

# Содержание

<b>Предисловие.</b> Эндогенные и экзогенные процессы .....	6
<b>Интродукция 1:</b> Смелая гипотеза Альфреда Вегенера .....	8
<b>Интродукция 2:</b> От гипотезы Вегенера к теории тектоники литосферных плит .....	10

## Часть первая

### ЗЕМНЫЕ НЕДРА И СОЛНЕЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

<b>Глава 1. Земные недра</b> .....	12
1.1. Сейсмология .....	12
1.2. Земной шар в разрезе .....	14
1.3. Земная кора .....	17
1.4. Мантия и земное ядро .....	19
1.5. Изменение давления и температуры в зависимости от глубины .....	23
1.6. Вязкость астеносферы .....	25
<b>Глава 2. Энергия земных недр</b> .....	28
2.1. Отказ от идеи изначально расплавленной Земли .....	28
2.2. Энергетика Земли в катархее .....	29
2.3. Формирование земного ядра и высвобождение гравитационной энергии .....	30
2.4. Конвекция в мантии и энергетика современной Земли .....	32
<b>Глава 3. Солнце и солнечное излучение</b> .....	35
3.1. Внутреннее строение Солнца .....	35
3.2. Процессы, происходящие внутри Солнца .....	38
3.3. Солнечная постоянная и спектр Солнца .....	40
3.4. Парниковый эффект .....	41
3.5. Радиационное равновесие Земли .....	44

## Часть вторая

### ЭНДОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

<b>Глава 4. Движение литосферных плит</b> .....	50
4.1. Рельеф поверхности суши и дна океанов .....	50
4.2. Мозаика из литосферных плит .....	55
4.3. Направления движения литосферных плит .....	57
4.4. Спрединг и субдукция .....	58
4.5. Типы столкновения литосферных плит .....	60
4.6. Океаническая литосферная плита .....	63
4.7. Картина дрейфа материков по Вегенеру и в соответствии с современными представлениями .....	66

<b>Глава 5. Горообразование</b> .....	70
5.1. От тектоники базальтовых пластин к тектонике литосферных плит .....	70
5.2. Формирование континентальной коры .....	72
5.3. Образование складчатых горных поясов .....	74
5.4. Возраст горно-складчатых поясов Земли .....	75
5.5. Вулканические горы .....	81
5.6. Континентальные рифтовые зоны .....	82
<b>Глава 6. Тектонические землетрясения и цунами</b> .....	85
6.1. Землетрясение – грозное природное явление .....	85
6.2. Физика тектонических землетрясений .....	88
6.3. Глубинные разломы и сейсмически активные области .....	91
6.4. Сейсмические волны, возникающие при землетрясении .....	93
6.5. Оценка «силы землетрясения»: баллы, изосейсты и магнитуда .....	95
6.6. Связь между значением магнитуды, глубиной гипоцентра и количеством баллов в эпицентре .....	100
6.7. Рассуждения о сейсмической безопасности .....	102
6.8. Нападение цунами .....	105
6.9. Природа и закономерности цунами .....	108
6.10. Физика цунами .....	110
<b>Глава 7. Вулканы и термальные источники</b> .....	114
7.1. Вулканы в мифах и легендах .....	114
7.2. Некоторые катастрофические вулканические извержения .....	115
7.2.1. Вулкан Санторин: гибель Атлантиды .....	115
7.2.2. Вулкан Везувий: гибель Помпей и Геркуланума .....	116
7.2.3. Вулкан-трещина Лаки: трагедия в Исландии .....	117
7.2.4. Вулкан Монтань-Пеле: трагедия на Мартинике .....	118
7.3. Вулканы снаружи и в разрезе .....	118
7.4. География вулканов .....	121
7.5. Физика и химия извержения вулканов центрального типа .....	121
7.6. Характер вулканических извержений .....	123
7.7. Вулканическая деятельность не только зло, но и благо .....	126
7.8. Что такое гейзер .....	129
7.9. Физика гейзера .....	130
7.10. Гейзеры и обычные термальные источники .....	132
7.11. Геотермальная энергетика .....	133

