

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
Российский государственный гидрометеорологический университет

«ГЕОФИЗИКА»

Темы: 5. Пространство и время в науках о Земле
6. Взаимодействие геосфер

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ



Санкт-Петербург
2004

УДК 550.3

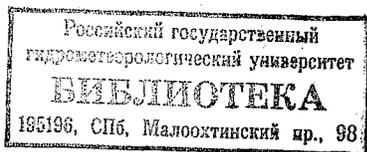
Павлов А.Н. Геофизика: Тема 5. Пространство и время в науках о Земле. Тема 6. Взаимодействие геосфер. Конспект лекций. СПб.: изд. РГГМУ, 2004. – 78 с.

Рецензент: И.А. Одесский, проф. СПб ГГИ

Обсуждаются современные представления о фундаментальных категориях геофизики и геологии – пространстве и времени. Показано, как на этих категориях строится геологическая история Земли. Впервые в учебную литературу введено понятие временной напряженности и построены новые отношения прошлого, настоящего и будущего.

С позиций взаимодействия геосфер исследованы их внутренние и внешние границы. Природные циклы и основные формы круговорота природных вод рассмотрены как основные механизмы взаимодействия геосфер. Показано, что энергетической базой взаимодействия геосфер являются природные тепловые «машины» Земли.

Конспекты предназначены для студентов и преподавателей, связанных с изучением наук о Земле.



- © А.Н. Павлов, 2004
- © Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2004

УДК 550.3

Тема 5. ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

... я тихо выпал из пространства,
обозначенного временем и расстоянием.
Кэндзабуро Оэ

5.1. Пространственно-временной изоморфизм

В любой области науки проблема пространства-времени всегда является центральной. И в зависимости от того, как она решается, определяется наше видение мира и подход к решению конкретных задач теории и практики. К сожалению, немногие задумываются над этим вопросом, особенно в геологии, и мало кто пытается в этом направлении работать. По нашему же глубокому убеждению только пространственно-временные разработки позволят геологии выйти на новые современные рубежи науки. Подкрепим это утверждение несколькими примерами. И начнем с живописи, потому что живопись по своей сути поразительно близка геологии, особенно в области картирования, при котором трехмерные объекты евклидова пространства мы изображаем на плоскости. При этом мы понимаем, что всякая карта есть лишь модель реального, так же как картина отражает «индивидуальные перцептивные* гипотезы художника... в одно и то же время это и обычный кусок бумаги или холста, покрытый красками, и нечто совсем иное – отображение предметов, существующих в ином пространстве и времени или даже вовсе несуществующих» [Грегори Р., 1972 г.].

Обычное естественное для восприятия человека трехмерное пространство, обычная перспектива – уменьшение размеров предметов в направлении от наблюдателя. Продуктом этих представлений является то, что называют классической живописью. Но вот мы любуемся иконами. И вдруг начинаем понимать, что не мы смотрим на икону, а икона смотрит на нас, что не мы разглядываем, а нас разглядывают. И вот мы уже смещены в пространстве, стрела наблюдателя повернулась на 2л, мир стал другим. Мы осознаем, что

* Перцепция – восприятие. У Р. Грегори – активное восприятие, связанное с построением гипотез о предметах и явлениях.

не только мир существует относительно нас, но и мы существуем относительно мира и, таким образом, наше видение это еще не все.

Мы видим картину, находясь по отношению к ней в другом высшем измерении, из своей мерности мира мы смотрим на иллюзию этого мира в плоскости (в двухмерном измерении) и не можем в эту иллюзию войти.

Так, одномерный отрезок может находиться в двухмерной плоскости, но плоскость не может быть частью отрезка. Так, грань может быть частью куба, а куб не может быть частью грани. Так и мы со своей природной трехмерностью можем попасть лишь в пространство n -мерное, где $n > 3$. И как трехмерное существо мы не можем в принципе поместиться в пространстве той же размерности, мы можем с трехмерным пространством только слиться, исчезнуть в нем, как одна плоскость может быть поглощена другой. Вмещающее нас пространство может быть только n -мерным при $n > 3$.

Геология все еще видит окружающий человека мир трехмерным, находясь тем самым, по выражению К. И. Валькова [1984 г.], в *области научных суеверий*. Однако, пытаясь сравнить между собой трехмерные объекты, пытаясь воссоздать единую их структуру в рамках трехмерной планеты, геолог вынужден эти объекты мысленно совмещать, чтобы установить их сходство или различие. А такое совмещение возможно только при условии, что объект будет вынесен за пределы трехмерного пространства. Например, чтобы измерить длину отрезка на плоскости, необходимо наложить на него некоторый эталонный отрезок (линейку), который из этой плоскости следует предварительно изъять и перенести. Таким образом, в своей работе геолог вынужден использовать четырехмерный мир, т. е. еще одну пространственную координату. *И роль такой координаты для него выполняет геохронологическая шкала*. Заметим, однако, что до сих пор операции *взаимосвязи пространственной и временной шкал* совершаются почти интуитивно. За ними не стоит никакой физической базы и даже их логические основания весьма смутны. В частности, неясно, как связана геохронологическая шкала с координатами трехмерного пространства и вообще существует ли реально такая связь, как следует соотносить начало этих шкал, одномерна ли шкала времени и т. д.

Геология (и геофизика) сформировалась на классических представлениях о категориях пространства-времени, т. е. на тех, что бы-

ли заложены еще эллипами и оформлены И. Ньютоном. Согласно этим представлениям во всех инерциальных системах отсчета пространство является однородным и изотропным, а время – однородным. Причем и то и другое – абсолютны, т. е. независимы не только друг от друга, но и от чего бы то ни было. «Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью... Абсолютное пространство по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным» [И. Ньютон].

Как при таком мировоззрении геологам все же удалось выйти *за рамки трехмерного мира*? Им помогло тождество

ниже/выше \equiv раньше/позже,

предложенное в середине XVIII века Н. Стеноном* как главный принцип так называемого стратиграфического** расчленения.

Это тождество легло в основу современной стратиграфии, геохронологии и картирования. Смысл его прост и понятен. Если в геологическом разрезе вы наблюдаете чередование слоёв и уверены, что они каким-то образом не были перевернуты и смещены, а залегают, как принято говорить в геологии, нормально, то можно утверждать, что каждый нижний слой образовался раньше верхнего (рис. 5.1.1). Принцип Н.Стенона декларирует *пространственно-временной изоморфизм, т.е. правомерность подмены временных и пространственных терминов.*

Представьте себе, что в слое известняков, показанных на рис. 5.1.1, обнаружены окаменелые остатки морских ежей, которые не встретились ни в нижних слоях (глинах и песчаниках), ни в верхнем слое песка и гальки. Пусть мощность известняков, т.е. расстояние от их подошвы до кровли, равно 3 м. Тогда на вопрос, сколько жили обнаруженные морские ежи, можно ответить: *они жили 3 м.* На вопрос, когда они здесь появились, ответ будет такой: *они появились после того, как в этом бассейне отложился слой*

* Николо Стенон (в литературе встречается и другая транскрипция: Николаус Стено). По происхождению датчанин, но всю жизнь прожил в Италии.

