иногда - крайний оптимизм.

Основу научного прогноза любого явления составляет вскрытие сущности этого явления и закономерностей, управляющих его генерацией. Исследование этих вопросов в применении к землетрясениям - ведущая проблема современной сейсмологии. Накопленные к настоящему времени результаты многочисленных исследований землетрясений из различных регионов земного шара позволили установить закон сейсмотектоники. Согласно этому закону, тектонические землетрясения ($M \geq 5$) возникают в литосфере не повсеместно, а в зонах активных разрывов.

Умение предсказать, как происходит во времени какой-либо процесс, свидетельствует о том, что область науки изучающей этот процесс, достигла уровня, позволяющего обобщать различные факты, обнаруживать аналогии между, казалось бы, разнородными явлениями, строить физические и математические модели - иными словами, уровня, позволяющего создавать некие теоретические представления о прогнозируемом процессе.

В последние годы учеными разных стран была сделана попытка объединить данные различных наук о Земле и создать на их основе некую единую картину происходящих в ней процессов. Такое направление получило название „геодинамика“. Комплексный геодинамический подход позволил сравнительно быстро установить основные характерные особенности глобального распределения горизонтальных движений земной коры за последние геологические эпохи. На этой основе была предпринята также попытка объяснить вертикальные движения земной коры, представив их как следствие горизонтальных. Здесь, однако, возникли существенные трудности. Более того, осталось много неясностей и в распределении горизонтальных движений земной коры.

Такая ситуация связана прежде всего с тем, что к настоящему времени получено лишь формальное описание горизонтальных движений земной коры. Оно соответствует названию „геокинематика“. О динамике можно говорить, когда рассматриваются силы, под влиянием которых происходят движения коры и мантии. Для Земли, однако, эта проблема остается пока еще очень плохо разработанной. В результате возникает большой произвол в выборе формы распределения движений, так как не вводятся ограничения, которые позволили бы по крайней мере отобрать для рассмотрения те движения, которые физически допустимы. Так, например, предлагается множество различных схем конвекции в мантии, но остается совершенно неясным, какая из них реализуется в действительности.

Серьезные разногласия остаются по поводу очертаний ряда литосферных плит и скорости их перемещения. Поэтому основным

вопросом в науках о твердой Земле является сейчас вопрос о силах, приводящих в движение кору и мантию.

Глава II. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОЧАГОВЫХ ЗОНАХ

В сейсмологии принято несколько основных положений в отношении процесса разрушения, происходящего в очаге землетрясения. Одно из таких важных положений состоит в том, что подвижка инициируется фронтом разрушения, а именно: дислокация образует ядро разрушения в некоторой точке (гипоцентре), а затем возникший фронт разрушения распространяется вдоль поверхности разрыва со скоростью меньшей, чем скорость упругих волн. Несмотря на то, что дислокационная подвижка инициируется фронтом разрушения, ее окончание зависит от многих факторов. Возможна ситуация, когда в любой момент времени подвижка происходит только на небольшой части поверхности разрушения. Предположим, что фронт разрушения имеет гладкую и правильную форму, такую, например, как прямая линия или дуга окружности. Но в действительности, свойства зоны разрыва по отношению к процессу разрушения проявляют сильную пространственную неоднородность. Его форма может быть крайне неправильной.

Другое важное положение состоит в том, что подвижка в любой точке необратима в течении процесса вспаривания, т.е. функция смещения на разрыве увеличивается от нуля до некоторого конечного значения монотонным образом.

Поле упругих смещений, возбуждаемых разрывом смещений на внутренней поверхности среды, определяется следующим достаточно общим выражением:

$$U_n(t) = \iint m_{pq}(t) * G_{npq}(t) d\Sigma$$

где звездочка обозначает операцию свертки во временной области; t - время; индексы относятся к пространственным компонентам, меняются от 1 до 3; по повторяющимся индексам производится суммирование; $U_n(t)$ является n-ой компонентой смещений в точке наблюдения; $m_{pq}(t)$ - тензор плотности сейсмического момента; функция Грина $\cdot G_{npq}(t)$ определяет n-ую компоненту смещения, возбужденного точечной импульсивной силой, действующей в p-м направлении; $G_{npq}(t)$ - производная функции Грина по направлению q.

