**Природа и проявление геотектонических процессов: сейсмическая и вулканическая активность**

Курсовая работа

Московская Государственная Технологическая Академия

Москва 2003 год

**Введение**

Сейсмология изучает землетрясения, их механизмы и последствия, распространение сейсмических волн, а также все виды движений земной коры, которые регистрируются сейсмографами на суше и на дне океанов и морей. Наиболее активные землетрясения наблюдаются в ослабленных зонах вдоль границ тектонических плит. При этом возбуждаются три типа сейсмических волн: продольные (P), поперечные (S) и поверхностные (волны Лява и Рэлея). Сильные землетрясения могут также возбуждать свободные колебания всей Земли.

Сейсмические методы используются для изучения внутреннего строения Земли в целом и ее структуры на разных глубинах. Следует отметить, что на основе результатов сейсмических исследований установлено, что Земля состоит из ядра, мантии и земной коры. Использование цифровых сейсмографов сыграло огромную роль в изучении земных недр и позволило регистрировать землетрясения. По данным об изменениях скоростей волн была составлена трехмерная схема строения мантии. Структура верхней мантии, определяемая по скоростям сейсмических волн, различна для районов срединно-океанических хребтов и материков и соответствует распределению теплового потока. Сходная картина в изменениях скоростей волн отмечается и в нижней мантии, однако они не коррелируют с макрорельефом поверхности Земли.

В некоторых районах земного шара магма во время вулканических извержений изливается на земную поверхность в виде лавы. Многие вулканические островные дуги, по-видимому, связаны с системой глубинных разломов. Центры землетрясений располагаются примерно на глубине до 700 км от уровня земной поверхности, т.е. вулканический материал поступает из верхней мантии. На островных дугах он часто имеет андезитовый состав, а поскольку андезиты по своему составу сходны с континентальной земной корой, многие геологи считают, что континентальная кора в этих районах наращивается за счет поступления мантийного вещества.

Вулканы, действующие вдоль океанических хребтов (например, Гавайского), извергают материал преимущественно базальтового состава. Эти вулканы, вероятно, сопряжены с мелкофокусными землетрясениями, глубина которых не превышает 70 км. Поскольку базальтовые лавы встречаются как на материках, так и вдоль океанических хребтов, некоторые геологи предполагают, что непосредственно под земной корой существует слой, из которого поступают базальтовые лавы

**II. Фон сейсмической активности.**

Определение уровня фона сейсмической активности – это один из самых сложных вопросов. Именно с ним связаны ошибки и противоречия, иногда встречающиеся в нашей информации, особенно в начале нашей деятельности. Пример «первого блина комом» вышел 2 февраля 2000 г. Главная проблема здесь состоит в том, что для точного выделения «фона», необходимо зафиксировать хотя бы несколько извержений, тогда станет ясно, что такое «выше фона». Поэтому, только постепенно набираясь опыта, возможно, получить точное определение.

В настоящее время дежурные операторы делят всю возможную сейсмическую активность на две категории: 1) фоновая; 2) выше фона. Деление производиться на качественном уровне с учетом накопленного опыта. Понятие «фоновая» означает, что подобная сейсмическая активность уже была в практике регистрации, и она, во-первых, не сопровождала проявления вулканической активности представляющие реальную опасность (пепловые выбросы, лавовые потоки, лавины из раскаленного материала) и, во-вторых, не стала предвестником подобной вулканической опасности. Понятие «выше фона» включает все оставшиеся и в том числе еще ни разу незарегистрированные случаи проявления сейсмической активности. Все оценки опираются на данные двух баз. Первая – это база вулканических землетрясений . Главными фиксируемыми параметрами для каждого землетрясения выступают время в очаге, координаты эпицентра, глубина гипоцентра и энергетическая оценка силы землетрясения (пока класс по s-волне). Эта количественная база позволяет делать количественные оценки и, следовательно, является единственным вариантом получения оценок вулканической опасности формализованным путем и, может быть, в будущем в автоматическом режиме. Но до этого еще очень далеко, и главная проблема – это недостаточное количество станций. (Необходимо как минимум 4-5 станций, необязательно трех- или четырехканальных, на одном вулкане с удалением от кратера от 1 до 10 км). Поэтому в настоящее время большую роль играет вторая «качественная» база наблюдений . Главной ее опорой является архив зарегистрированных сейсмических сигналов сопоставленных во времени с данными визуальных наблюдений за вулканической активностью, а в последнее время еще добавились и спутниковые наблюдения. В данной базе фиксируются по возможности некоторые количественные параметры, такие как время, амплитуда и продолжительность сигналов, но положение источника сигнала всегда оценивается с большой долей условности. Поэтому и оценки носят вероятностный, качественный характер. Но большой накопленный опыт позволяет в целом делать правильные выводы о вулканической опасности на подобного рода данных сейсмологических наблюдений. Фиксирование количественных значений позволяет устанавливать корреляционные связи между зарегистрированными сигналами и проявлениями вулканической активности, например: зависимость высоты пепловых выбросов от амплитуды сигнала и, следовательно, оценивать масштабы извержения в целом. Такие данные являются часто единственным источником информации о вулканической опасности, когда другие наблюдения невозможны. Приведем некоторые значения по определению «фоновой сейсмичности», которые используются дежурным геофизиком в настоящее время для разных вулканов. При этом для всех вулканов, если регистрируются сейсмические сигналы свидельствующие о вулканической активности (вторая «качественная» база фиксирующая дрожание, сейсмические события, сопровождающие пепловые выбросы, пирокластические потоки и т.д.), то сейсмичность считается «выше фоновой». Если на вулкане регистрируются только землетрясения непосредственно из постройки или под постройкой (обычно до глубины 5 км), которые возможно обработать и зафиксировать в первой количественной базе, то верхняя граница уровня фона для различных вулканов определяется условно следующим образом:

-5Вулканы Авачинский и Корякский – 5 землетрясений больше 4 класса за сутки или 2 землетрясения больше 5 класса за сутки. Для района Авачинско-Корякской группы вулканов полный каталог существует с 1994 года, но никаких проявлений вулканической активности за этот период зафиксировано не было, поэтому точно определить, что такое «выше фона» невозможно. Но зато 6 летний опыт позволил опровергнуть ложные тревоги, что уже достижение.

Вулкан Ключевской – 10 землетрясений больше 4 класса за сутки или 5 землетрясений больше 5 класса за сутки или 3 землетрясения больше 6 класса за сутки. Для Ключевского вулкана полная база вулканических землетрясений существует в КОМСП с 01.01.1999 г. Но пока только в 1999 г на этом вулкане были зафиксированы небольшие (2-3 км) пепловые выбросы, несмотря на высокую относительно других вулканов сейсмическую активность. Привлечение данных полученных до 1999 г. во многом поможет более точно определить уровень фона.

Вулкан Безымянный – 5 землетрясений больше 4 класса за сутки или 2 землетрясения больше 5 класса за сутки. В 1999-2000 г. зафиксировано 3 извержения, что позволило определить такой порог. Возможно такой, относительно других пониженный, порог может быть следствием высокой активности вулкана или относительно небольших размеров(?).

Вулканы Шевелуч, Карымский, Горелый, Мутновский – тоже активные вулканы, но региональная сеть позволяет регистрировать землетрясения только больше 5.5-6 класса, что недостаточно. Поэтому определение «фона» на данных базы вулканических землетрясений невозможно. В настоящее время сейсмичность для этих вулканов определяется практически по одной станции, и главный упор делается на «качественную» базу.

Для других активных вулканов удаление до ближайшей станции составляет более 20 км, что не позволяет следить за сейсмической активностью этих вулканов.

**III. Изучение сейсмической активности.**

Сейсмический процесс есть один из видов геотектонических процессов, обладающих свойством автомодельности. Землетрясения являются проявлением самоорганизующегося энергообмена блочно-иерархичной горной породы с внешней средой. Новые представления о сейсмическом процессе требуют радикального изменения методов лабораторного эксперимента. В качестве примера нового подхода к эксперименту обсуждаются результаты одно и двуосного нагружения в режиме постоянства скорости деформации бетонной модели, которая, благодаря наличию имитаторов структуры тектонического разрыва, расчленялась на агрегат блоков. В том же режиме нагружения блочная модель излучала квазипериодические акустические импульсы, сопровождающиеся частичным сбросом нагрузки и скачками локальных деформаций. Эти импульсы предлагается рассматривать как аналоги сильных землетрясений, а их квазипериодическую последовательность как аналог сейсмического процесса.

Методология лабораторного сейсмического эксперимента основывается на существующих представлениях о природе сейсмического процесса. До недавнего времени эти представления были связаны с понятиями сплошности линейной упругости геофизической среды – горной породы.По существу дела понятие о сейсмическом процессе практически не использовалось – ученые сейсмологи занимались исследованием самого землетрясения, трактуя его как образование и развитие трещины, нарушающей сплошность среды.Однако, за последнее десятилетие работы, посвященные новой блочно-иерархической модели геофизической среды , существенно изменили методологическую основу сейсмологии. Сейчас большинство сейсмологов признают, что сейсмический процесс есть один из видов геотектонических процессов, развивающихся во времени и состоящих из последовательности различных этапов, связанных друг с другом и характеризуемых определенной временной последовательностью. Есть основания думать, что сейсмические циклы входят в общую иерархию геофизических циклов, свидетельствуя о том, что автомодельность свойственна широкому классу геолого-геофизических самоорганизующихся процессов.