### Часть третья

## ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

<b>Глава 8. Выветривание</b> .....	138
8.1. Что такое выветривание .....	138
8.2. Физическое выветривание .....	140
8.3. Химическое выветривание .....	142
8.4. Биологическое выветривание и почвообразование .....	143
8.5. Выветривание, денудация, аккумуляция .....	145
8.6. «Старение» гор .....	146

<b>Глава 9. Геологическая деятельность рек и подземных вод</b> .....	149
9.1. Водный баланс Земли и твердый сток рек .....	149
9.2. Как рождается речная долина. Водная эрозия .....	150
9.3. Вращение воды в стакане и движение водной массы в реке .....	155
9.4. Большой Каньон .....	158
9.5. Водопады .....	160
9.6. Разрушительно-созидательная деятельность рек .....	162
9.7. Откуда берется энергия реки? .....	164
9.8. Вода под землей. Грунтовые воды .....	165
9.9. Подземные воды и человек .....	168
9.10. Карстовые явления .....	170
<b>Глава 10. Последствия нарушения механического равновесия</b> .....	175
10.1. Обвалы и камнепады .....	175
10.2. Оползни .....	178
10.3. Сель .....	181
10.4. Лахары .....	184
10.5. «Белая смерть» .....	186
10.6. Физика возникновения снежных лавин .....	188
10.7. Развитие снежной лавины .....	191
10.8. Борьба с лавинной опасностью .....	194
<b>Глава 11. Эоловые геологические процессы</b> .....	196
11.1. Могущество Эола – повелителя ветров .....	196
11.2. Песчаные и пылевые бури .....	197
11.3. Дефляция (ветровая эрозия) и корразия .....	200
11.4. Загадка калифорнийской Долины Смерти .....	206
11.5. Формы эоловой аккумуляции .....	207
11.6. Лессы – продукт эоловой аккумуляции .....	210
<b>Глава 12. Геологическая деятельность моря</b> .....	212
12.1. Работа ветровых волн в прибрежной полосе .....	212
12.2. Типы океанических осадков .....	219
12.3. Аккумуляция осадков на разных глубинах .....	221
12.4. Коралловые рифы и атоллы .....	224
12.5. Диагенез океанических осадков .....	228
12.6. Откуда берется энергия морских волн? .....	230
<b>Заключение: Глобальный геологический круговорот</b> .....	234

## Предисловие. Эндогенные и экзогенные процессы

Нередко можно услышать: «Солнце – основной источник энергии всех процессов, происходящих на земном шаре». Но это не совсем так. В приведенном утверждении лишь половина правды. Другим, не менее важным источником энергии являются земные недра. Энергия земных недр и энергия солнечного излучения – вот те «двигатели», которые запускают в действие и поддерживают природные процессы на нашей планете. Кроме того, можно отметить энергию, высвобождающуюся при падении на Землю метеоритов, и энергию гравитационного взаимодействия между Землей и Луной, ответственную за ежедневные приливы и отливы. Однако эти два источника энергии играют незначительную роль в энергетике современной Земли; поэтому мы не будем рассматривать их в нашей книге. А что касается энергии, которая вырабатывается человеком на многочисленных электростанциях и оказывает все возрастающее воздействие на природные явления, то она есть не что иное, как часть все тех же энергии солнечного излучения и энергии земных недр.

Окружающие нас природные ландшафты весьма разнообразны и достаточно изменчивы. Естественным образом возникают вопросы: «Благодаря каким силам возникли, существуют и изменяются эти ландшафты? Откуда бралась и берется энергия для обеспечения работы сил природы?». Принято разделять эти силы на *внутренние* и *внешние*. (Данные термины определяются по отношению к земной коре). Внутренние силы действуют внутри сферы, образуемой относительно тонким слоем земной коры. Они обусловлены энергией, высвобождающейся в земных недрах. Внешние силы действуют на поверхность земной коры как бы извне – со стороны окружающих Землю атмосферы и гидросферы. Сюда следует отнести также силы, обусловленные потенциальной энергией приподнятых участков земной коры.

Природные процессы, обусловленные внутренними силами, геологи называют *эндогенными* (от греч. *endon* – внутри и *genes* – рождение). К ним относятся процессы наращивания литосферных плит, образование гор, землетрясения, рождение волн цунами, извержения вулканов и гейзеров.