Для точечного источника функция Грина должна содержать только большие периоды, и поэтому на достаточно малой поверхности разрыва она по существу постоянна. Тогда целиком всю функцию Грина можно вывести из-под знака интеграла.

В предположении точечного источника, источник описывается нормализованной геометрической частью \bar{m}_{pq} и скалярной функцией

$\dot{M}(t)$, которая определяет силу землетрясений и то, как оно развивается во времени. Статистический сейсмический момент задается равенствами:

$$M_0 = \int \dot{M}(t) dt = \mu A \int \dot{D}(t) dt = \mu A D_0$$

где $\dot{D}(t)$ — средняя по площади разрыва скорость изменения подвижки, а A — площадь разрыва, \tilde{m}_{pq} — "единичный" безразмерный тензор плотности момента, определяющий геометрию разрыва, D_0 — среднее статистическое смещение на разрыве.

Необходимо подчеркнуть, что формула, описывающая смещение от точечного источника, не содержит никакой информации о пространственных изменениях функции $D(t, x, y)$ вдоль разрыва, что является прямым следствием вынесения полностью всей функции Грина из-под знака интеграла. При увеличении размеров разрыва (или при уменьшении рассматриваемых периодов волн) это приближение становится неприемлемым. Рассматривая ситуацию более оптимистично, можно сказать, что сейсмические волны в дальней зоне теперь содержат информацию о пространственных вариациях скорости смещения вдоль конечного разрыва.

Одной из главных причин, обусловливающих проявления в реальных геологических средах нелинейных сейсмических эффектов, считается наличие физической нелинейности, которая играет определяющую роль в формировании сейсмических волновых полей. Задачи распространения сейсмических волн с учетом нелинейных эффектов существенны для реальной геофизической среды, сложенной из множества блоков. Макроструктура геофизической среды обладает внутренними степенями свободы, а контакты проявляют нелинейно-упругие свойства.

Глава III. ЗАВИСИМОСТЬ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПРЕДВЕСТНИКА ОТ МАГНИТУДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Гравитационные предвестники землетрясений, по сравнению с другими, в мировой литературе представлены сравнительно небольшим числом работ. Это объясняется прежде всего тем, что до недавнего времени гравитационные съемки проводились традиционно с частотой, не позволяющей выявить изменения ускорения силы тяжести (СТ) перед землетрясением. В последние годы исследователи приступили к более детальным измерениям поля СТ в сейсмоактивных регионах.

Так, Друта проводил регулярные гравиметрические измерения в течение двух лет. Измерения проводились с помощью высокоточного гравиметра "Аскания" с чувствительностью $\pm 1,5$ мк Гал. При обработке данных с помощью стандартной программы вводил поправку за приливы. Анализ

данных за два года показал, что землетрясения ($2 < M < 4$, где M - магнитуда землетрясения), произошедшие в радиусе ~ 100 км от гравитационной аномалии были отрицательными, а землетрясение происходило всегда после достижения аномалией минимума. Длительности аномалий составили 1,5-10 сут., а их амплитуды - 15-200 мк Гал.

Гравитационная аномалия наблюдалась перед Таньшанским землетрясением в Китае 28 июля 1976 года ($M=7,8$). Аномалия возникла за 2,5 года за землетрясения.

Краткосрочный гравитационный эффект наблюдался в Армении за 6-8 сут. до землетрясения 16 сентября 1970 г. на записях двух гравитационных вариометров. По времени проявления гравитационные предвестники можно разделить на долго-средне и краткосрочные. Для долгосрочных предвестников (25 значений) рассчитана зависимость времени проявления предвестника от магнитуды землетрясения:

$$\lg \Delta T = 0,47M - 3,19 \pm 0,21$$

где ΔT - в годах, M - магнитуда землетрясения. Коэффициент корреляции составляет $r=0,93 \pm 0,01$.

Время проявления гравитационного предвестника оценивалось с момента устойчивого превышения измеряемой величиной СТ двух среднеквадратичных отклонений от среднегенерального значения до момента землетрясения.

На рисунке показаны магнитудные зависимости ΔT для различных предвестников. Пунктиром дана зависимость для гравитационного предвестника, отдельными точками на графике нанесены среднесрочные и крестиками - краткосрочные гравитационные предвестники. Зависимости для них построить не удалось из-за недостаточного количества данных.