** Stratum – слой (слой).

глин. Привычные временные категории, как мы видим, в соответствии с принципом Н. Стенона заменяются пространственными или событийными.

На этом построены все геологические реконструкции. Различные разрезы, даже находящиеся на разных континентах, сравниваются между собой по событиям-меткам, точнее по следам одинаковых событий, называемых руководящими.

В геологии построены специальные опорные разрезы, выполняющие роль эталонов и позволяющие воссоздавать геологическую историю отдельных регионов и Земли в целом. Но эта история «наизнана» на временную шкалу последовательности событий. В обычном понимании времени, как протяженности, геологические шкалы можно назвать псевдодовременными. Ведь совпадение событий не гарантирует их одновременности. Скажем, на разных территориях в каких-то слоях зафиксировано исчезновение одних и тех же форм фауны и появление других, но тоже одинаковых для этих разных территорий. События – одинаковые, одни и те же. Но у нас нет никаких гарантий, что произошли они одновременно. *Одинаковость событий не означает их совпадения во времени.*

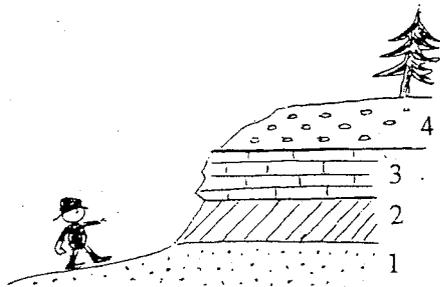


Рис. 5.1.1. Схема обнажения горных пород.

1 – пески и песчаники; 2 – глины; 3 – известняки; 4 – галька с песком.
Вначале возник слой 1, далее на нём – слой 2, потом – 3 и, наконец, – слой 4.

Таким образом, можно констатировать, что события-часы пишут свой циферблат в пространстве. Время как бы «вмораживается» в него, материализуясь в горных породах, минералах, остатках животных и растений, в древних храмах, городах и т.п. Становясь прошлым, события-часы останавливаются, перестают «тикать».

5.2. Относительная геохронология

В основе относительной геохронологической шкалы лежит первая часть тождества Н. Стенона, по существу, развитая в работах английского геодезиста и геолога У. Смита (1769–1839 гг.) как принцип суперпозиции. Согласно этому принципу в разрезе осадочных пород каждый последующий слой отлагался на предыдущем, а значит, был моложе его. Таким образом, эта простая идея определила для трехмерного пространства, занимаемого геологическими телами, положение общепринятой стрелы времени, совместив ее с координатой Z , направленной по радиусу Земли к центру. При этом если поверхность Земли в какой-либо точке принять за нуль временной шкалы, т.е. за настоящее, то в направлении к центру Земли стрела времени будет повернута в прошлое, а по радиусу от центра – из прошлого в будущее. В дальнейших наших построениях положение нуля как настоящего, разделяющего прошлое и будущее, и направление вектора времени окажутся принципиальными. Пока лишь заметим, что в геологии все стратиграфические описания разрезов принято производить снизу вверх, имея в виду общую концепцию о единой и необратимой стреле времени из прошлого в будущее.

Стратиграфическая шкала – это шкала событийная, но построена она на событиях уникальных. Это означает, что шкала времени, которую она олицетворяет через тождество Н. Стенона, принципиально ничего общего не имеет с обычной шкалой физического времени, основанной на таких повторяющихся и периодических событиях, как вращение Земли, движение ее вокруг Солнца, как ход маятника и т. д. *Это шкала, в которой время не имеет размерности и числового выражения, это шкала последовательности событий, сменяющих друг друга в направлении от прошлого к будущему.*

Поэтому хронология, которую стратиграфическая шкала фиксирует через некоторые событийные датировки, по существу, является условной, поскольку геология не располагает никакими гарантиями, что одни и те же события-даты, устанавливаемые в разных разрезах, являются одновременными на обычной шкале физического времени.

Известно, что на протяжении геологической истории происходило развитие животного и растительного мира. Этот факт позволяет декларировать *пространственно-временную связь между ходом развития живой и неживой материи*. По существу, речь идет о *постулировании идеи, что процессы биологические, физические и химические как различные часы имеют одинаковый ход*. К этому вопросу мы еще вернемся, а теперь настало время привести и кратко прокомментировать стратиграфическую и связываемую с ней геохронологическую шкалы (табл. 5.2.1), которые приводятся здесь в планетарном, или, как иначе говорят, международном масштабе (МСШ).

В шапке таблицы приведены стратиграфические названия: *эонотема, эратема, система, отдел*, в скобках – названия соответствующих им элементов геохронологической шкалы. В региональных (РСШ) и местных шкалах используют и более дробное расчленение: *ярус**, *подъярус, пачка, слои* и т. д. Теперь дадим некоторые комментарии к названиям, встречающимся в таблице.

1. *Эон* – длительный промежуток времени (от греч. αἰών – век, эпоха), объединяющий несколько эр.

2. *Эонотема* – биостратиграфический эквивалент толщи пород (*литомы*), образующей некий структурный этаж. В современной геологии широко используются термины «*фанерозой*» и «*криптозой*», обозначающие два очень длительных временных интервала в геологической истории Земли, первый переводится как «*явная жизнь*», второй – «*скрытая жизнь*» (выделены в 1930 г.). Фанерозой отождествляется с эоном.

3. KZ – кайнозойская эра (эра новой жизни).

4. MZ – мезозойская эра (эра средней жизни).

5. PZ – палеозойская эра (эра древней жизни).

6. PR – протерозойский эон (первичная жизнь).

7. AR – архейский эон (древнейшая жизнь).

Стратиграфическим синонимом *эратемы* является понятие *группы*. Например, чаще говорят – мезозойская группа отложений.

8. *Эратемы (группы)* делятся на системы, а соответствующие им *эры* – на *периоды*. Названия систем и эр складывались исторически. Чаще всего своим происхождением они обязаны названиям ре-

* В Стратиграфическом кодексе СССР (1977 г.) ярус относился к категории общих стратиграфических подразделений.

гионов, в которых соответствующие толщи пород были впервые выделены и изучены. Исключения составляют, пожалуй, лишь самые древние отложения криптозооя и самые молодые, относящиеся к четвертичному периоду (Q). Архейский (AR) и протерозойский (PR) зоны до сих пор еще не имеют сложившейся и общепринятой таксономической структуры.

В табл. 5.2.1 протерозой (как зон) разделен на две части: нижний протерозой (PR₁) и верхний (PR₂). В верхнем выделяют эру – *рифей* (R) (по древнему названию Урала – Rípheus) и период под названием *венд* (V) (по имени древнего славянского племени «*венды*», или «*венеды*»).