Естественно, что столь радикальные изменения в понимании задач сейсмологии должны были бы

-6отразиться и на лабораторных исследованиях в этой области. Однако пока что существенных изменений не произошло. По-прежнему здесь царит идея, что землетрясение есть образование трещины в сплошном массиве горной породы, тогда как, по новым представлениям, землетрясения происходят в блочной среде, горной породе, расчлененной трещинами. Горная порода, в которой развивается сейсмологический процесс не разрушается, она остается неизменной сложной блочно-иерархической системой в целом, не меняющей своих свойств. Землетрясения являются одним из проявлений самоорганизующегося процесса энергомассобмена горной породы с окружающей внешней средой. В расчлененную трещинами блочную горную породу извне втекают жидкости и газы,из недр земных поступает энергия в виде тепла, упругости, возникающей при геотектонических движениях и т.п.

Среда, горная порода, приспосабливается в процессе энергомассобмена, самостоятельно изменяя свою структуру, отдельные блоки несколько смещаются друг относительно друга, консолидируются в агрегаты из нескольких (иногда очень многих) блоков, реагирующих на внешние воздействия, как единое целое; наоборот, уже существующие агрегаты блоков могут разрушаться, распадаясь на несколько более мелких. Важным обстоятельством является то, что все эти процессы приспособления, протекающие в геофизической среде, происходят вблизи от некоторого положения равновесия, определяемого неким средним состоянием ее энергоемкости. Это состояние для такого огромного тела, каким является Земля, практически со временем не меняется (постоянно по крайней мере в течение миллионов лет). Об этом свидетельствует постоянство местоположение сейсмических очагов, обнаруживаемое из исторических данных (примерно за 2 тысячелетия).

Сотрудниками Института О.И.Гушенко, А.О.Мострюковым и В.А.Петровым разработан комплекс программ и рассчитаны карты полей напряжений земной коры Альпийского складчатого пояса на участке от Греции до Афганистана и впервые выявлена «блочность» структуры современного поля напряжений, отражающая, по-видимому, сложный процесс переработки тектонического плана региона и, несомненно, определяющая характер сейсмического процесса .

Исходя из изложенного, следует, что новые представления о сейсмическом процессе требуют радикального изменения методов лабораторного сейсмического эксперимента. Не вдаваясь в подробности, которые могут быть разработаны только при выполнении самих экспериментов, остановимся на важнейших условиях. Опыты должны ставиться так, чтобы образец, разрушаясь, не разваливался. Этого можно добиться, либо помещая его в прочную обойму, либо прикладывая усилие к малой части поверхности образца очень большого размера. Можно сказать, что изучение должно начинаться именно тогда, когда образец уже расчленен трещинами.Если, например, изучается образец (уже раздавленный) заключенный в обойму, то, последовательно изменяя нагружение, надо следить за акустическими, электромагнитными и др. эффектами во времени. Возможно, исследовать влияние поровой жидкости при постоянном нагружении и т.д. и т.п. В этих случаях мы имеем дело со средой, структура которой сформировалась в процессе разрушения сплошного образца.

Возможен также другой подход. В обойму закладывается предварительно раздробленный материал. В этом случае, объектом изучения является процесс консолидации (уплотнения) материала и его поведение на последующих стадиях нагружения (деформирования); разрушение, повторная консолидация и т.д.В качестве примера экспериментов по первому варианту предлагаем результаты исследований, проведенных в Обсерватории Борок лабораторией 512 ИФЗ АН на управляемом прессе. В бетонном блоке с размерами 30\*20\*10 см плексигласовыми пластинами имитировалось часто встречаемая в природе структура сочленения кулис глубинного разлома (вариант тектонической перемычки) .

Эксперименты проводились в режиме жесткого одно-двуосного нагружения с постоянной скоростью деформации 10-6 степени сек –1. Каждую секунду фиксировались: величина общей нагрузки (F), сближение пунсонов пресса (Cont.) величина прямо пропорциональная интегральной деформации модели; акустическая эмиссия, смещение берегов имиторованых трещин и локальные деформации в десяти точках модели.

В процессе систематического накопления интегральной деформации бетонный блок за счет роста хвостовых трещин отрыва растрескивался как минимум на четыре одномасштабные части, что контролировалось излучением акустической эмиссии. Как было установлено в эксперименте, и в закритическом состоянии модель (агрегат блоков) излучала акустические импульсы, основной особенностью которых является их регулярная повторяемость . Период повторяемости импульсов в серии экспериментов составлял от 40 до 120 сек. И явно зависел от заданной скорости интегральной деформации. Каждое возникновение импульса сопровождалось скачкообразным смещением берегов имитированных трещин, величины которого в пересчете на деформацию составляли 10-4 степени. Поведение кривых---- и ---- свидетельствует, что перед излучением импульса сопротивление среды резко возрастает. В процессе излучения происходит частичная потеря устойчивости,что подтверждается и скачками деформаций, а затем идет сложный процесс восстановления несущей способности агрегата блокой.Отличие экспериментов при одноосном нагружении заключается в том, что квазипериодическое акустическое излучение возникает раньше, чем при двуосном нагружении, т.е. уже на стадии упругопластического нагружения (Рис.2).Оценка энергии акустических импульсов по методике С.Д.Виноградова 5 дала результат 1.0-10.0 эрг. По формуле М.А.Садовского периоды повторяемости импульсов должны быть в пределах 45-100 сек.,что соответствует данным эксперимента.Следовательно, можно предположить, что зарегистрированное явление находится в общем, ряду свойств блочной среды.