Как видно из рисунка, для разрушительных землетрясений ($M \geq 6$) времена проявления гравитационных предвестников на порядок меньше времен проявления предвестниковых деформаций и движений земной коры и близки к временам проявления радионовых предвестников, а также к предвестникам по вариациям электросопротивления, уровня подземных вод и дебита источников. Таким образом, гравитационные предвестники возникают по прошествии не менее 0,9 временного интервала проявления деформационного предвестника, т.е. на стадии сильно развитых предвестниковых деформаций.

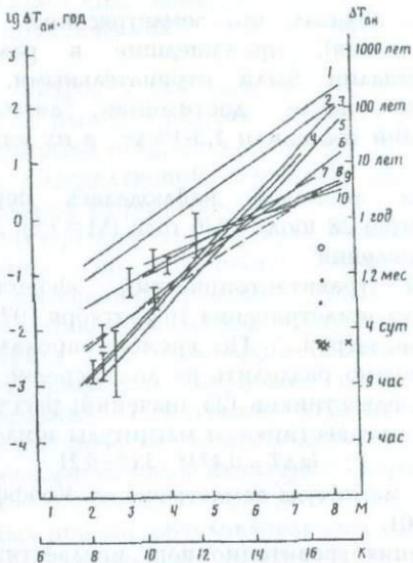


Рис. Магнитудные зависимости времени возникновения долгосрочных предвестников землетрясений: 1- Периоды повторения землетрясений (М.А.Садовский); 2- максимальные времена возникновения предвестников; 3 - деформации и движения земной коры; 4 - геомагнитное поле; 5 - вариации сейсмического режима; 6 - характеристики распространения сейсмических волн; 7 - содержание радона; 8 - электросопротивление; 9 - уровень воды; 10 - дебит источников; пунктир - гравитационные предвестники.

Величина гравитационного эффекта в очаговой области землетрясения, моделируемой цилиндром высотой H и радиусом R на стадии накопления деформаций сжатия, определяется выражением:

$$\Delta g = 2 \cdot \pi \cdot G \cdot \rho \cdot [1 - \partial(1 - 2\partial)] \cdot \frac{\sigma}{E} \cdot R \cdot \phi\left(\frac{H}{R}\right)$$

где:

$$\phi\left(\frac{H}{R}\right) = 1 + \frac{H}{R} - \sqrt{1 - \left(\frac{H}{R}\right)^2}$$

Подводя итоги, необходимо отметить, что приведенные теоретические соображения нуждаются в дальнейшей экспериментальной проверке и уточнении. Различие между теоретической и экспериментальной величины изменения СТ может быть вызвано в частности, тем, что теоретическая оценка получена для деформаций в упругой среде, в то время как в реальных горных породах в процессе подготовки землетрясения проявляются как упругие, так и неупругие деформации.

Глава IV. МОДЕЛЬ ГРАВИТАЦИОННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ

Современные модели Земли можно разделить на оптимальные и стандартные. Модель Земли (или иная модель) может быть оптимальной только по отношению к рассматриваемой совокупности данных. С появлением новых данных модель может оказаться уже не оптимальной. Следовательно, задача отыскания оптимальной модели - это то же самое, что задача отыскания модели или моделей, согласующихся наилучшим образом с данными, имеющимися к настоящему времени.

Некоторые исследователи, рассматрившие модели строения Земли в чисто акустическом аспекте, сомневались, что возможно отыскать оптимальную сферически - симметричную модель. Их сомнения были связаны с тем что существование горизонтальных неоднородностей приводит к целому ряду затруднений, а сами неоднородности известны довольно плохо.

Однако, они не учитывали следующие важные обстоятельства.

Во-первых при помощи статистических методов можно определить взвешенное среднее в случаях, когда в используемых данных имеются пробелы или когда данные содержат значительные погрешности. Главная цель статистики состоит в создании методов, при помощи которых в условиях неполноты информации можно прийти к наилучшим результатам.

Во-вторых, сферически - симметричная модель нужна не только для акустических процессов. В-третьих, для моделей, не обладающих сферической симметрией (не считая эффектов, связанных со сжатием Земли), напряженное состояние нельзя описать одним параметром, а имеющиеся данные не позволяют оценить распределение девиаторные части напряжения.

Поэтому, мы считаем, что в настоящее время основная задача состоит в выборе сферически-симметричной модели, близкой к оптимальной.