9. *Є* – кембрийская система (по древнему названию провинции Уэльс в Англии – Cambria).

10. *O, S* – ордовикская и силурийская системы (по названию древнеуэльских племен – «ордовиков» и «силуров»).

11. *D* – девонская система (по названию графства Девоншир в Англии).

12. *C* – каменноугольная система (по широкому развитию в этих отложениях залежей каменного угля).

13. *P* – пермская система (по названию Пермской губернии в России).

14. *T* – триасовая система (по делению системы на три части).

15. *J* – юрская система (по названию Юрских гор в Швейцарии и Франции).

16. *K* – меловая система (по широкому развитию в отложениях этой системы писчего мела).

17. *P* – палеогеновая система (древнее происхождение – нижняя, наиболее древняя часть кайнозойской группы).

18. *N* – неогеновая система (новое происхождение).

19. *Q* – четвертичная система, именуемая иногда антропогеном *A_p* (периодом появления человека) – название предложено академиком А. А. Павловым в 1922 г.

20. Большинство систем делятся на три отдела, называемых *нижним, средним и верхним*. Например, *C₁* – *нижний отдел* каменноугольной системы. Соответствующие им эпохи называют *ранними, средними и поздними*. Например, *C₁* – *раннекаменноугольная эпоха*. Если отдела не три, а два, то они называются соответственно нижним и верхним отделами с временными эквивалентами – ранняя и поздняя эпохи.

Таблица 5.2.1

**Стратиграфическая и геохронологическая
шкалы с датировками в астрономической шкале**

Эонотема (эон)**	Эратема (эра)	Система (период)	Отдел (эпоха)	Возраст (начало эпох), млн. лет*	
Фанерозой	KZ	Q	Q _{IV} Q _{III} Q _{II} Q _I	1–2	
		N	N ₂ N ₁	5 24	
		P	P ₃ P ₂ P ₁	36 55 62	
		MZ	K	K ₂ K ₁	96 138
			J	J ₃ J ₂ J ₁	166 184 209
		T	T ₃ T ₂ T ₁	231 240 246	
			P	P ₂ P ₁	257 287
	PZ	C	C ₃ C ₂ C ₁	301 317 354	
			D	D ₃ D ₂ D ₁	371 381 410
				S	S ₂ S ₁
		O			O ₃ O ₂ O ₁
			E	E ₃ E ₂ E ₁	518 542 571
		$PR = \frac{PR_2}{PR_1}$		R	V
$AR = \frac{AR_2}{AR_1}$					

*Начало эпох округлено до целых чисел и от N₂ до PR даны по работе [1], для криптозоя – по работе [5].

**AR+PR – криптозой (или докембрий).

21. Стратиграфические и геохронологические таксоны* кайнозойской группы и эры имеют, кроме того, и специальные названия: P_1 – палеоцен, P_2 – эоцен, P_3 – олигоцен; N_1 – миоцен, N_2 – плиоцен; Q_1 , Q_{II} , Q_{III} – эпохи ранне-, средне- и позднечетвертичная, вместе называют еще плейстоценом, а Q_{IV} – голоценом. Таким образом, можно говорить, что четвертичный период делится на плейстоцен и голоцен. Специальные названия имеют и отделы некоторых других систем, но в последние годы ими довольно редко пользуются.

Стратиграфические и соответственно геохронологические шкалы являются классификационной и метрической базой геологии. Однако эта база постоянно развивается и совершенствуется. Так, ранние классификации содержали три основных подразделения: *первичную, вторичную и третичную эры, значительно позже к ним по аналогии прибавилась четвертичная эра.* Названия первичной и вторичной эр просуществовали недолго и позже трансформировались в AR, PR, PZ, MZ. Кайнозойская же эра довольно долго делилась на третичный и четвертичный периоды. Третичный обозначался Tg и состоял как бы из двух полупериодов – Ng и Pg, отложения которых не всегда можно было выделить в соответствующих толщах третичной системы. Но с 1960 г. от этого термина геология отказалась.

Произошли и другие изменения: бывший нижний отдел силурийской системы выделился в самостоятельную ордовикскую систему, поменялись многие индексы, например, Ng на N, Pg на P, Cg на K, Sm на E и т. д., особенно в региональных и местных шкалах на уровне ярусов, подъярусов, пачек, слоев и др.

Приведенная шкала имеет статус международной, однако даже в этом ранге у нее есть варианты, в частности, вместо каменноугольного периода в европейской шкале в США выделяют два периода: миссисипский, сразу следующий за девонским, и пенсильванский, предшествующий пермскому.

Каждая эра, период, эпоха характеризуются своим набором живших организмов, эволюцию которых многие геологи считают одним из критериев построения стратиграфической шкалы и отно-

* *Taxis* – порядок, *nomos* – закон (греч.).

сительной геохронологии.*

И здесь мы вновь возвращаемся к принципам проведения стратиграфических границ, среди которых особое место занимает вопрос об их естественности. Подробно с этим важнейшим вопросом читатель сможет познакомиться, обратившись к работам С. А. Мороза и В. И. Оноприенко, а также других авторов, особенно С. В. Мейна и В. Л. Егояна.

Суть же его уходит корнями в общефизическую проблему устойчивости и изменчивости, в непримиримость дискретного и непрерывного. Не обсуждая здесь разнообразие подходов, можно сказать, что под *естественностью стратиграфических шкал* понимается их соответствие определенным этапам развития разномаштабных экосистем, выражающееся в корреляции палеонтологических, литологических, тектонических и других признаков, характеризующих разрезы и регионы. Иными словами, речь идет о том, что, например, в масштабе МСШ тектонические перестройки охватывали всю планету, они сопровождалась перераспределением суши и моря, изменением климата и приводили к изменениям ландшафтным, а те в свою очередь повлияли на состав осадков и характер фауны и флоры. В отдельных регионах изменения происходили на фоне общепланетарных катаклизмов, и потому корреляции событий там более сложны и запутаны. Однако если принимается концепция естественности шкал, мы вынуждены эту запутанность рассматривать как различного рода флуктуации, вводить большое число допущений, сильно упрощать и сглаживать частные различия. Из всего этого возникает задача поисков (открытия) неких естественных эталонов как стратиграфического, так и геохронологического толка, появляется необходимость определения таких эталонов и т. д. Все это, хотя и принципиальные, но все-таки как бы технологические трудности, они вторичны и вытекают из идеологии естественности шкал, т. е. из принятия существования природной дискретности разных порядков, дискретности, которую человек лишь обнаруживает. Сама же дискретность задана как природная объективная закономерность.

* Правильнее, вероятно, считать, что теория эволюции в значительной мере выросла на базе стратиграфии и стала ее объяснением, так как первая стратиграфическая схема У. Смита оформилась в 1799 г., т. е. за десять лет до рождения Ч. Дарвина.

