

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ГЕОТЕКТОНИКА

Учебное пособие

А. И. Трегуб

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение	4
1.	Современные представления о строении Земли	6
1.1.	Земная кора и верхняя мантия	6
1.2.	Литосфера, астеносфера и мезосфера. Тектоносфера	8
1.3.	Глубокие геосферы: средняя и нижняя мантия, ядро Земли	10
2.	Методы геотектоники	11
2.1.	Современные движения земной коры и методы их изучения (актуотектоника)	11
2.2.	Неотектонические движения и методы их изучения	13
2.3.	Методы изучения тектонических движений и деформаций геологического прошлого (палеотектонический анализ)	14
3.	Строение и развитие главных структурных единиц литосферы	18
3.1.	Литосферные плиты	18
3.2.	Океаны	23
3.3.	Области перехода континент-океан.	31
3.4.	Континенты.	39
4.	Складчатые и разрывные дислокации	52
4.1.	Региональные разломы и шовные зоны (сутуры)	52
4.2.	Складчато-разрывные дислокации	54
4.3.	Тектонические покровы (шарьяжи).	57
4.4.	Развитие тектонических деформаций во времени	58
5.	Основные этапы и общие закономерности развития земной коры.	59
6.	Основные источники энергии и механизмы тектонических процессов	63
6.1.	Ротационный и космические факторы в геодинамике	63
6.2.	Некоторые представления о глубинных механизмах тектонических движений	69
7.	Тектонические карты	73
	Литература	74

А

коры и верхней мантии, должна рассматриваться как часть более общей геодинамической концепции, находящейся в стадии становления.

1.СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРОЕНИИ ЗЕМЛИ

Современные представления о строении нашей планеты получены на основе комплекса данных, включающих, прежде всего, результаты геофизических исследований, материалы дистанционного зондирования Земли из космоса, данные изучения геохимических особенностей магматических пород, а также результаты геологического картирования и полевых геологических наблюдений.

Строение Земли описывается моделями, в которых выделяются, с одной стороны, концентрические оболочки – геосферы, а с другой – латеральные неоднородности внутри геосфер. Разделение геосфер может проводиться двояко - по вещественному (минералого-петрографическому) составу и по реологическим (деформационным) свойствам вещества.

По вещественному составу выделяются земная кора, мантия и ядро Земли.

1.1. Земная кора и верхняя мантия

Земная кора – самая верхняя оболочка, в минералого-петрографическом отношении характеризуется наиболее сложным и разнообразным составом. Это и широкий спектр осадочных, вулканогенно-осадочных пород, и магматические образования кислого, среднего, основного и ультраосновного состава, представленные эффузивными, интрузивными, экструзивными породами. Мощность земной коры изменяется от 0 км на некоторых участках срединно-океанических хребтов и трансформных разломов до 70-75 км под высокими горными сооружениями Анд, Гималаев и Тибета. По латерали земная кора делится на два основных типа: кору океаническую и кору континентальную. Помимо этого выделяются переходные типы коры: субокеаническая и субконтинентальная кора.

Океаническая кора по площади занимает 56% земной поверхности. Ее мощность в среднем составляет 5-6 км, закономерно увеличиваясь к подножию континентов. В разрезе океанической коры выделяются три слоя.

Самый верхний – осадочный слой (I) мощностью не более 1 км - в центральных областях океанов, выклинивается в осевых частях срединно-океанических хребтов, а у подножий континентов увеличивается до 10-15 км. Слой состоит из глинистых, кремнистых и карбонатных глубоководных пелагических осадков. Причем карбонаты распространяются лишь до некоторой глубины, вследствие растворения. Ближе к континентам появляется примесь терригенного материала (гемипелагические осадки). Возраст пород осадочного слоя увеличивается от осевых частей срединно-океанических хребтов, но не превышает 170 млн. лет. Скорость продольных сейсмических волн в осадочном слое изменяется от 2 до 5 км/с.

Второй слой – базальтовый (2) в верхней части (2А) представлен базальтами с подушечной отдельностью (пиллоу-лавы), в которых отмечаются редкие и тонкие прослои пелагических осадков. В его нижней части (2В) развиты параллельные дайки долеритов. Мощность второго слоя 1,5-2 км, а скорость продольных сейсмических волн 4,5–5,5 км/с.

Третий слой – габбровый (3) состоит из полнокристаллических пород основного и в самых низах ультраосновного состава. В верхней части разреза третьего слоя залегают массивные габбро, а в нижней части разреза расслоенные при магматической дифференциации габбро («полосчатый комплекс»). Мощность третьего слоя около 5 км. Скорость продольных сейсмических волн в третьем слое достигает 6-7,5 км/с.

Континентальная кора занимает 41% площади земной поверхности. Ее средняя мощность 35-40 км. Мощность коры уменьшается к окраинам континентов и возрастает под горными сооружениями до 70-75 км. В разрезе континентальной коры выделяются осадочный слой и консолидированная кора.