В геофизике под моделью Земли понимают как бы разрез нашей планеты, на котором показано, как меняются с глубиной такие ее важнейшие параметры, как плотность, ускорение силы тяжести, давление, скорости акустических волн, температура, электропроводность и другие.

Ниже излагается попытка объяснения глобальной структуры Земли. Для этого вводится представление о типе структуры. Здесь пойдет речь о распределении в недрах Земли плотности и ускорения силы тяжести.

Как известно, однородный сферический слой не создает внутри себя гравитационного поля. Тогда получается, что ускорение свободного падения g должно убывать как при поднятии над поверхностью сферической планеты, так и при погружении вглубь, достигая

наибольшего значения на поверхность планеты. Однако реальные данные для Земли свидетельствуют об ином: наибольшего значения с достигает внутри Земли, на глубине примерно 2900км.

Это расхождение объясняется неоднородностью Земли - увеличением ее плотности от поверхности к центру. По мере увеличения глубины погружения плотность, вообще говоря, возрастает монотонно, но на отдельных участках, например, на границе земной коры и мантии, а также мантии и ядра, плотность меняется резко, скачком.

Модель линейного убывания плотности Земли дает значительно лучшее согласие с опытом, чем модель однородной Земли.

Глава V. ИСКРИВЛЕНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ

Принципиально новый путь объяснения геотектонических процессов представляет собой теорию тектоники плит. Для модели тектоники плит весьма существенным моментом является то, что из всего объема Земли только ее внешняя тонкая оболочка - литосфера, сохраняет жесткость в течение геологических промежутков времени. Породы литосферы имеют низкую температуру и поэтому не претерпевают значительных деформаций в течение временных интервалов вплоть до 10^9 лет. Под литосферой же расположены породы, которые наоборот, имеют достаточно высокую температуру, и поэтому в них может идти процесс твердотельной ползучести. Под действием внешних сил породы, подстилающие литосферу текут в геологических масштабах времени подобно жидкости.

По определению нижняя граница литосферы, ее подошва, является изотермой - поверхностью постоянной температуры. Температура в подошве литосферы приблизительно равна 1300°C . Породы, лежащие в Земле над этой изотермой, достаточно холодны и ведут себя как жесткий материал, в то время как нижележащие породы достаточно нагреты и легко деформируются.

Толщина литосферы составляет 2-4% радиуса Земли, и, следовательно, литосферу можно рассматривать как тонкую оболочку. Эта оболочка разбита на ряд плит, находящихся в движении друг относительно друга. На границах плиты, конечно, изгибаются, но жесткость их такова, что внутренние, удаленные от границ участки плит значительно не деформируются.

Свойство жесткости позволяет плитам в течение геологических промежутков времени передавать упругие напряжения. Плиты являются, так сказать, проводником напряжений. Напряжения, приложенные к границам плиты, могут передаваться во все внутренние ее области.

1951

Важным источником напряжений является взаимодействие плит, особенно столкновение. В зонах взаимодействий часто происходят колоссальные деформации холодных приповерхностных пород. Если эти деформации происходят на разломах, то могут достигаться высокие уровни напряжений и возникать сильные землетрясения.

Одним из важных целей исследования упругого поведения литосферы является определение ее напряженного состояния. Благодаря упругости литосферные плиты могут передавать напряжения на значительные горизонтальные расстояния.

Уравнение для смещения континентальной плиты имеет вид:

$$D \frac{d^4 W}{dx^4} + P \frac{d^2 W}{dx^2} + (\rho_m - \rho) \cdot g \cdot W = Q(x)$$

Непосредственной причиной землетрясений служит деформация земной коры. Эта деформация вызывает упругие напряжения в горных породах. В них возникают упругие напряжения, которые со временем постепенно увеличиваются. В тот момент, когда напряжение достигает предела прочности горных пород, происходит их разрыв, сопровождающийся выделением огромного количества накопившейся энергии.

Напряжения в земной коре, обусловленные гравитацией и тектоническими силами, приводят к движениям и деформациям, а в некоторых случаях - к разрывным нарушениям с внезапным высвобождением упругой энергии горных массивов. Поэтому чтобы перейти к уравнению колебаний литосферной плиты под действием переменной силы достаточно ввести в уравнение дополнительное слагаемое, учитывающее силы инерции.