Как альтернатива природной дискретности, а значит, и естественности стратиграфической и геохронологической шкал, существует концепция их условности, основанная на эволюционных идеях чистого дарвинизма, одно из главных положений которого гласит – *«природа не делает скачков и перерывов»*. При такой позиции таксономические категории стратиграфии и относительной геохронологии могут быть только искусственными, создаваемыми по критериям удобства изучения. Утверждение искусственности шкал привело к *«принципу приоритета»*, в соответствии с которым прав тот, кто первый опубликовал свою стратиграфическую схему. В настоящее время этот принцип трансформировался в *«концепцию стратотипа»* – типового разреза.

Эта концепция, по существу, разрешает любой произвольно выбранный разрез рассматривать в качестве овеществленного многопараметрического эталона геологического пространства-времени. Иначе говоря, *эталон утверждается как некая случайная мера*. Такая позиция вполне правомерна, если опирается на *идеологию детерминизма, исключаящую всякую устойчивость*. В последние годы в геологии происходит *возрождение идей катастрофизма в виде так называемой «этапной» парадигмы*, на основе которой концепция естественности стратиграфической и относительной геохронологической шкал получает новое развитие.

5.3. Абсолютная геохронологическая шкала

В этой шкале время измеряется в физических единицах, но обычно не в единицах стандартной размерности секундах, а в годах, тысячах и миллионах лет. Поэтому абсолютную геохронологию правильнее было бы называть астрономической, так как ее шкала непосредственно опирается на такое периодическое явление, как обращение Земли вокруг Солнца. *Эта шкала дает не последовательность событий, а либо их временной интервал, либо возраст, отсчитываемый от настоящего, т. е. от момента оценки расчетных параметров*. Другого нуля, например, такого, как основание Рима или рождение Христова, здесь нет. Разумеется, по возрасту геологических образований нетрудно установить и последовательность их напластования, но это уже вторичный акт.

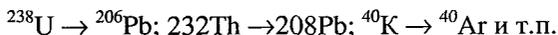
Идея, заложенная в методах оценки протяженности геологических событий и возраста пород, чрезвычайно проста и основана

на знании скорости протекания тех геологических процессов, которые принимаются за часы. Точнее же, речь идет о предполагаемом знании, в котором мы можем убедить себя и других. Например, измерена мощность некой осадочной толщи морских осадков m . Принимая для нее среднюю скорость осадкообразования V , равную известной средней скорости этого процесса в современном океане, легко подсчитать временную протяженность формирования толщи m . Ясно, что $m(t) \neq \text{const}$, $V(t) \neq \text{const}$. Современный океан навряд ли по условиям и скоростям осадкообразования адекватен древнему морскому бассейну, к которому принадлежит толщина m , и т.д. В каждом конкретном случае допущения такого рода можно смягчить, но они неустраимы в принципе.

К настоящему времени, пожалуй, самым разработанным методом является метод «радиоактивных часов», основанный на процессе радиоактивного распада различных природных изотопов. Суть его в следующем.

1. Есть некий радиоактивный изотоп A , принимаемый за материнский элемент.

2. Выбирается в радиоактивном ряду некий изотоп B , представляющий собой один из дочерних элементов. В качестве B может быть выбран и конечный устойчивый продукт ряда (уже не распадающийся). Например, в качестве элементов A и B могут быть приняты:



3. Известно уравнение распада

$$A = A_0 e^{-\lambda t}, \quad (5.3.1)$$

в котором A – оставшееся в породе (наблюдаемое) количество материнского элемента на момент измерений t ; A_0 – начальное количество материнского элемента на момент времени $t = 0$; λ – постоянная распада (экспериментально установленная для всех используемых при геологических датировках изотопов).

Очевидно, что вся трудность заключается в оценке величины A_0 . Независимым от уравнения (5.3.1) способом она не определяется, ее можно только предположить, используя те или иные аналогии. Однако вместо распадающегося изотопа появляется новый дочерний продукт B .

Его количество можно измерить, и если содержания элементов A и B выражены в атомных единицах, то очевидна другая форма записи уравнения распада

$$A = (A + B)e^{-\lambda t}, \quad (5.3.2)$$

из которого следует

$$e^{\lambda t} = 1 + B/A; t = (1/\lambda) \ln(1 + B/A). \quad (5.3.3)$$

Например, для ряда $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$

$$t = (1/\lambda) \ln (1 + ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}). \quad (5.3.4)$$

Приведенный пример следует рассматривать как чисто иллюстративный относительно идеи.

Все выглядит до чрезвычайности просто: *берут образцы, в них определяют содержания ^{238}U и ^{206}Pb в атомных единицах, по таблице в соответствующем справочнике находят значение постоянной распада λ , и все – возраст t известен.* Однако на самом деле во всем этом существует очень много неясностей, связанных с рядом принципиальных допущений.

1. Элементы A и B за весь период t не должны в горную породу привноситься и из нее выноситься, т. е. горная порода как система, содержащая элементы A и B , должна быть изолирована. Речь идет о радиоактивном равновесии, для которого и написано уравнение распада (5.3.1).

2. По существу, определяется не возраст породы, а время образования соотношения A/B . А то, что *это время равно возрасту породы – это лишь допущение, принимаемое как постулат. Этот постулат предполагает, что A и B -содержащие минералы возникли одновременно с породой, а не являются эпигенетическими (т. е. вторичными новообразованиями) и не были привнесены со стороны.*

Мы не останавливаемся здесь на современной технологии определения изотопов, она весьма разнообразна, имеет свою специфику, свои сложности и проблемы. Но это уже не наша область.

5.4. Магнитная геохронологическая шкала

Эта шкала появилась относительно недавно и обязана разработкам по плитной тектонике. В ее основе лежат следующие два обстоятельства:

1. Вариации магнитного поля Земли, связанные с периодичностью смены магнитных полюсов (см. тему 3).

2. Существование природных минералов – магнетиков, которые при застывании магматических расплавов или в процессе раннего диагенеза первичных жидких илов, образуясь на начальной стадии этих процессов, способны ориентироваться в магнитном поле Земли и сохранять эту ориентацию как «вмороженную» информацию о магнитных меридианах своего времени.

По быстро накапливающимся осадкам установлено, что изменение знака магнитного поля Земли происходит с периодом в несколько тысяч лет. Прямое и обратное чередование намагниченности пород в различных разрезах мира позволило выделить по ним магнитные стратоны от эонов до так называемых ивент (событий) (см. рис. 5.4.1). Один из макетов магнитостратиграфической шкалы фанерозоя был предложен советскими геологами на 27-м Международном геологическом конгрессе в Москве [1984 г.].