В земных условиях по геологическим и инструментальным данным порядок скорости деформирования земной коры оценивается как 10-6 степени год-1. Т.к. в эксперименте мы задавали скорость 10-6 степени сек-1, то в первом приближении можно считать, что секунда в эксперименте эквивалентна году в природных условиях, т.е. акустические импульсы являются аналогами землетрясений с магнитудами 7 и выше, для которых периоды повторяемости превышают 40 лет. В большинстве случаев после основного импульса наблюдаются серии афтершоков, в редких случаях – форшоки.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что именно такие импульсы,их последовательности и стадии деформирования среды в промежутках между вспышками акустической эмиссии и должны быть объектами лабораторных исследований.Здесь важным может оказаться не только слежение за перечисленными выше параметрами, но и детальная расшифровка высокочастотного акустического фона – аналога сейсмического фона регионов.

При всём многообразии геотектонических моделей, построенных в плане классических представлений так называемых «фиксистов» и «мобилистов», фундаментальные вопросы общей геодинамики, геоморфологии и вопросы исторической геологии, в принципе, пока что не получили решения. До сих пор науке неведома природа структур океанических впадин и материков, имеющих разительное отличие друг от друга.

Наряду с тем, существуют вопросы динамического свойства. Учёным совершенно не ясно, куда движутся и движутся ли материки вообще, а если движутся, то за счёт действия каких сил и источников энергии. Широко распространённое предположение о том, что причиной движения земной коры служит тепловая конвекция, по сути, неубедительно, ибо оказалось, что такого рода предположения идут вразрез с основными положениями многих физических законов, экспериментальных данных и многочисленных наблюдений, включая данные космических исследований о тектонике и строении других планет. Реальных схем тепловой конвекции, не противоречащих законам физики, и единого логически обоснованного механизма движения вещества, одинаково приемлемых для условий недр звёзд, планет и их спутников, до сих пор не найдено.

Ниже мы рассмотрим непротиворечивую схему образования и эволюции земной коры, а равно, твёрдых оболочек других планет и их спутников, построенную вне связи и без привлечения механизма тепловой конвекции, наличие которой, фактически, оказывается вовсе необязательным для нормального развития небесных тел любого иерархического уровня.

Из сочетания разного рода атомов химических элементов, спонтанно возникающих в недрах пра-Земляного космогенного вихря (а равно, в недрах иного небесного объекта шарообразной формы), образуется «перегретое» вещество (магма). Вся эта субстанция формируется из «новоявленных» атомов сразу же по выходу их из южного зеркала адиабатической магнитной ловушки, представляющей торцевую часть космогенного вихря, и оттуда данная субстанция начинает свой путь уже в новом своём качестве. Ориентируясь по ходу простирания силовых линий геомагнитного поля, вся масса «перегретого» вещества, постепенно переходит в сферическую часть магнитного диполя, внедряясь в неё, и здесь, как бы растекаясь по сфере, вещество, удерживаемое магнитным каркасом, медленно течёт от одного геомагнитного полюса к другому, соизмеряясь с

направлением магнитных меридианов. Естественно, что какая-то часть вещества, составляющего сферу, может оказаться вблизи поверхности.

На ранней, до-геологической стадии развития Земли из этой части вещества формировались толщи, относительно быстро остывающей верхней мантии, поверх которой со временем образовались ещё две, значительно более холодные оболочки – кристаллическая кора и перенасыщенная водяным паром атмосфера. Из последней, постепенно конденсируясь, выпадала вода, образуя толщи единого Мирового океана. Таким образом, к концу до-геологической стадии развития Земли, вся поверхность нашей планеты оказалась полностью покрытой водой.

Вместе с тем, в области южного сопла, в районе современного материка Антарктида, продолжалась весьма активная вулканическая деятельность. Целые моря лавы исторгались из недр вихревого образования (ядра) планеты, выдавливаясь на поверхность своеобразного раструба – так называемого южного сопла, и здесь из этой субстанции формировались структуры основания (фундамента), единственного в то время пра-материка, одиноко возвышающегося над уровнем Мирового океана, что сразу же определило существующую и поныне асимметрию полюсов [рис.1] [ 2] [3].