Осадочный слой (осадочный чехол) характеризуется весьма изменчивой мощностью: от 0 км (на щитах платформ, в осевых частях складчатых сооружений) до 20 км (во впадинах платформ, в передовых и межгорных прогибах складчатых поясов). Вещественный состав осадочного слоя образован континентальными и относительно мелководными морскими образованиями: известняками, доломитами, мергелями, глинами, песками и песчаниками, алевролитами и алевролитами, галечниками и конгломератами, гипсами, ангидритами и др. породами. Помимо осадочных пород в разрезе осадочного чехла могут участвовать магматические трапповые образования основного состава. Скорость продольных сейсмических волн в осадочном слое 2-5 км/с, возраст пород достигает 1,7 млрд. лет.

Консолидированная кора в верхней части разреза представлена *гранитогнейсовым (гранитно-метаморфическим)* слоем, мощность которого составляет 15-20 км на платформах и 25-30 км в горных сооружениях. Скорость продольных волн в пределах верхнекорового слоя колеблется от 5,5 до 6,5 км/с. Нижняя часть разреза консолидированной коры (*гранулит-базитовый слой*) представлена кислыми гранулитами с пластовыми внедрениями основных пород, выраженными многочисленными отражающими площадками (рефлекторами). Скорость продольных волн в нижней части коры 6,4 -7,7 км/с.

Субокеаническая кора распространена вдоль континентальных склонов и подножий континентов. Она представляет собой утоненную до 15 км, пронизанную дайками магматических пород континентальную кору.

Субконтинентальная кора – это кора энсиматических островных дуг. Ее мощность менее 25 км, а степень консолидации более низкая, чем у континентальной коры, что отражается в скоростях продольных волн – не более 5-5,5 км/с.

Поверхность Мохоровичича (Мохо, М) представляет подошву земной коры и выражена скачком скорости продольных сейсмических волн от 7,5 -

7,7 км/с до 7,9-8,2 км/с. В океанах она в некоторых местах доступна непосредственному наблюдению и представлена переходом «полосчатого комплекса» третьего слоя к сплошным серпентинизированным перидотитам. Вдоль поверхности Мохо в океанах отмечены значительные смещения по горизонтальным срывам и сильная тектонизация пород. На континентах поверхность Мохоровичича недоступна непосредственному наблюдению. Здесь переход от коры к мантии носит более сложный характер. В некоторых районах выделяются несколько границ Мохо.

Верхняя мантия по сравнению с земной корой обладает менее разнообразным составом. Верхняя часть разреза океанической мантии образована перидотитами, в основном гарцбургитами (разновидность перидотита, состоящая из оливина и ромбического пироксена – энстатита). По результатам изучения включений в лавах и кимберлитах из трубок взрыва на континентах верхи мантии также образованы в основном перидотитами, причем как здесь, так и под океанами в верхней части это шпинелевые, а ниже – гранатовые перидотиты. Но в континентальной мантии, кроме перидотитов, в подчиненном количестве присутствуют *эклогиты* (глубоко метаморфизованные основные породы – реликты океанской коры, затащенные в процессе субдукции). Верхняя часть мантии вторично обеднена кремнеземом, щелочами, ураном, торием, редкими землями и другими, так называемыми некогерентными элементами благодаря выплавлению из нее базальтов земной коры. Эта «истощенная» («деплетированная») мантия под континентами уходит на большую глубину, чем под океанами и сменяется «неистощенной» мантией. Средний первичный состав мантии должен быть близок к шпинелевому лерцолиту или гипотетической смеси перидотита и базальта в пропорции 3:1, названной австралийцем А. Е. Рингвудом *пиролитом*. Верхняя мантия охватывает объем планеты до глубин около 410 км. Сейсмическая граница на этой глубине объясняется фазовым переходом оливина в более плотную модификацию с выделением тепла.

1.2. Литосфера, астеносфера и мезосфера. Тектоносфера

Кроме выделения оболочек по вещественному составу существует их градация по реологическим свойствам. В этом отношении в верхних геосферах твердой Земли выделяются литосфера, астеносфера и мезосфера.

Литосфера – это хрупкая оболочка, объединяющая земную кору и часть верхней мантии. Ее нижняя граница по сейсмическим данным выражена затуханием сейсмических волн. По данным магнито-теллурического зондирования – снижением электрического сопротивления. В гравитационном поле литосфера отделяется от подстилающей ее астеносферы по явлению изостазии. В тепловом поле граница проводится по изотерме 1200-1300° С. Мощность литосферы под океанами изменяется от 3-4 км в осевых частях срединно-океанических хребтов и до 100 км на

периферии океанов. На континентах она составляет 150-200 км и более (в Южной Африке 350 км).