Природные процессы, вызванные внешними силами, геологи называют *экзогенными* (греч. *exo* – вне, снаружи). Это, в частности, многообразные процессы, происходящие в атмосфере и гидросфере Земли. В качестве примеров геологических экзогенных процессов отметим процессы выветривания, разрушение берегов океанскими волнами, рождение оползней и селевых потоков, движение ледников, размывание речных долин, образование карстовых пещер.

Благодаря эндогенным процессам образовались материки и океанические впадины, горные хребты и нагорья. В «Фаусте» И. Гете об этом говорит Сеймос, который олицетворяет внутренние силы Земли:

В конце концов признать пора  
Мои труды, толчки и встряски.  
Без них могла ль Земли кора  
Такой прекрасной быть, как в сказке?  
Где было б гор великолепье,  
Когда б я в недра их не влез  
И на своей спине их цепи  
Не поднял в синеву небес?

Созданные благодаря Сейсмосу (эндогенным процессам) горные массивы лишь на первый взгляд представляются чем-то неизменным, сотворенным навечно. В действительности же они постепенно разрушаются под действием двух факторов – солнечного излучения и гравитации. Можно сказать, что экзогенные процессы вступают в противоборство с Сейсмосом, с его эндогенными процессами. Существует *глобальный геологический круговорот* масс земной коры, в котором *одновременно* участвуют как эндогенные, так и экзогенные процессы.

Представим на минуту, что эндогенные процессы прекратились. Тогда в результате действия речных систем, селей, оползней, выветривания (иначе говоря, экзогенных процессов) исчезнут за какие-нибудь 150–200 миллионов лет не только горные массивы, но и вообще все участки суши, а вся поверхность нашей планеты станет поверхностью единого океана. Если силы Сейсмоса возводят горные хребты, вздымают возвышенности, то экзогенные силы как бы стремятся уничтожить творения Сейсмоса. Так что ему нужно трудиться все время, чтобы «могла Земли кора такой прекрасной быть, как в сказке».

Таким образом, рассматривая эндогенные процессы, мы должны учитывать также процессы экзогенные. Внутренние и внешние силы Земли творят общее дело – они творят нашу природу, такую разнообразную, яркую, красивую, пребывающую в непрекращающемся развитии. Обратим внимание на то, что энергия экзогенных процессов – это не только энергия солнечного излучения, но и потенциальная энергия горных массивов, которую они накопили благодаря работе эндогенных сил, воздвигших эти массивы. Экзогенные процессы в значительной степени связаны с движениями земной атмосферы и земной гидросферы, а сами атмосфера и гидросфера сформировались на нашей планете благодаря эндогенным процессам. По большому счету, их тоже сотворил Сейсмос. Наконец, он же вместе с экзогенными силами наполнил земную кору полезными ископаемыми. В том числе горючими полезными ископаемыми, из которых человек добывает необходимую для своей деятельности энергию.

Данная книга состоит из трех частей. Первая часть («Земные недра и солнечное излучение») содержит необходимую информацию о двух основных источниках энергии на Земле, в частности, в ней раскрывается смысл выражения «энергия, высвобождающаяся в земных недрах».

Вторая часть посвящена эндогенным процессам. Здесь достаточно подробно обсуждается глобальная тектоника литосферных плит, и на ее основе рассмотрены землетрясения и вулканизм. В третьей части книги речь идет о геологических экзогенных процессах.

Автор выражает благодарность Тарасовой Татьяне Борисовне за ценные замечания, сделанные в процессе работы над рукописью и за помощь в подготовке ее к изданию.

## **Интродукция 1: Смелая гипотеза Альфреда Вегенера**

Шестого января 1912 года на собрании Немецкого геологического общества во Франкфурте-на-Майне немецкий метеоролог и геофизик *Альфред Вегенер* (1880–1930) выступил с сенсационным сообщением, в котором выдвинул *гипотезу дрейфа материков*. Согласно этой гипотезе, относительно легкие гранитные материки медленно скользят (дрейфуют) по неподвижной тяжелой базальтовой земной коре. При определенных условиях они могут раскалываться на части, которые начинают расходиться друг от друга. Свою гипотезу Вегенер изложил в книге «Происхождение континентов и океанов», опубликованной в 1915 г.