Именно здесь, у южного полюса, в условиях пространства, ограниченного водой Мирового океана, формировались «докембрийские» толщи кристаллических пород пра-материка, имеющих ряд специфических отличий от структур, образовавшихся в последующее время за пределами поверхности южного сопла. Именно здесь, в чрезвычайно сложных и неповторимых физико-динамических и климатических условиях, соизмеримых с условиями гигантского котла с кипящей кашей, могли сформироваться натёчные формы рельефа, представляющие ныне так называемые докембрийские купола, обширные блюдцеобразные депрессии и иного рода «экзотические» элементы тектоники «докембрия», поражающие ученых своим обилием и неповторимостью облика. Именно здесь, в условиях невиданно высокой магматической активности и повышенной миграции весьма агрессивных горячих газов и высокотермальных водных растворов, насыщенных калием, натрием, радиоактивными элементами и проч., формировались толщи гранитов и «древних» осадочно-метаморфических комплексов – свидетельств яркой и неповторимой эпохи раннего развития континентов Земли, эпохи становления их оснований (фундаментов).

В течение отрезка времени, продолжительностью около 700-800 млн. лет, в области южного полюса Земли поочерёдно наслаивались структуры материковых оснований массивов – лидеров и аутсайдеров. Лидеры – Канадская платформа, Восточно-Сибирская и Восточно-Европейская. Аутсайдеры – все остальные. Завершился процесс – образованием массива Восточная Антарктида [рис. 4].

Одинаковость физико-химических, динамических, климатических и прочих условий, которые существовали в области южного полюса на всём протяжении отрезка времени, пока формировались основания (фундаменты) материковых платформ-лидеров, а затем и аутсайдеров, привело в конечном итоге к одинаковости некоторых геологических признаков, по которым сейчас пытаются идентифицировать так называемые докембрийские комплексы.

Под воздействием двух противоположно направленных широтных сил А и А' (Кориолиса силы и «волн натяжения») и так называемой Непреодолимой силы – В, определяющей межполярное, с юга на север, течение вещества мантии [рис. 1], пра-материк раскалывался на отдельные блоки фундаментов материковых платформ. Вновь формирующиеся структуры отчленялись от южного пра-материка и, по мере того, уплывали вместе с уносимым их течением мантии в направлении северного полюса. Общая последовательность такого движения определялась условием сохранения динамической балансировки вращающегося геоида. Пра-материк при этом раскалывался на три части (ветви), и каждый обломок, в соответствии с принципом обеспечения балансировки планеты, вынужден был двигаться по своей индивидуальной траектории, общий вид которой имеет сходство с линией архимедовой спирали. Таким путём сформировалось три цепочки («ветви») материковых массивов, условно названных – левой, центральной и правой [ рис.2 ] [3 ] [4]. Левую ветвь составили Североамериканская (Канадская) платформа (включая о. Гренландию) и Южноамериканская. Правую ветвь образовали Восточносибирская платформа, Китайско-Корейская и Австралийская. И, наконец, Восточноевропейская, Индостанская и «параллельная» ей Африканская платформы, а так же структуры Восточной Антарктиды – составили одну общую ветвь – центральную.

В южном полушарии траектории движения материковых платформ, составляющих ветви, расходятся веером, следуя от южного полюса в северо-западном направлении (левая ветвь) и на северо-восток (центральная и правая ветви). В северном полушарии линии всех трёх ветвей сходятся от экватора к северному полюсу, закручиваясь в одном направлении [рис.1 ] [2] [3] .

В зависимости от характера простирания участка криволинейной траектории, по которой движется материковый массив, меняется величина угловой скорости и направление нормального (синхронного ) вращения массива. А от этого меняется общий вид и характер взаимодействия массива со структурами, его окружающими. Как правило, на стадии изначального разобщения материковых оснований в области южного полюса, их вращение происходит с разной угловой скоростью и в разных направлениях (то есть, происходит взаимодействие по принципу разновеликих вращающихся зубчатых шестерён). А это означает, что наиболее существенные структурные изменения возникают, изначально, в сопредельных областях самих оснований. В результате чего у всех ранее взаимодействующих массивов происходила соответствующая подгонка профиля (выблоковка) смежных кромок и преобразование их до вида противолежащих профилей, то есть, когда выступ одного блока точно входит в выемку другого (см. контуры материковых платформ на рис. [2] [3] [4].

После того, как закончится разобщение материковых оснований каждый массив переходит в режим автономного плавания (межполярного дрейфа). Однако общий характер дрейфа зависит от влияния множества побочных факторов, определяемых действием разного рода законов механики, в том числе законами гидродинамики (движения текучих сред и их взаимодействия с твёрдыми телами). К примеру, общий характер изменения скорости движения основания материкового блока зависит не только от места его положения на геосфере, но и от величины общей массы материка, от размеров частей его составляющих, от величины «корней» (погружённой части материка, определяющей величину «парусности») дрейфующего массива и т.д.