Описанный метод, основанный на изучении смещений литосферы под нагрузкой, в общем случае является более надежным. Он позволяет получить непосредственно данные о деформационных свойствах среды по отношению к большим деформациям. Однако необходимо отметить, что в нижних слоях литосферы, где вязкость уменьшается с глубиной, постепенно происходит релаксация напряжений, которая захватывает все менее глубокие уровни. В результате та часть литосферы, которую можно считать упругой с течением времени сокращается по мощности. Поэтому рассматриваемый метод приводит к различным значениям мощности литосферы в зависимости от времени существования нагрузки.

Исследовано на устойчивость относительно прогиба литосферную плиту, к краям которой приложены горизонтальные силы.

Показано, что длина волны неустойчивости определяется формулой:

$$\lambda_k = 2\pi \left[\frac{Eh^3}{12(1-\delta^2) \cdot \Delta \rho g} \right]^{1/2}$$

Используя значение параметров литосферной плиты $h = 70$ км, $E = 1,6 \cdot 10^{11}$ Па, $\delta = 0,25$ находим:

$$\sigma_k \approx 11,5 \cdot 10^9 \text{ Па}, \lambda_k \approx 660 \text{ км.}$$

Следовательно, упругая литосфера, толщиной, $h = 70$ км, может, не теряя устойчивость, выдержать продольное сжимающее напряжение 10^{10} Па. Это чрезвычайно большое напряжение. Поэтому мы можем заключить, что литосфера прогибается не непосредственно под действием сжимающих напряжений, а, возможно, после ослабления вследствие разлома.

Расположение очагов землетрясений, сильно коррелирует с границами плит. Землетрясения происходят на всех границах между литосферными плитами; однако очень сильные землетрясения происходят практически только в зонах субдукции и в областях столкновений континентов. Бывают сильные землетрясения и в дали от границ плит, но они очень редки.

Источников напряжений в литосфере может быть несколько. Один из них - массовые силы, движущие плиты, по поверхности Земли. Изменения температуры служат источником термических напряжений. С увеличением или уменьшением температуры происходит тепловое расширение или сжатие породы, способные вызвать чрезвычайно большие напряжения. Другой источник напряжений - процессы эрозии, обуславливающие соответственно уменьшение или увеличение поверхностной нагрузки. Важным источником напряжений является взаимодействие плит, особенно столкновение континентов. В зонах столкновений континентов часто происходят колоссальные деформации. Если эти деформации происходят на разломах, то могут достигаться высокие уровни напряжений и возникать сильные землетрясения. Реальное напряженное состояние литосферы складывается из одновременного действия всех перечисленных, а также ряда других факторов.

Сейсмичность может также иметь место и во внутренних областях плит, поскольку свойства литосферы позволяют ей передавать большие напряжения, возникающие на границах. Внутриплитовые землетрясения происходят в тех местах, где меняются упругие характеристики литосферы и концентрируются напряжения.

Рассмотрен изгиб литосферной плиты под действием пространственно-периодической нагрузки, создаваемой весом форм рельефа.

Показано, что коротковолновой рельеф фактически не вызывает деформации литосферы. Для нагрузки с малой длиной волн литосферу

можно считать бесконечно жесткой. В противоположном предельном случае длинноволнового рельефа, т.е. результат совпадает с равенством, описывающим изостатическую компенсацию. Следовательно, нагрузке, создаваемой рельефом с достаточно большой длиной волны, литосфера не оказывает упротого сопротивления. Такая нагрузка полностью скомпенсирована гидростатическими силами, т.е. находится в состоянии гидростатического равновесия.

Рассмотренные колебания сферической литосферной оболочки под действием равномерно распределенной по поверхности радиальной нагрузки. Определены критическое давление и частота $2,5 \cdot 10^7 \text{ Па}, 10^{-3} \text{ с}^{-1}$.

Следовательно, если бы в литосфере и не было разломов, то под влиянием нескомпенсированных нагрузок очень небольшой величины такие разломы в ней неизбежно бы возникли. Нагрузка всего лишь $10^7 - 10^8 \text{ Па}$ уже способна сломать литосферу. Поэтому можно полагать, что нескомпенсированные нагрузки не могут существовать в течение длительного времени.

Подавляющее большинство землетрясений вызывается напряжениями в земной коре и литосфере, которые появляются в процессе различных движений в недрах Земли. Как правило, эти движения и деформации ведут к возникновению движений и деформаций поверхности земной коры. Эти движения могут быть изучены путем измерений на поверхности Земли или вблизи ее геолого-геоморфологическими и геофизическими методами.