Взглянув на глобус, мы можем легко убедиться, что очертания восточного берега Южной Америки подозрительно точно *совпадают* с очертаниями западного берега Африки. Исходя из такого совпадения, Вегенер предположил, что некогда Южная Америка и Африка входили в состав *единого континента*. Потом континент раскололся на части. Южная Америка и Африка стали отдельными континентами и постепенно разошлись в разные стороны. В результате образовался (или, как говорят геологи, раскрылся) Атлантический океан. Занявшись изучением геологии, палеонтологии, палеоклиматологии, Вегенер постарался для обоснования своего предположения найти доказательства тому, что Южная Америка и Африка действительно составляли некогда единое целое.

Доказательства были найдены. Вегенер обнаружил сходство в строении и составе пластов горных пород хребта на юге Аргентины и Капских гор Южной Африки. О былом единстве свидетельствовал также анализ гранитных массивов Бразилии и Средней Африки. Была выявлена общность вымерших рептилий и некоторых ископаемых ракообразных для обоих материков Южного полушария. Вегенер составил схемы распространения не только ископаемой, но и современной фауны и флоры, подтвердившие единство этих материков в прошлом. Были найдены и палеоклиматические аргументы. Из них следовало, что в прошлом климат на современных материках был совершенно иным. Это можно было

объяснить тем, что в процессе дрейфа материка пересекали различные климатические пояса. Доказательством служили обнаруженные в Южной Америке, южных районах Африки, а также в Австралии и даже в Индии остатки древнего оледенения, которое охватило примерно 300 млн лет назад значительную территорию вокруг Южного полюса.

Представленные Вегенером доказательства в пользу гипотезы дрейфа материков показались многим геологам убедительными, и поначалу она получила поддержку. Но вскоре ее подвергли критике, которая все усиливалась. Уж очень гипотеза Вегенера противоречила общепринятой *фиксистой концепции*, исходившей из признания неизменного (фиксированного) расположения материков. К тому же Вегенеру не удалось удовлетворительно объяснить, какая сила заставляет скользить твердый материк по твердому базальтовому основанию земной коры. Никаких иных сил, кроме центробежной, обусловленной вращением Земли, Вегенер предложить не смог, а эта сила была явно недостаточной для того, чтобы двигать материка. Что же касается данных, свидетельствовавших в пользу общности фауны и флоры Южной Америки и Африки, то этому было дано альтернативное объяснение: возможно, некогда существовал «сухопутный мост» между материками в виде огромного массива суши, который затем по каким-то причинам опустился в воды Атлантического океана.

В 1928 г. в Нью-Йорке состоялся симпозиум геологов, на котором обсуждалась гипотеза Вегенера. Подавляющее большинство ученых высказалось против нее, обвинив автора в «выборочном подыскивании подтверждающих данных». Так незадолго до гибели Вегенера в 1930 г. во время экспедиции в Гренландии была публично похоронена его смелая гипотеза. К концу 1930-х годов практически всеми учеными была отвергнута сама идея *мобилизма*, предполагающая подвижность материков (термин «мобилизм» происходит от латинского слова *mobilis*, означающего подвижный). Одни называли ее «дикой фантазией Вегенера», другие – «прекрасной мечтой поэта».

Впрочем, будущее показало, что похороны концепции мобилизма следует считать преждевременными. Да, гранитные материковые массивы не перемещаются по базальтовому основанию, собственно, и единого базальтового основания нет. *Материковые массивы неподвижно покоятся на литосферных плитах. Однако сами плиты не неподвижны, а медленно перемещаются по слою астеносферы вместе с мантийным веществом астеносферы.* Так что в конечном счете можно утверждать: *материки действительно дрейфуют.*



## Интродукция 2: От гипотезы Вегенера к теории тектоники литосферных плит

Широкое и систематическое изучение геологии Мирового океана привело к тому, что в 50-х годах прошлого столетия идея мобилизма стала возрождаться. Сейсмические исследования показали, что под дном океанов действительно нет гранитных пород, т.е. там нет слоя, характерного для континентов. С помощью эхолокации были обнаружены срединно-океанические хребты и рифтовые зоны. В 1958 г. американский геолог *Г. Менард* обобщил результаты исследований рельефа дна Тихого океана в книге «Геология дна Тихого океана».