Вместе с тем от величины скорости дрейфа («поступательного» движения) зависит величина угловой скорости собственного (синхронного) вращения дрейфующего массива. А направление такого вращения зависит от принадлежности массива к конкретной ветви материковых платформ, то есть от характера простирания их траекторий, и т.д. В свою очередь характером движения и вращения материкового массива, определяется процесс сжатия прибрежных структур и образования горных складок вдоль активной (фронтальной) кромки периметра блока. И, одновременно, определяется процесс образования структурных нарушений, связанных с растяжением или сдвигом (сколы, смещения, разрывы, и т.д.), на тыльной стороне периметра вращающегося массива.

Полное представление об этих и других видах движения материковых массивов (вытекающих из данной концепции), может служить реальной базой для определения (прогноза) мест концентрации механических напряжений и, значит, определения очагов землетрясений, для любого региона земного шара. А полное знание законов образования и развития литосферы Земли, может способствовать более точному определению условий образования и характера залегания полезных ископаемых, и способствовать решению других фундаментальных проблем геологии и геофизики.

**IV.Вулканы и вулканическая активность**

Вулканы, отдельные возвышенности над каналами и трещинами земной коры, по которым из глубинных магматических очагов выводятся на поверхность продукты извержения. Вулканы обычно имеют форму конуса с вершинным кратером (глубиной от нескольких до сотен метров и диаметром до 1,5 км). Во время извержений иногда происходит обрушение вулканического сооружения с образованием кальдеры  крупной впадины диаметром до 16 км и глубиной до 1000 м. При подъеме магмы внешнее давление ослабевает, связанные с ней газы и жидкие продукты вырываются на поверхность и происходит извержение вулкана. Если на поверхность выносятся древние горные породы, а не магма, и среди газов преобладает водяной пар, образовавшийся при нагревании подземных вод, то такое извержение называют фреатическим.

К действующим относятся вулканы, извергавшиеся в историческое время или проявлявшие другие признаки активности (выброс газов и пара и проч.). Некоторые ученые считают действующими те вулканы, о которых достоверно известно, что они извергались в течение последних 10 тыс. лет. Например, к действующим следовало относить вулкан Ареналь в Коста-Рике, поскольку при археологических раскопках стоянки первобытного человека в этом районе был обнаружен вулканический пепел, хотя впервые на памяти людей его извержение произошло в 1968, а до этого никаких признаков активности не проявлялось.

Вулканы известны не только на Земле. На снимках, сделанных с космических аппаратов, обнаружены огромные древние кратеры на Марсе и множество действующих вулканов на Ио, спутнике Юпитера.

**V. Распространение вулканической активности**

Распределение вулканов по поверхности земного шара лучше всего объясняется теорией тектоники плит, согласно которой поверхность Земли состоит из мозаики подвижных литосферных плит. При их встречном движении происходит столкновение, и одна из плит погружается (поддвигается) под другую в т.н. зоне субдукции, к которой приурочены эпицентры землетрясений. Если плиты раздвигаются, между ними образуется рифтовая зона. Проявления вулканизма связаны с этими двумя ситуациями.

Вулканы зоны субдукции располагаются по границе подвигающихся плит. Известно, что океанские плиты, образующие дно Тихого океана, погружаются под материки и островные дуги. Области субдукции отмечены в рельефе дна океанов глубоководными желобами, параллельными берегу. Полагают, что в зонах погружения плит на глубинах 100150 км формируется магма, при поднятии которой к поверхности происходит извержение вулканов. Поскольку угол погружения плиты часто близок к 45, вулканы располагаются между сушей и глубоководным желобом примерно на расстоянии 100150 км от оси последнего и в плане образуют вулканическую дугу, повторяющую очертания желоба и береговой линии. Иногда говорят об «огненном кольце» вулканов вокруг Тихого океана. Однако это кольцо прерывисто (как, например, в районе центральной и южной Калифорнии), т.к. субдукция происходит не повсеместно.

Вулканы рифтовых зон существуют в осевой части Срединно-Атлантического хребта и вдоль Восточно-Африканской системы разломов.

Есть вулканы, связанные с «горячими точками», располагающимися внутри плит в местах подъема к поверхности мантийных струй (богатой газами раскаленной магмы), например, вулканы Гавайских о-вов. Как полагают, цепь этих островов, вытянутая в западном направлении, образовалась в процессе дрейфа на запад Тихоокеанской плиты при движении над «горячей точкой».

Сейчас эта «горячая точка» расположена под действующими вулканами о.Гавайи. По направлению к западу от этого острова возраст вулканов постепенно увеличивается.