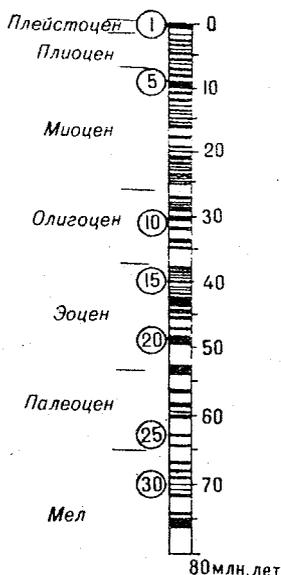


Рис. 5.4.1. Хронологическая геомагнитная шкала.
В кружках показаны номера магнитных аномалий.
Черные линии – периоды прямой полярности геомагнитного поля.

Этот макет содержит гиперзоны со следующими временными границами: 610, 535, 485, 430, 360, 295, 240, 215, 175, 110, 70 и 38 млн. лет. Средняя же продолжительность палеомагнитных стратонов в настоящее время оценивается следующими цифрами, годы: *эпизоды* полярности – 10^4 – 10^5 ; *эпохи* – 10^5 – 10^6 ; *периоды* – 10^6 – 10^7 ; *эры* – 10^7 – 10^8 .

В построении магнитной геохронологической шкалы до сих пор много неясностей. В них еще предстоит разбираться.

5.5. Прошлое, настоящее и будущее

В предыдущих разделах мы пришли к очень важным выводам:

1. В геологии всякие датировки неотделимы от событий.
2. Евклидово пространство, которое использует геология, и шкала геологического времени не являются абсолютными.
3. Нельзя измерить ход часов без измерения пространства.

Эти выводы не являются тривиальными, поскольку многие геологи еще обращаются с понятием времени как с чистой абстракцией, как продуктом только нашего разума. Иллюстрацией такого классического мировоззрения может служить прекрасная работа В. Егояна (см. список доп. литер.). Анализируя мировой опыт стратиграфических исследований, он пытается разобраться в причинах существующей сегодня множественности стратиграфии: *хроно-, био-, лито-, геоисторических и тектонических, этапо-, ритмо-, климато-, эвстато-, цикло- и других*, указывая, что общее число терминов на 1985 г. достигало 130. По-видимому, понимая, что подобная ситуация является обычным продуктом обычного процесса дифференциации науки и что стратиграфия как наука с богатой историей и традициями этой участи не избежала, он делает попытку ревизовать происходящий процесс, интуитивно выходя на задачу интеграции достигнутых результатов. В этом смысле указанная работа является пионерской по постановке вопроса и ее полезно изучить самым внимательным образом.

Однако мы выделили эту работу из многих других на эту тему еще и потому, что, несмотря на высокий уровень владения материалом, автор не показал нам путь интеграции, т.е. выход из того кризисного положения, в которое, по его словам, стратиграфия попала. Действительно, с какого-то момента процесс естественной дифференциации знания ведет к информационной смерти. Наука теряет

цель, знание девальвирует. По-видимому, здесь работает закон увеличения информационной энтропии. Это явление развивается самопроизвольно. Интеграция же требует усилий, но усилия эти только тогда дадут результат, когда будут изменены основания науки. В.Л. Егоян опирается на идею упрощенного геологического материализма:

• геолог видит горные породы, их состав, структуру, текстуру, видит слои, окаменевшие фауну и флору, взяв образец и рассмотрев его под микроскопом, он опять же увидит, скажем, пыльцу, споры, микроорганизмы и т. д.

Все это Егоян называет фактами и считает, что стратиграфия строится только на такого рода фактах, что, в конечном счете, это наука фактологическая. Все же остальное – хроно-, этапо-, ритмо-, климато-, эвстато-, циклостратиграфию и т.д. он рассматривает как различные формы интерпретации фактов, т.е. как некие логические измышления, в чем-то и зачем-то устраивающие геологов, пытающихся понять то, что они видят. Здесь, пожалуй, уместно вспомнить замечание М. Борна, что эксперимент (а в геологии – наблюдение) вообще ничего не значит, пока он не интерпретирован теорией. Тем не менее В.Л. Егоян считает, что фактологическая стратиграфия, с которой все начиналось, это и есть стратиграфия истинная, а хроно-, этапостратиграфия и т.п. – это только квазистратиграфии (как будто бы стратиграфии). Нельзя не согласиться с тем, что все эти термины (этапо-, ритмо-стратиграфия и др.) в конечном счете являются терминами временными и в содержательном смысле они тавтологичны. Просто эти термины обозначают разные типы часов. Но главное здесь заключается в том, что Егоян считает время критерием для стратиграфии «неосвязаемым». Вот в чем суть. И если с ней согласиться, то следует безоговорочно признать все доводы автора, т. е. отбросить все существующие квазистратиграфии и не тратить время на создание новых. Но это неосуществимо, «голос разума» будет криком в пустыне.

Дело в том, что все так называемые квазистратиграфии, явившиеся продуктом дифференциации истинной фактологической стратиграфии, все же существуют. А существуют они потому, что возникли на здоровых интуициях о связи пространства, в которое вложены геологические тела-факты, с понятием времени, позволяющим отличить вчера от сегодня и сегодня от завтра. В современ-

ной науке эти интуиции находят подтверждение в физических свойствах времени и его материальности, проявляющейся через процессы, каждый из которых представляет собой естественные часы с собственным ходом (Н.А. Козырев, С.В. Мейен, С.М. Базаров, А.Н. Павлов и др.). Таким образом, реальная фактологическая правда состоит в том, что геологические тела вложены в евклидово пространство, тела же возникли в результате разного рода процессов, которые и отсчитывали время их образования, время теперь как бы «вмороженное» в породы в виде их энергосодержания [А.Н. Павлов, 1983 г.]

Очевидно, что при такой пространственно-временной аксиоматике кардинальным образом меняется подход к проблемам стратиграфии. Все шкалы и все основанные на них стратиграфии становятся равноправными по существу. Можно провозгласить, что *нет привилегированных шкал*, есть только шкалы более или менее удобные для решения поставленных конкретных задач.

Интеграция же стратиграфических знаний должна базироваться на уменьшении числа признаков, используемых для выделения и распознавания стратонов. В принципе можно выйти даже на один, но привилегированный параметр – *энергосодержание пород*, который к тому же является универсальным для любых процессов и потому может быть использован в качестве геологического хронометра.

Наши временные представления складываются из понятий прошлого, настоящего и будущего. И от того, каким образом мы эти понятия оформляем и связываем, зависит наш подход к решению и теоретических и, в конечном счете, прикладных задач.

К сожалению, геология все еще исповедует некие бытовые представления прошлого, настоящего и будущего, типа вчера, сегодня, завтра. Но чтобы идейно развиваться, надо переходить на другой уровень понимания этих терминов.

Прошлое, настоящее и будущее – эти категории знакомы нам с детства. Они ассоциируются с такими понятиями как вчера, сегодня, завтра, с нашими представлениями о протяженности событий, об их разделении по принципу *раньше-позже*, о том, что жизнь начинается с рождения, имеет длительность и заканчивается смертью. Мы пользуемся различными часами, различными календарями и различными хронологическими шкалами для отсчёта времени и оценки последовательности и длительности событий: от периода колебаний электромагнитных волн до возраста Земли и Вселенной.

