



# ГЕОДИНАМИКА

Авторы: В. Е. Хаин

ГЕОДИНАМИКА (от *geo...* и греч. δύναμις – сила), наука о силах и процессах, возникающих в результате эволюции Земли как планеты и определяющих изменения в её строении, составе и рельефе. Термин предложен англ. учёным Дж. Дарвином (1887), в совр. понимании существует с последней четв. 20 в. Г. синтезирует данные геологич. наук, геофизики и геохимии, а также геодезии (форма геоида) и тем самым занимает особое место среди наук о Земле. Г. подразделяется на эндогенную, исследующую процессы, протекающие в недрах «твёрдой» Земли, и экзогенную – происходящие на её поверхности.

## Эндогенная геодинамика

Для её понимания принципиальное значение имеет разделение твёрдой Земли на верхнюю (до подошвы верхней *мантии Земли*) и нижнюю (до *ядра Земли*) геосферы; процессы, протекающие в ядре Земли, заслуживают особого рассмотрения. В верхней части первой геосферы выделяют *тектоносферу* (или тектосферу), объединяющую *литосферу* и *астеносферу*. Происходящие в ней тектонические процессы находят непосредственное отражение на поверхности Земли и прослеживаются сейсмотомографией до подошвы верхней мантии. Вторая геосфера гораздо больше по объёму и ещё недостаточно изучена. В неё входят переходная зона от верхней к нижней мантии, занимающая глубины от 410 до 660–670 км, и собственно нижняя мантия; иногда в интервале глубины 410–1000 км выделяют среднюю мантию. Процессы, происходящие в тектосфере, кинематика литосферных плит описываются *тектоникой плит*. Задача Г. – установить силы, движущие литосферными плитами и приводящие к их дивергенции (раздвигу) и конвергенции (сближению). Механизм этого движения связан с мантийной конвекцией – основным способом переноса тепла в недрах Земли. Возможность проявления конвекции зависит от разности температур в кровле и подошве мантии, а также от её вязкости и определяется т. н. *Рэлея числом*, при превышении критич. значения которого ( $10^3$ ) возникает конвекция. Этому также способствует разность плотностей вещества в кровле и подошве слоя, определяемая разностью температур, а также мощность слоя, от которой зависит объём конвектирующего вещества. Конвекции препятствует повышение вязкости и увеличение теплопроводности вещества. Конвекция вызывает течение вещества мантии, в частности в пределах астеносферы. Под осями *спрединга* (новообразования океанич. коры), происходящего на дивергентных границах литосферных плит, действуют восходящие и расходящиеся ветви конвективных ячеек; под зонами *субдукции* (погружения охлаждённой океанич. литосферы в глубь мантии) на конвергентных границах – нисходящие, а в промежутке – горизонтальные. Такое течение вещества мантии подтверждается изучением её анизотропии: кристаллы оливина, в осн. слагающего верхнюю мантию, ориентируются длинной осью по направлению течения. Совпадение этого направления с направлением перемещения литосферных плит свидетельствует, что плиты действительно увлекаются мантийным течением. Это течение не является единственным механизмом движения литосферных плит. Предполагается расталкивание плит поднимающимися на осях спрединга базальтовыми расплавами и гравитационное «сползание» плит со спрединговых хребтов, а также затягивание плит в зоны субдукции под влиянием силы

тяжести и их уплотнения в результате эклогитизации основных пород коры, начинающейся на глубине ок. 60 км от поверхности.

Для объяснения [внутриплитного магматизма](#) (происходящего внутри литосферных плит) канад. геофизиком Дж. Вилсоном в 1963 и амер. геофизиком Дж. Морганом в 1971 была предложена гипотеза [горячих точек](#), исходящая из предположения о подъёме из мантийных глубин струй разогретого материала (мантийных плюмов, или мантийных диапиров), которые «прошивают» движущиеся литосферные плиты и оставляют на них «след» в виде цепей вулканов. Кроме того, некоторые внутриплитные тектонич. процессы (см. [Внутриплитная тектоника](#)) также объясняются действием мантийных плюмов (напр., формирование внутриплитных поднятий земной коры и континентальных рифтовых систем). «Корни» мантийных плюмов б. ч. расположены значительно глубже астеносферы.

Глубинная Г. предусматривает уточнение знаний о строении нижней мантии Земли, в которой установлено и предполагается существование нескольких слоёв с разл. минералогическим, а возможно, и химич. составом и разл. реологич. свойствами. Их границы проходят на глубинах ок. 1000 и 1700 км от поверхности Земли. По мнению др. исследователей, предметом глубинной Г. является вся подлитосферная мантия, в т. ч. астеносфера. Особое значение в глубинной Г. имеют два уровня – верхняя граница нижней мантии на глубине 660–670 км и слой в основании мантии на границе с ядром, получивший обозначение D" (D дубль прим) в модели строения [Земли](#) австрал. учёного К. Буллена (где А – земная кора, В – верхняя мантия Земли, С – переходная зона от верхней к нижней мантии, D' – верхняя часть нижней мантии). На границе переходной зоны и нижней мантии происходит скачкообразное возрастание скорости распространения сейсмич. волн, объясняемое изменением минералогич. состава мантии – её гранатово-пироксеновый состав изменяется на перовскит-магнезиовюститовый, что сопровождается эндотермич. эффектом. Эта граница является предельной для распространения очагов (гипоцентров) землетрясений. Она же служит полупроницаемым барьером для субдукции (погружения) океанич. литосферы и для подъёма плюмов с мантийных глубин. Субдуцируемые пластины океанич. литосферы (слэбы) могут не проникать ниже этой границы, в др. случаях их материал скапливается ниже неё и периодически лавинообразно обрушивается в глубь мантии, иногда до слоя D". Плюмы, поднимающиеся снизу, могут испытывать на границе переходной зоны и нижней мантии расщепление. Гл. вопрос – служит ли данная граница барьером для мантийной конвекции. По мнению части геофизиков и геохимиков, конвекция двухъярусна и протекает отдельно выше и ниже этой границы. Но большинство геофизиков являются сторонниками общемантийной конвекции, основываясь на том, что, по данным сейсмотомографии, ряд слэбов погружается вплоть до границы ядра. Высказывается также мнение, что в истории Земли происходила неоднократная смена двухъярусной конвекции общемантийной и эта смена, вероятнее всего, связана с [Вилсона циклами](#).