Деформации или смещения поверхности Земли часто возникают под действием крупномасштабных тектонических сил. По этой причине измерение поверхностных деформаций является весьма важным источником сведений о фундаментальных геодинамических процессах. С этой точки зрения вопрос об неустойчивости литосферной плиты представляет определенный интерес.

Определена критическая длина волны, частота и напряжения соответственно получим: $\lambda \approx 300 \text{ км}$, $w_{\min} = 0,004 \text{ с}^{-1}$, $\sigma_k = 10^{12} \text{ Па}$.

Показано, что наибольшую ширину динамической неустойчивости имеет главная область литосферной плиты.

Скорости относительного движения плит по порядку величины составляют несколько сантиметров в год. Хотя эти скорости представляются нам незначительными, оказывается, что большая часть всех происходящих на планете землетрясений происходит именно в области гранях между плитами. Так что имеет смысл поставить задачу о гравитационно-механической модели взаимодействия литосферных плит.

Предлагаемая модель претендует на описание лишь определенной части зоны взаимодействия. Решая локальную задачу, мы вычленяем из общей картины отдельные блоки, заменяя из взаимодействия с другими тектоническими единицами, соответствующими граничными условиями.

Данная модель подразумевает жесткость пород литосферы, их упругое поведение в геологических масштабах времени и цилиндрический (двухмерный) характер вертикальных отклонений плиты.

Несомненно, что предположение чисто упругой реологии является существенным упрощением. При достаточно большом значении кривизны изгиба оно дает явно завышенные значения напряжений, при которых реальная плита скорее всего потеряет упругость на значительной части своей толщины. Упругая модель, тем не менее, дает, во-первых, верхнюю оценку для напряжений, и во-вторых, большая часть плиты, на расстоянии в несколько флексурных параметров от зоны субдукции, не претерпевает сильных деформаций и ведет себя абсолютно упруго.

Существуют аргументы в пользу понижения толщины упругой плиты. При подобной геометрии плиты ослабляется передача сдвиговых напряжений, возникающих на краю. Главный смысл, который мы видим в контроле чисто упругих напряжений, заключается в том, что такой контроль дает верхнюю оценку напряжений в плите и позволяет соотнести влияние различных граничных условий. Одно из очевидных причин существования граничных сил и моментов может быть наличие опускающихся блоков вещества, являющихся частью взаимодействующих плит. Горизонтальное давление, также может быть одной из причин возникновения эффективных моментов. Не исключено и влияние сил вязкого трения вследствие мантийной конвекции.

Глава VI. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛИТОСФЕРЫ И АСТЕНОСФЕРЫ

Для периодических колебаний, с периодами секунд, минут, часов и дней, астеносфера ведет себя как упругое твердое тело. Для движений же с периодами порядка десяти тысяч лет вещество астеносферы течет как жидкость. Жидкость с периодом релаксаций порядка десятков тысяч и механическими параметрами литосферы должна иметь очень большую вязкость – порядка 10^{24} Па·С. Вещество, обладающее такими свойствами, будет течь при нагрузках, действующих на протяжении тысячелетий, и реагировать как упругое твердое тело на периодические процессы в диапазоне от сейсмических волн до земных приливов.

Одним из наиболее значительных достижений сейсмологии стало безоговорочное признание того факта, что землетрясения порождаются разломами земной коры. В итоге возникает задача о взаимодействии вязкой астеносферы и вышележащей упругой литосферы.

Амплитуда смещения литосферы экспоненциально затухает с расстоянием от разлома. Расстояние, на котором смещение уменьшается в e раз, равна:

$$d = \left(\frac{2 \cdot h \cdot H \cdot \mu}{w \cdot \eta} \right)^{1/2}$$

При следующих значениях параметров: $h = 100\text{км}$; $H = 70\text{км}$; $\mu = 3 \cdot 10^{10}\text{ Па}$; $\eta = 4 \cdot 10^{19}\text{ Па}\cdot\text{с}$; круговую частоту $w = \frac{2\pi}{T}$ (Т - период) приложенного смещения на разломе вычислим по типичному значению $T = 150$ лет промежутка между сильными землетрясениями. $w = 1,33 \cdot 10^{-9}\text{ с}^{-1}$ получим: $d \approx 100\text{ км}$.