В основе всех этих измерений лежит понятие времени. Что такое время? Одно из известных мне определений звучит приблизительно так:

Время – это то, что меняется, когда уже не меняется ничего.

Нетрудно понять, что по этому определению время и процессы разделены. Они как бы сами по себе. Время рассматривается как длительность, каким-то образом вмещающая процессы, которые на этой длительности сохраняют свои метки.

Такое понимание времени соответствует базовым представлениям классической физики И. Ньютона, опирающейся на геометрию Евклида, т.е. на представления об инерциальных системах (см. курс физики). В соответствии с ними пространство является однородным и изотропным, а время – однородным. Причем, и то и другое – абсолютны, т.е. независимы не только друг от друга, но и от чего бы то ни было.

Связь времени с пространством была научно оформлена лишь в начале XX века. Теория относительности, используя четырёхмерный мир Германа Минковского, стала рассматривать пространство и время в форме связного многообразия, событие в котором определяется как точка.

Г. Минковский первый понял, что чувственно воспринимаемое пространство Евклида может рассматриваться как *форма проявления геометрических свойств реального мирового пространства.*

Заметим, что в четырёхмерном мире Минковского *могут наблюдаться только события уже совершившиеся*, т.е. только *прошлое*. Информация же о *будущем* отсутствует, ибо нечего видеть там, где ещё ничего не произошло, где точки-события еще не сформировались.

Закрытость будущего для наблюдателя выглядит вполне естественной. Эту естественность прекрасно сформулировал Л.Н. Гумилев [1990 г.]:

... настоящее только момент, мгновенно становящийся прошлым. Будущего нет, ибо не совершены поступки, определяющие те или иные последствия, и неизвестно – будут ли они совершены. Грядущее можно рассчитать только статистически, с допуском, лишающим расчёты практической ценности. А прошлое существует; и все, что существует – прошлое, так как любое совершение тут же становится прошлым. Вот почему наука история изучает единственную реальность, существующую вне нас и помимо нас.

Получается, что *прошлое* – это время, связанное с пространством. Можно предположить, что оно имеет *градиентную размерность, фиксируя то, что можно назвать временной напряжённостью*. Обозначим её через E_t . По существу, такая *напряжённость и есть циферблат (с/м)*:

$$E_t = \text{grad } t \quad (5.5.1)$$

В соответствии с основными понятиями теории поля (см. тему 4, разд. 4.1) напряжённость – это сила воздействующая на источник. Она направлена по этой силе и является величиной векторной. Напомним, что если эта сила действует по радиусу от источника, напряжённость считается положительной, если по радиусу к источнику – отрицательной.

В нашем случае «остановившееся» время t выполняет функцию потенциала поля.

Величина $\text{grad } t$ показывает ту «силу», с которой

пространство поглощало время.

Она направлена по радиусу к источнику времени и потому является величиной отрицательной (см. рис. 5.5.1).

Следуя базовым представлениям теории поля, мы можем записать:

$$\tau = -D \text{grad } t \quad (5.5.2)$$

В этой фундаментальной формуле τ – время без пространства («поток» времени *из будущего*, с); D – пространство без времени – *настоящее* (м); $\text{grad } t$ – *прошлое* (с/м).

Таким образом, мы пришли к совершенно необычной схеме:

1. *Время без пространства* неосязуемо, оно находится вне сферы чувственного восприятия и принадлежит *будущему*. Это и есть некое дление. Дление вне нас, в запредельном.

2. *Пространство* осязуемо, мы чувственно воспринимаем его в рамках геометрии Евклида, мы его часть.

3. *Время становится осязуемым только в пространстве*. Пространство связывает время и останавливает его ход. От этого взаимодействия остаются различные события-метки (следы событий), которые формируют различные событийные шкалы, иначе – циферблаты.

В такой постановке становится понятной *мгновенность настоящего, скрытость будущего и реальность прошлого*. Заметим, что в нашей схеме

стрела времени направлена из будущего в прошлое.

Похоже, что древние греки ещё воспринимали именно такую картину прошлого, настоящего и будущего. Во всяком случае в их мифах могучий и коварный Крон, представляя всепоглощающее время (хронос – время; Крон – дитя Земли; у римлян бог времени – Сатурн), пожирал своих детей. А ведь дети и есть будущее.

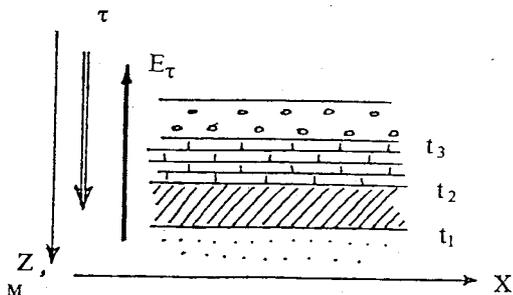


Рис. 5.5.1. Схема взаимоотношения прошлого и будущего.

Z – глубина слоев, м; $t_{1,2,3}$ – датировка подошвы каждого слоя.

По Н. Стенону $t_1 < t_2 < t_3$, если дата отсчитываются снизу вверх, т.е. по порядку напластования. $E_\tau = -\text{grad } t$.

Например, $E_{1-2} = (t_1 - t_2) / \Delta Z_{1-2}$; τ – «поток» времени из будущего.

Позже эта несколько запутанная идея потерялась, поскольку будущее воспринималось как *цель, к которой движется всё*. Время стало осознаваться как стрела, направленная из прошлого.

Я думаю, что это заблуждение теперь пора исправить.

*Из прошлого направлен вектор временной
напряжённости пространства,*

который показывает его «аппетит» к пожиранию времени, к превращению потенциальных возможностей будущего в реальность прошлого, «аппетит», без которого невозможны процессы и события.

Выражение (5.5.2) – это дифференциальное уравнение в частных производных, в котором

$$\text{grad } t = \partial t / \partial x + \partial t / \partial y + \partial t / \partial z.$$

Формально оно имеет смысл только для математической точки (математическая точка – абстрактное понятие; то, что неделимо и не имеет линейных размеров). Именно это обстоятельство и определяет *теоретическую мгновенность настоящего, его нуль-протяженность, его отсутствие где бы то ни было*. Однако решения этого уравнения, называемые интегральными следствиями, всегда связаны с реально воспринимаемым пространством: *отрезком, площадью, объемом. Они-то и насыщаются временем в виде событий, которые их материально оплодотворяют*.

Поэтому, если забыть о математической точке, то настоящее D , помимо линейной размерности, приобретает конкретные очертания. *Мгновение перестает быть нулем: точка размывается, становится областью. Это уже квантовый мир*.