В 1962 г. появилась статья американского геофизика *Г. Лесса* «История океанических впадин», где была изложена идея «разрастания морского дна» благодаря явлению спрединга в рифтовых зонах. Эта идея активно разрабатывалась также американским геофизиком *Р. Дитцем*. В 1963 г. английские геофизики *Ф. Вайн* и *Д. Мэтьюз* пришли к заключению, что наблюдаемые на дне океанов полосовые магнитные аномалии представляют собой «запись» инверсий магнитного поля Земли в базальтах расширяющегося океанического дна. На этом основании французский геофизик *К. Ле-Пишон* произвел расчеты возраста океанического дна.

В 1965 г. канадский геолог *Дж. Вильсон* впервые обратил внимание на то, что литосфера разбита на ряд плит, оконтуренных тремя типами границ: рифтовыми зонами, зонами субдукции и чисто сдвиговыми разломами. Несколькими годами позже американец *В. Морган* и француз *К. Ле-Пишон* выделили наиболее крупные литосферные плиты и рассчитали параметры их движения. Пришлось вспомнить о предложенном английским геологом *А. Холмсом* еще в 1929 г. механизме континентального дрейфа не по базальтовому основанию, а по астеносфере, которая благодаря конвекции течет и подобно «ленте конвейера» увлекает континенты. Теперь на «конвейерной ленте» астеносферы оказались не просто континенты, а литосферные плиты.

Так постепенно возрождалась гипотеза Вегенера. Но возрождалась она уже в новом качестве, иными словами, на новом уровне. Новая точка зрения состояла в том, что *материки дрейфуют не сами по себе, а вместе с литосферными плитами, на которых они находятся*. И происходит этот дрейф не по базальтовому основанию, а по конвектирующей астеносфере, уподобившейся движущейся «ленте конвейера». В полный голос новая теория, выросшая из некогда похороненной гипотезы, прозвучала на ежегодной конференции Американского геофизического союза в 1967 г. в докладе *В. Моргана*. Так родилась *теория тектоники литосферных плит*, которую большинство геофизиков рассматривают ныне как наконец-то появившуюся в геологии современную и строго научную теорию развития Земли.



**Часть первая**

**ЗЕМНЫЕ НЕДРА  
И СОЛНЕЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ**



# Земные недра

---

## 1.1. Сейсмология

Не будучи в состоянии проникнуть в глубь земной коры более, чем на десяток километров, ученые, однако, нашли способ «просматривать», а лучше сказать, «прослушивать» земные недра во всем их объеме. Речь идет о *сейсмологии* – разделе геофизики, изучающем землетрясения и, кроме того, использующем сейсмические волны для исследования внутреннего строения Земли (греч. *seismos* – колебание). В связи с этим говорят о *сейсмических методах* исследования земных недр, или, иными словами, о *сейсморазведке*.

Один из основателей сейсмологии российский ученый *Борис Борисович Голицын* (1862–1916) говорил: «Можно уподобить землетрясение фонарю, который зажигается на короткое время и освещает нам внутренность Земли, позволяя тем самым рассмотреть то, что там происходит». Предположим, что в каком-то месте внутри Земли произошел подземный толчок. Он может быть вызван землетрясением или искусственным взрывом. От этого места тут же начинают распространяться во все стороны колебания частиц земной породы (*сейсмические волны*). Вот их-то и исследуют сейсмологи.

Различают два типа сейсмических волн – *объемные* и *поверхностные*. Первые распространяются в объеме земного шара, а вторые бегут по его поверхности. Сейсмологи, изучающие структуру земных недр, интересуются, прежде всего, объемными сейсмическими волнами. Эти волны могут быть либо *продольными*, либо *поперечными*.

В продольных волнах колебания частиц породы представляют собой смещения вперед и назад вдоль направления распространения волны. Фактически это волны сжатия и разрежения; они очень похожи на звуковые волны, распространяющиеся в воздухе. В поперечных волнах колеблющиеся частицы среды смещаются перпендикулярно к направлению распространения волны. Чтобы такое было возможно, среда должна