Мы нашли приближенное решение задачи о смещении литосферы, вызываемом периодическим смещением по разлому.

В итоге можно сказать, что если в результате процессов деформации в земных недрах возникает некоторое неустойчивое равновесие, то по аналогии с рассмотренным выше можно также ожидать медленных волновых движений.

Это напоминает ситуацию перед землетрясением, когда в результате тектонических подвижек возникает в некоторой области состояние, которое с течением времени все ближе подходит к неустойчивому равновесию.

Тогда очевидно, что по мере приближения к такому состоянию неустойчивого равновесия период возбуждаемых по каким-либо причинам медленных волновых движений будет увеличиваться.

Этот вывод дает нам возможность утверждать, что уменьшение частоты медленных волновых движений в области подготовки землетрясения может служить достаточно надежным краткосрочным прогнозистическим признаком, появление в некоторой области медленных волновых движений может указать на то, что эта область является очаговой.

При теоретическом исследовании процесса деформации Земной коры землетрясениями, естественно, моделировать взаимосвязанные движения упругой литосферы и постигающей его вязкоупругой астеносфера.

Рассматриваемая модель такова: под упругим слоем неограниченным в горизонтальном направлении и нагруженный с концов, расположена вязкоупругая астеносфера. Требуется определить смещения свободной поверхности литосферы и границы раздела между жидкой и упругой средами.

Конкретная задача решена в следующих предположениях:

- 1) система находится в поле силы тяжести,
- 2) упругая среда и жидкость - однородные идеальные, жидкость - несжимаемая, толщина упругого слоя всюду одинаковая,
- 3) смещения жидкости и упругой среды малые, так что справедливо линейное приближение,
- 4) движение жидкости описывается уравнениями ньютоновской вязкой жидкости.

Под действием нагрузки приложенной к концам упругого слоя, он начнет выгибаться. При изгибе литосферы искривляется и поверхность вязкой астеносферы. Отклонение упругой плиты может быть найдено как решение с распределенной нагрузкой

$$D \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + T \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = -2\eta \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\partial W}{\partial t}$$

где Т - нагрузка приложенной к концам упругого слоя. Показано, что величина времени на расстояние преобладающего возмущение, определяется выражением:

$$\tau = \frac{2 \cdot \eta}{\frac{2\pi}{\lambda} \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot D - T \right]}$$

Длину волны λ , соответствующую минимальному значению τ , можно найти приравниванием производной от τ по λ к нулю. В результате получается:

$$\lambda = 2\pi \left(\frac{3 \cdot D}{T} \right)^{1/2}$$

Это есть длина волны наиболее быстро растущего возмущения. Зависимость между длиной волны и толщиной слоя определяется уравнением:

$$\lambda = \pi \cdot h \cdot \left[\frac{E}{\sigma(1 - \delta^2)} \right]^{1/2}$$

где σ - напряжение в упругом слое, обусловленное приложенной к концам нагрузкой. Таким образом длина волны зависит от толщины упругого слоя и приложенной нагрузки. Подставляя в ($E \approx 10^{11}$ Па, $\sigma \approx 10^8$ Па, $\delta = 0,25$ и $h \approx 10^4$ км для толщины литосферы получаем $h \approx 100$ км. Принимая $D = 7 \cdot 10^{23}$ Н·м, $T \approx 10^{11}$ Па; $\rho \approx 3,3 \cdot 10^3$ кг/м³, $g = 9,8$ м/с², $\eta \approx 4 \cdot 10^{20}$ Па·с получаем промежуток времени между сильными землетрясениями $\tau \approx 170$ лет. Для времени преобладающего возмущение получаем: $\tau \approx 174$ лет, которая совпадает с промежутком времени между сильными землетрясениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационной работы выявлено, что динамика литосферных плит складывается из взаимодействия ряда механизмов, которые создают неустойчивость.