Для этого мира М.Планк вычислил значения минимальной длины (Δl) и минимального времени (Δt), как величин, не поддающихся делению:

$$\Delta l = 1,6 \cdot 10^{-35} \text{ м}, \Delta t = 5,3 \cdot 10^{-44} \text{ с}.$$

Очевидно, что в такой постановке величину Δl следует рассматривать как *минимальную порцию пространства*, которая способна поглотить *минимальную порцию будущего* (Δt).

Тогда для *простой одномерной задачи квантового мира можно вычислить* временной градиент в минимальном настоящем:

$$\tau / D = \Delta t / \Delta l = 5,3 \cdot 10^{-44} / 1,6 \cdot 10^{-35} \approx 3,3 \cdot 10^{-9} \text{ с/м}.$$

Это градиент в некоей *переходной зоне*, когда настоящее это не точка, разделяющая прошлое и будущее, а уже область:

- *временной поток из будущего вошел в настоящее, но ещё не трансформировался в прошлое, ещё не материализовался в пространстве, а только «знакомится» с ним, адаптируется в новых условиях, когда часы «тикают», но начинают «осознавать», что должны будут остановиться*.

Как удивительно просто и одинаково устроен мир:

- *будущее* – временная субстанция, отражающая жизненную потенцию мира,

- *настоящее* – это своеобразный родильный дом, это место адаптации потенциальной вечности, это место, где

• *часы начинают громко тикать*, чтобы потом остановиться в прошлом.

Временной же градиент *прошлого* можно достаточно надёжно оценить по геологическим данным. Конечно, в истории Земли он не был постоянным и, наверное, менялся достаточно сильно, однако осреднённое его значение, скажем, за последние 600 млн. лет (*фанерозой*) получить можно и оно даст представление о порядке этой величины.

По данным геологии мощность осадочного чехла на континентах составляет около 3 км. В основном это толща пород, относящихся к *фанерозою*. Тогда временной градиент по координате Z (радиусу Земли) составит:

$$\text{grad } t = 6 \cdot 10^8 \cdot 3 \cdot 10^7 \text{ с} / 3 \cdot 10^3 \text{ м} = 6 \cdot 10^{12} \text{ с/м.}$$

Нетрудно увидеть, что временной градиент в *настоящем* (переходной зоне) и градиент в *прошлом* существенно отличаются. В прошлом остановившееся время как бы уплотнено. Это «уплотнение» можно оценить через безразмерный коэффициент $P(t)$:

$$\tau = D P(t) \text{ grad } t, \quad (5.5.3)$$

$$P(t) = \tau / D \text{ grad } t = 3,3 \cdot 10^{-9} / 6 \cdot 10^{12} \approx 5,5 \cdot 10^{-22}.$$

Это число показывает, во сколько раз *жизнь короче смерти*. Оно позволяет понять, что *смерть* — это овеществлённая жизнь, что *смерть*, как и *жизнь*, тоже должна иметь начало и конец. Если пространство поглощает время через настоящее, то оно где-то и через чего-то должно от него освобождаться.

В связи с такой гипотезой обратимся к известной космологической модели А.Эйнштейна, построенной им в 1917 г. Исходя из господствовавших тогда представлений о стационарности Вселенной, Эйнштейн поставил естественный вопрос о существовании в ней наряду с силами *тяготения* уравновешивающих сил *отталкивания*. Природу этих отталкивающих сил он связывал с так называемым *гравитационным вакуумом*, иначе с пространством Вселенной, не занятым веществом. (А с чем еще их можно было связать?)

Здесь же я только приведу две формулы, по которым можно оценить ускорение тяготения (a_τ) и ускорение отталкивания (a_0):

$$a_\tau = G M / R^2 \quad (5.5.4)$$

$$a_0 = 3 \cdot 10^{-36} R \quad (5.5.5)$$

Первая получена из известной записи закона всемирного тяготения И. Ньютона: $G = 0,667 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 / (\text{с}^2 \text{ кг})$ – постоянная тяготения; M – масса; R – расстояние. Вторая является продуктом построений А. Эйнштейна.

Наши пространственно-временные соотношения прошлого и настоящего, в частности, величина $P(t)$, были получены на «земных материалах», по крайней мере, в отношении прошлого (*grad t*). Поэтому резонно провести сравнение сил тяготения и отталкивания как функций соответственно *материального и пространственного* в рамках Солнечной системы.

Солнце в области Земли создает гравитационное ускорение, вычисляемое по формуле (5.5.4), в которой $M = 1,98 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ (масса Солнца), а $R \approx 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$ (среднее расстояние от Земли до Солнца).

$$a_\tau = 0,667 \cdot 10^{-10} \cdot 1,98 \cdot 10^{30} / 2,25 \cdot 10^{22} \approx 0,59 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2.$$

Ускорение, создаваемое силами отталкивания, генерируемыми пространством в этой же области, составит:

$$a_0 = 3 \cdot 10^{-36} \cdot 1,5 \cdot 10^{11} = 4,5 \cdot 10^{-25} \text{ м/с}^2.$$

Тогда

$$a_0 / a_\tau = 4,5 \cdot 10^{-25} / 0,59 \cdot 10^{-2} = 7,63 \cdot 10^{-23}$$

От нашего коэффициента $P(t) = 5,5 \cdot 10^{-22}$ эта величина отличается всего на один порядок, что составляет ничтожные доли процента.

Таким образом, наше понимание *прошлого как продукта взаимодействия времени с пространством (материализация времени)* хорошо согласуется с понятием массы как источника гравитации и «пустоты Вселенной» как гравитационного вакуума.

Выражение «пустота Вселенной» я поставил в кавычки потому, что оно обозначает наше незнание этой пустоты. При этом я имею в виду не только чувственное незнание, но и инструментальное незнание того, в чём находятся звезды, галактики, межзвёздная пыль, газ и даже электромагнитное излучение, рассматриваемое современной наукой как вид материи.

Известно, что работы А. Фридмана о нестационарности Вселенной привели А. Эйнштейна к отказу от своей космологической постоянной отталкивания. Он стал считать её «самой грубой ошиб-

кой своей жизни». Открытие Э. Хабблом расширения Вселенной и последующая разработка теории Большого взрыва как будто бы вообще поставили точку на этих разработках великого ученого.

Но вероятно такие гении, как Эйнштейн, не ошибаются, даже когда думают, что ошиблись. Ведь стационарность или нестационарность и λ -член в уравнениях Эйнштейна, оценивающий силы отталкивания гравитационного вакуума, это разные вещи. По существу, условие стационарности, рассматриваемые А. Эйнштейном, это всего лишь условие, помогшее увидеть *свойства «пустого пространства»*. А разбегание галактик – это наложенный процесс. Таким образом, условие стационарности Вселенной позволили Эйнштейну заглянуть в мир запредельного, в мир, состоящий из *чувственного ничего*. Вероятно, это *ничего* и есть *время*. Там, где оно взаимодействует с пространством, появляется *чувственная материя* (масса и поля), в которой часы останавливаются (*время срывается с пространством*).