Астеносфера, как ослабленная пластичная оболочка, впервые гипотетически была выделена американским геологом Дж. Баррелом в 1916 г. Исходным основанием для ее выделения была необходимость объяснить гравитационную уравновешенность земной коры, обнаруженную при измерениях силы тяжести у подножия горных сооружений. Оказалось, что даже крупные неровности земной поверхности уравновешены на глубине. Это явление получило название *изостазии*. Выделяются две модели, объясняющие изостазию. Модель английского астронома Дж. Эри утверждает, что горные сооружения обладают корнями, погруженными в мантию, и изостазия обеспечивается тем, что подошва коры обладает зеркальным рельефом по отношению к рельефу земной поверхности. В соответствии с моделью другого англичанина Дж. Пратта подошва коры может быть горизонтальной, а поднятые участки земной поверхности соответствуют менее плотным частям коры по сравнению с пониженными участками. Исследования показывают, что уравновешенность континентов и океанов достигается комбинацией обоих механизмов – кора под океанами тоньше и плотнее чем под континентами. Для осуществления изостатической уравновешенности необходимо наличие на некоторой глубине пластичной оболочки – астеносферы. Пластичность астеносферы объясняют частичным (1-5%) плавлением вещества, при котором пленка расплава окружает твердые зерна. Этот процесс обусловлен повышением температуры, эффект которого на определенной глубине может превзойти эффект повышения давления, препятствующего плавлению. Аналогичную роль может играть и снижение давления (декомпрессия) в условиях растяжения или в областях динамического влияния разломов. Дальнейшее повышение температуры или снижения давления может стать причиной образования магматических камер с базальтовой магмой или даже с магмой ультраосновного состава. Продуктом мантийных магм являются *толеитовые базальты*, образовавшиеся за счет *деплетированной мантии* и отличающиеся низкими содержаниями щелочей и некогерентных элементов. Если в образовании магмы участвует вещество, поступающее с больших глубин из неистощенной мантии, формируются *щелочные базальты*, обогащенные некогерентными элементами. Астеносфера является, таким образом, одним из главных источников магматической деятельности на Земле. Магматические очаги могут возникать и в коре, и в литосферной мантии, но они обычно вторичны по отношению к астеносферным и играют подчиненную роль. Коровые магмы имеют более разнообразный и кислый состав (до риолитов и гранитов). Широко распространены породы, образовавшиеся в результате взаимодействия мантийных магм с коровым веществом (диориты, монзониты и др.). Течение астеносферы перемещает литосферные плиты. Вязкость астеносферы изменяется по латерали, что определяется изменением содержания расплава или аморфизацией вещества (под толстой литосферой континентов). Мощность астеносферы может изменяться в широких

пределах. Под щитами древних платформ она составляет примерно 80 км (в интервале глубин 220-300 км); под молодыми платформами – 150 км (в интервале глубин от 50 км до 200 км). Максимальная толщина астеносферы наблюдается под океанами. Литосфера и астеносфера в совокупности образуют **тектоносферу (тектосферу)** – основной объект изучения геотектоники.

Подстилагается астеносфера **мезосферой** вплоть до глубины 410 км (подошвы верхней мантии). Процессы в тектоносфере тесно связаны, а часто и обусловлены процессами в глубоких геосферах планеты.

1.3. Глубокие геосферы: средняя и нижняя мантия, ядро Земли

Средняя и нижняя мантия составляют основной объем планеты. В интервале глубин от 410 км до 660 - 670 км выделяется переходный слой от верхней к нижней мантии (слой Голицына). На глубине 670 км предполагается фазовый переход, обусловленный превращением оливина (шпинели) и пироксена (граната) в метасиликат перовскит – $(Ca,Mg) SiO_3$ и окисел магнезиовюстит – Mg,FeO . Скачок плотности сопровождается поглощением тепла. Допускается, что здесь же увеличивается содержание железа. Ниже 670 км вплоть до глубины 2900 км традиционно выделяется нижняя мантия. Но в последнее время предлагается выделение *средней мантии* до глубины 1000 км, включающей и переходную зону. Еще одна граница намечается на глубинах 1700-1900 км. Вероятно, что ниже этой границы в составе мантии присутствуют лишь окислы Ca, Mg, Fe, Si. Вблизи подошвы мантии выделяется слой мощностью 200-300 км, обозначаемый индексом ***D''*** (д – дубль прим). Он отличается резко меняющейся толщиной и значительной неоднородностью по латерали, позволяющей предполагать его неоднородность как по вещественному составу, так и по реологическим свойствами. В основании этого слоя выделяется тонкая прерывистая область с частично расплавленного материала. Возможно, что здесь происходит обмен веществом между ядром и мантией.

Ядро Земли по реологическим свойствам делится на внешнее и внутреннее. Судя по затуханию поперечных сейсмических волн *внешнее ядро* находится в расплавленном состоянии. В нем происходит конвективное перемешивание, что в сочетании с вращением планеты создает ее главное магнитное поле. Состоит внешнее ядро из железа и никеля с примесью кремния, кислорода, серы и, возможно, калия и водорода.

Внутреннее ядро начинается на глубине около 5150 км, находится в твердом состоянии и состоит из железа и никеля. Его поверхность неровная, а скорость вращения несколько больше, чем скорость вращения остальных геосфер. Средний радиус Земли составляет 6371 км и средний диаметр внутреннего ядра составляет, таким образом, 2442 км.

Литература к разделу 1:[1,6,10]