Тектоника плит определяет не только местоположение вулканов, но и тип вулканической деятельности. Гавайский тип извержений преобладает в районах «горячих точек» (вулкан Фурнез на о.Реюньон) и в рифтовых зонах. Плинианский, пелейский и вулканский типы характерны для зон субдукции. Известны и исключения, например, стромболианский тип наблюдается в различных геодинамических условиях.

**Вулканическая активность: повторяемость и пространственные закономерности.**

Ежегодно извергается приблизительно 60 вулканов, причем и в предшествовавший год происходило извержение примерно трети из них. Имеются сведения о 627 вулканах, извергавшихся за последние 10 тыс. лет, и о 530 – в историческое время, причем 80% из них приурочены к зонам субдукции. Наибольшая вулканическая активность наблюдается в Камчатском и Центрально-Американском регионах, более спокойны зоны Каскадного хребта, Южных Сандвичевых о-вов и южного Чили.

Вулканы и климат. Полагают, что после извержений вулканов средняя температура атмосферы Земли понижается на несколько градусов за счет выброса мельчайших частиц (менее 0,001 мм) в виде аэрозолей и вулканической пыли (при этом сульфатные аэрозоли и тонкая пыль при извержениях попадают в стратосферу) и сохраняется таковой в течение 1–2 лет. По всей вероятности, такое понижение температуры наблюдалось после извержения вулкана Агунг на о.Бали (Индонезия) в 1962.

**VI. Вулканическая опасность**

Извержения вулканов угрожают жизни людей и наносят материальный ущерб. После 1600 в результате извержений и связанных с ними селей и цунами погибло 168 тыс. человек, жертвами болезней и голода, возникших после извержений, стали 95 тыс. человек. Вследствие извержения вулкана Монтань-Пеле в 1902 погибло 30 тыс. человек. В результате схода селей с вулкана Руис в Колумбии в 1985 погибли 20 тыс. человек. Извержение вулкана Кракатау в 1883 привело к образованию цунами, унесшего жизни 36 тыс. человек.

Характер опасности зависит от действия разных факторов. Лавовые потоки разрушают здания, перекрывают дороги и сельскохозяйственные земли, которые на много столетий исключаются из хозяйственного использования, пока в результате процессов выветривания не сформируется новая почва. Темпы выветривания зависят от количества атмосферных осадков, температурного режима, условий стока и характера поверхности. Так, например, на более увлажненных склонах вулкана Этна в Италии земледелие на лавовых потоках возобновилось только через 300 лет после извержения.

Вследствие вулканических извержений на крышах зданий накапливаются мощные слои пепла, что грозит их обрушением. Попадание в легкие мельчайших частиц пепла приводит к падежу скота. Взвесь пепла в воздухе представляет опасность для автомобильного и воздушного транспорта. Часто на время пеплопадов закрывают аэропорты.

Пепловые потоки, представляющие собой раскаленную смесь взвешенного дисперсного материала и вулканических газов, перемещаются с большой скоростью. В результате от ожогов и удушья погибают люди, животные, растения и разрушаются дома. Древнеримские города Помпеи и Геркуланум попали в зону действия таких потоков и были засыпаны пеплом во время извержения вулкана Везувий.

Вулканические газы, выделяемые вулканами любого типа, поднимаются в атмосферу и обычно не причиняют вреда, однако частично они могут возвращаться на поверхность земли в виде кислотных дождей. Иногда рельеф местности способствует тому, что вулканические газы (сернистый газ, хлористый водород или углекислый газ) распространяются близ поверхности земли,

уничтожая растительность или загрязняя воздух в концентрациях, превышающих предельные допустимые нормы. Вулканические газы могут наносить и косвенный вред. Так, содержащиеся в них соединения фтора захватываются пепловыми частицами, а при выпадении последних на земную поверхность заражают пастбища и водоемы, вызывая тяжелые заболевания скота. Таким же образом могут быть загрязнены открытые источники водоснабжения населения.

Огромные разрушения вызывают также грязекаменные потоки и цунами.

**Прогноз извержений.**

Для прогноза извержений составляются карты вулканической опасности с показом характера и ареалов распространения продуктов прошлых извержений, и ведется мониторинг предвестников извержений. К таким предвестникам относится частота слабых вулканических землетрясений; если обычно их количество не превышает 10 за одни сутки, то непосредственно перед извержением возрастает до нескольких сотен. Ведутся инструментальные наблюдения за самыми незначительными деформациями поверхности. Точность измерений вертикальных перемещений, фиксируемых, например, лазерными приборами, составляет ~0,25 мм, горизонтальных  6 мм, что позволяет выявлять наклон поверхности всего в 1 мм на полкилометра. Данные об изменениях высоты, расстояния и наклонов используются для выявления центра вспучивания, предшествующего извержению, или прогибания поверхности после него. Перед извержением повышаются температуры фумарол, иногда изменяется состав вулканических газов и интенсивность их выделения.