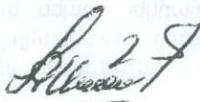
Конечной целью наших исследований является оценка поведения литосферных плит при геодинамических процессах. Завершен первый этап наших исследований, что позволило прийти нам к следующему заключению:

1. Анализ мировых литературных данных показывает, что одной из важнейших направлений исследования поведения литосферных плит является определение ее напряженного состояния. Это важно потому, что распределение напряжений ответственно за возникновение землетрясений. С этой точки зрения вопрос об устойчивости системы слоев т.е. литосфера и астеноносфера в поле силы тяжести представляет определенный интерес.
 2. Определены времена возникновения гравитационных предвестников землетрясений. Выделены долго-, средне- и краткосрочные предвестниковые эффекты, предшествующие землетрясениям.
 3. Времена возникновения долгосрочных гравитационных предвестников возрастают с магнитудой землетрясения.
 4. Предложен метод определения постоянных коэффициентов для времени деформационного предвестника в функции магнитуды землетрясения и эпицентрального расстояния.
 5. Модель линейного убывания плотности Земли больше подходит к модели, полученной экспериментальным путем, ежели модель однородной Земли, с которой наблюдаются расхождения.
 6. Упругая литосфера, не теряя устойчивости, может выдержать продольное сжимающее напряжение порядка 10^{10} Па. Однако литосферная плита может изгибаться, на наш взгляд и после ослабления вследствие разлома.
 7. При определении динамической неустойчивости литосферной плиты, было определено, что с точки зрения ее неустойчивости, наибольшую ширину имеет главная область.
 8. Определено критическое давление $0.25 \cdot 10^8$ Па и частота 10^3 с⁻¹, при которых динамическая устойчивость сферической литосферной плиты выдерживается, доходя до предела прочности.
- Следовательно, если бы в литосфере и не было разломов, то под влиянием нескомпенсированных нагрузок небольшой величины такие разломы в ней неизбежно бы возникли.
- Поэтому можно полагать, что нескомпенсированные нагрузки не могут существовать в течение длительного времени.

ասթենոսֆերայի և լիթոսփերայի առածքականության, խտության, ջերմադիմանիկական բնութագրերի փոփոխությունը և այլն: Դեֆորմացիոն պրոցեսների արդյունքում երկրի ընդերքում առաջանում է որոշակի անկայուն հավասարակշռություն, որը բերում է դանդաղ ալիքային շարժումների: Այն իիշեցնում է երկրաշարժերին նախորդող իրավիճակին և տեկունական տեղաշարժերի արդյունքում որոշակի տիրույթում ստեղծվում է նի վիճակ, որը ժամանակի ընթացքում ավելի ու ավելի է մոտենում անկայուն հավասարակշռության վիճակին:

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Давтян А.М., Ахвердян Л.А. Об одной модели изгиба литосферной плиты. Сборник научных трудов конф., посвящ. 90-летию со дня рождения основателя ИГИС НАН РА, академика А.Г.Назарова (1-4 июня 1998г., г. Гюмри). Изд. НАН РА, Гюмри, 1998, стр.363-366.
2. Давтян А.М. Модель линейного убывания плотности Земли. Сборник научных трудов конф., посвящ.90-летию со дня рождения основателя ИГИС НАН РА, академика А.Г.Назарова (1-4 июня 1998г., г. Гюмри). Изд. НАН РА, Гюмри, 1998, стр.360-362.
3. Давтян А.М., Ахвердян Л.А. О свойстве функции скорости изменения плотности момента дислокационных источников и сейсмические волны в дальней зоне. Сборник научных трудов конф., посвящ. Памяти кандидата геолого-минералогических наук А.Г. Бабаджаняна. 12-14 октября 1999г., Гюмри, стр.149-159.
4. Давтян А.М., Ахвердян Л.А. Определение динамической неустойчивости сферической литосферной плиты. Сборник научных трудов конф., посвящ. 40-летию основания ИГИС НАН РА им. А.Назарова (9-12 октября 2001г., г. Гюмри). Изд. "Гитутюн" НАН РА, 2002г, стр.44-54.
5. Давтян А.М., Ахвердян Л.А. Динамическая устойчивость сферической литосферной плиты. Сборник научных трудов конф., посвящ.40-летию основания ИГИС НАН РА им. А.Назарова (9-12 октября 2001г., г.Гюмри.) Изд. "Гитутюн" НАН РА, 2002г, стр.39-43.
6. Hakhverdyan L.A., Davtyan A.M. Determination of Areas Dynamic Instability Sperical Lithosphere of a Plate. ASC 2000. Abstracts. Third meeting of Asian Seismological Commission and Earth Interior Related Topic. October 10-12,2000. Tehran, I. R. Iran, p.10.



27

1957