Особую роль играет слой D". Он имеет изменчивую мощность (достигающую 200–300 км) и характеризуется латеральной изменчивостью реологич. свойств и, вероятно, химич. состава. На его нижней границе происходит обмен вещества с внешним ядром Земли: железо, никель перемещаются в ядро, а его более лёгкие примеси и летучие вещества (флюиды) поднимаются в мантию. На этой же границе выявлен тонкий прослой частично расплавленного материала. Слой D" служит базальным уровнем погружения слэбов субдуцируемой океанич. литосферы (их «могильником») и одновременно исходным для подъёма суперплюмов, подобных предполагающимся под Вост. Африкой и Франц. Полинезией в Тихом ок. (менее мощные мантийные плюмы

могут зарождаться близ кровли нижней мантии и в астеносфере).

Поскольку Земля медленно (ок. 100 °С за млрд. лет) и непрерывно охлаждается и теряет в процессе дегазации запас летучих веществ, характер геодинамич. процессов испытывает необратимые изменения, изучаемые исторической Г. Эти изменения отражались на смене типов конвекции в связи с изменениями значений числа Рэлея, а именно: хаотической конвекции на валиковую, а затем и двухъярусную и, наконец, на преобладающую общемантийную. Испытывало изменение и соотношение тектоники плюмов (плюм-тектоники) с тектоникой литосферных плит (плейт-тектоникой) с преобладанием последней. Менялся и характер самой тектоники плит – размер плит постепенно возрастал, число их последовательно убывало, общая длина осей спрединга сокращалась. По мнению некоторых исследователей, это может привести к отмиранию деления литосферы на плиты, как это произошло на Марсе. В геологич. прошлом число плит периодически менялось и было минимальным в периоды формирования суперконтинентов. На совр. этапе развития Земли наблюдается сочетание 8 крупных плит и ряда микроплит.

Определённое влияние на процессы, происходящие в недрах «твёрдой» Земли, оказывают осевое вращение Земли и твёрдые приливы, вызываемые притяжением Луны и Солнца, а также метеоритно-астероидно-кометные бомбардировки, возможно, связанные не только с Солнечной системой, но и с дальним Космосом. Вращение Земли вызывает преобладающий зап. и сев. дрейф материков, а изменение скорости вращения, приводящее к перестройке фигуры планеты, является причиной образования закономерно ориентированной относительно оси вращения Земли сети линеаментов (регматической) и планетарной трещиноватости.

Иной подход к эндогенным геодинамич. процессам, который вытекает из представлений о нелинейности геологич. среды, базирующихся на физике неравновесных состояний, рассматривает нелинейная Г.

## Экзогенная геодинамика

Исследует процессы, протекающие на поверхности Земли, и устанавливает определяющие их факторы. Наиболее важные из них: циркуляция атмосферы, от которой зависит распределение и сила ветров и выпадение осадков, а следовательно, и проявление эрозии; циркуляция гидросферы (течения, прибой, приливы и отливы), которая вызывает абразию берегов и влияет на распределение осадков. Существенное воздействие на экзогенные процессы оказывает биосфера, включая (для современности) антропогенное воздействие. Большую роль в связи с расчленённым рельефом поверхности Земли играет сила тяжести, вызывая на суше и на континентальном склоне оползни и обвалы, а на континентальном склоне, кроме того, турбидные (мутые) потоки. Суточные и сезонные перепады температуры на поверхности Земли вызывают физическое, а контакт горных пород с атмосферными газами и влагой – химическое выветривание. Периодич. изменения климата, которые зависят от инсоляции и парникового эффекта атмосферы, приводят к оледенениям суши, а физич. воздействие ледников моделирует её рельеф. Экзогенные процессы активно взаимодействуют с эндогенными. Определяющая роль в формировании рельефа земной поверхности принадлежит последним.

Большой вклад в развитие отеч. Г. внесли В. А. Магницкий, В. П. Трубицын, В. Е. Хаин, Л. И. Лобковский, О. Г. Сорохтин, Л. П. Зоненшайн, Н. Л. Добрецов, А. Г. Кирдяшкин.

## Литература

Лит.: Проблемы глобальной геодинамики. М., 2000; Добрецов Н. Л., Кирдяшкин А. Г., Кирдяшкин А. А. Глубинная геодинамика. 2-е изд. Новосиб., 2001; Лобковский Л. И., Никишин А. М., Хаин В. Е. Современные проблемы геотектоники и геодинамики. М., 2004; Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. М., 2005.