Предвестниковые явления, предшествовавшие большинству достаточно полно документированных извержений, сходны между собой. Однако с уверенностью предсказать, когда именно произойдет извержение, очень трудно.

Вулканологические обсерватории. Для предупреждения возможного извержения ведутся систематические инструментальные наблюдения в специальных обсерваториях. Самая старая вулканологическая обсерватория была основана в 18411845 на Везувии в Италии, затем с 1912 начала действовать обсерватория на вулкане Килауэа на о.Гавайи и примерно в то же время – несколько обсерваторий в Японии. Мониторинг вулканов проводится также в США (в т.ч. на вулкане Сент-Хеленс), Индонезии в обсерватории у вулкана Мерапи на о.Ява, в Исландии, России Институтом вулканологии РАН (Камчатка), Рабауле (Папуа  Новая Гвинея), на островах Гваделупа и Мартиника в Вест-Индии, начаты программы мониторинга в Коста-Рике и Колумбии.

Методы оповещения.

Предупреждать о грозящей вулканической опасности и принимать меры по уменьшению последствий должны гражданские власти, которым вулканологи предоставляют необходимую информацию.

Система оповещения населения может быть звуковой (сирены) или световой (например, на шоссе у подножья вулкана Сакурадзима в Японии мигающие сигнальные огни предупреждают автомобилистов о выпадении пепла). Устанавливаются также предупреждающие приборы, которые срабатывают при повышенных концентрациях опасных вулканических газов, например сероводорода. На дорогах в опасных районах, где идет извержение, размещают дорожные заграждения.

Уменьшение опасности, связанной с вулканическими извержениями.

Для смягчения вулканической опасности используются как сложные инженерные сооружения, так и совсем простые способы. Например, при извержении вулкана Миякедзима в Японии в 1985 успешно применялось охлаждение фронта лавового потока морской водой. Устраивая искусственные бреши в застывшей лаве, ограничивающей потоки на склонах вулканов, удавалось

изменять их направление. Для защиты от грязекаменных потоков  лахаров  применяют оградительные насыпи и дамбы, направляющие потоки в определенное русло. Для избежания возникновения лахара кратерное озеро иногда спускают с помощью тоннеля (вулкан Келуд на о.Ява в Индонезии). В некоторых районах устанавливают специальные системы слежения за грозовыми тучами, которые могли бы принести ливни и активизировать лахары. В местах выпадения продуктов извержения сооружают разнообразные навесы и безопасные убежища.

Одной из нерешенных проблем проявления вулканической активности является определение источника тепла, необходимого для локального плавления базальтового слоя или мантии. Такое плавление должно быть узколокализованным, поскольку прохождение сейсмических волн показывает, что кора и верхняя мантия обычно находятся в твердом состоянии. Более того, тепловой энергии должно быть достаточно для плавления огромных объемов твердого материала. Например, в США в бассейне р.Колумбия (штаты Вашингтон и Орегон) объем базальтов более 820 тыс. км3; такие же крупные толщи базальтов встречаются в Аргентине (Патагония), Индии (плато Декан) и ЮАР (возвышенность Большое Кару). В настоящее время существуют три гипотезы. Одни геологи считают, что плавление обусловлено локальными высокими концентрациями радиоактивных элементов, но такие концентрации в природе кажутся маловероятными; другие предполагают, что тектонические нарушения в форме сдвигов и разломов сопровождаются выделением тепловой энергии. Существует еще одна точка зрения, согласно которой верхняя мантия в условиях высоких давлений находится в твердом состоянии, а когда вследствие трещинообразования давление падает, она плавится и по трещинам происходит излияние жидкой лавы.

**Список литературы**

Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. О свойстве дискретности горных пород.Изв. АН СССР,Физика Земли, N 12, 1982, с. 3-18.

Садовский М.А., Голубева Т.В., Писаренко В.Ф., Шнирман М.Г. Характерные размеры горной породы и иерархические свойства сейсмичности. Изв. АН СССР,Физика Земли, N 2, 1984, с. 3-15.

Садовский М.А., Голубева Т.В., Наркунская Г.С., Писаренко В.Ф. и др. Структура геофизической среды и сейсмический процесс. Сб. Прогноз землетрясений.Дониш. Душ. -М., 1986, N6, с. 323-336.

Гущенко О.И.,Мострюков А.О., Петров В.А. Структура поля современных региональных напряжений сейсмоактивных областей земной коры Восточной части Средиземноморского подвижного пояса. ДАН т.312, N 4, 1990, с. 830-835.

Виноградов С.Д., Мирзоев К.М. Об энергии упругих импульсов при разрушении образцов из неоднородных материалов. Изв. АН СССР. Физика Земли, N 1,1978,с. 37-45.