БУДУЩЕЕ – ЭТО ВРЕМЯ БЕЗ ПРОСТРАНСТВА
(чувственное ничто)
НАСТОЯЩЕЕ – ПРОСТРАНСТВО БЕЗ ВРЕМЕНИ
(чувственная пустота)
ПРОШЛОЕ – ЕДИНОЕ ПОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ
(материя)
ПРОСТРАНСТВО ПОГЛОЩАЕТ ВРЕМЯ,
МАТЕРИАЛИЗУЯ ЕГО В ПРОШЛОЕ.
НЕ ИСКЛЮЧЕНА ДЕХРОНИЗАЦИЯ ПРОШЛОГО,
т.е. ЕГО РАЗРУШЕНИЕ С ОБРАЗОВАНИЕМ
АБСОЛЮТНОГО ВРЕМЕНИ И АБСОЛЮТНОГО
ПРОСТРАНСТВА: СМЕРТЬ ПРОШЛОГО
РОЖДАЕТ НОВОЕ БУДУЩЕЕ.

Мы живём в прошлом, в том времени, которое материализовали для нас наши предки и наши современники. Мы читаем книги, которые уже написаны, живём в домах, которые уже построены, создаем по технологиям, которые кем-то уже разработаны, верим в идеи, которые возникли в умах предшественников и т.д.

ЭТО НАША СУДЬБА!

Сами мы создаем прошлое для наших потомков.

И ЭТО ИХ СУДЬБА!

5.6. Пространственно-временные принципы натуральных исследований в геологии

Подавляющее большинство геологических и геофизических задач, как теоретических, так и прикладных, решается на геолого-исторической основе, которая в свою очередь создается на стратиграфических и геохронологических принципах. Чтобы эти принципы реализовать, необходимо было разработать различного рода приемы наблюдения за геологическими объектами, их документацию, методы анализа получаемого материала и т.д. Иными словами, чтобы от принципов перейти к делу, нужны определенные методы. В геологии они направлены на решение, по крайней мере, двух задач:

1. Установление в конкретных разрезах последовательности геологических событий по правилу раньше/позже.
2. Совмещение этой последовательности с той или иной частью стандартной стратиграфической шкалы в масштабе, определенном детальностью работ (в МСШ, РСШ, локальных или местных стратиграфических шкалах).

В наиболее общем виде эти методы можно объединить в три группы: *палеонтологические, структурно-петрографические и структурно-тектонические*. Их часто называют просто методами, например, палеонтологический метод.

Палеонтологический метод. В настоящее время является наиболее разработанным. Он связан с поисками представителей так называемой руководящей фауны или флоры и последующим определением их классификационного названия. Идея палеонтологической стратификации связывается с эволюционной теорией и признанием, что отложения с *одинаковым набором палеофауны и палеофлоры* занимают одинаковое положение в стратиграфической и геохронологической шкалах. По существу, живые организмы используются как часы, циферблатом в которых является их незамкнутая эволюция.

При палеонтологических датировках в качестве меры безразмерного времени используют факт присутствия в тех или иных слоях известных *видов* фауны и флоры, которые позволяют выходить на довольно детальную стратификацию толщ. Более общие определения с точностью до *рода, семейства, отряда, класса и типа* делают стратиграфические разработки более грубыми.

В *фанерозое* наблюдается быстрый рост разнообразия форм жизни и количества живого. Характерно, что простые формы жизни появились еще в *криптозое* и почти не претерпели изменений. Ак-

тивно развивались лишь более сложные организмы. Главным фактом эволюции является не столько исчезновение каких-то форм, сколько появление новых. Именно это обстоятельство в палеонтологических методах и является определяющим.

В качестве *биологических часов* палеонтологический метод использует руководящую фауну и флору, под которой понимают организмы, имеющие широкое географическое распространение, т. е. хорошее развитие по координатам X, Y, и ограниченное распространение по координате Z. Кроме того, надежность палеонтологических датировок во многом определяется комплексностью руководящих находок, которая позволяет при стратиграфических интерпретациях использовать принцип ассоциативности:

слои	1	2	3	4
фауна	a, b ...	b, c ...	c, d ...	d, e

Из этого принципа следует, что слои, содержащие хотя бы одну общую форму фауны или флоры, эквивалентны. В нашем примере $1 \equiv 2$, так как слои содержат общую фауну b; $2 \equiv 3$, так как содержат общую фауну c и т. д. В итоге слои $1 \equiv 2 \equiv 3 \equiv 4$.

Приведем некоторые общие правила поисков и сбора органических остатков.

1. При поисках следует исходить из возможных условий массовой гибели организмов и захоронения их остатков, а также возможностей сохранения таких скоплений. Например, рыбы в большом количестве гибнут в соленых лагунах, если их туда заносит течение, в пересыхающих реках и озерах; массовый захват и гибель представителей животного и растительного мира происходит в грязевых потоках, под скоплениями вулканического пепла. Разнообразна фауна в коралловых постройках, бедны органическими остатками перемещавшиеся пески пустыни, дюн. Обломки фауны могут накапливаться на пляжах, в прибрежной полосе морей. В континентальных отложениях органических остатков, как правило, меньше, чем в морских, и они распределены крайне неравномерно. Хитиновые и роговые части животных разрушаются гораздо легче, чем карбонатные или силикатные и т.д.

2. Наиболее стратиграфически ценными являются находки в коренных обнажениях, из которых представители фауны и флоры выколачиваются молотком и зубилом, но так, чтобы сама форма не была повреждена. Различные сборы из одного слоя обычно обозна-

чают одной буквой, а образец – номером. Таким образом, фауна из одного слоя маркируется одной литерой, например, А-1, А-2, А-3 – брахиоподы, А-4, А-5 – кораллы и т. п.

3. Образцы фауны и флоры для сохранности заворачивают в бумагу, отдельно каждый образец. Образцы с одной литерой затем лучше помещать в один общий мешочек.

4. Разумеется, что вся документация тщательно и аккуратно фиксируется в дневнике с указанием на рисунке места взятия образцов, с описанием вмещающей породы и т.д.

5. При изобилии окаменелостей предпочтение следует отдавать наиболее хорошо сохранившимся экземплярам, а также наиболее информативным представителям и их элементам. Например, если для меловых отложений, в которых вы работаете, руководящей фауной являются морские ежи, то именно им и следует уделять основное внимание. В рыбах наиболее информативна голова, у млекопитающих – зубы, меньше череп и кости конечностей, позвонки важнее всего шейные, ребра для опознавания практически бесполезны, для растений отпечатки листьев существенно важнее, чем отпечатки стеблей и стволов. Если в коренных обнажениях встречаются лишь обломки организмов, то предпочтение надо отдавать тем кускам, которые являются для данного организма наиболее информативными с определительной точки зрения: например, у двусторчатых раковин – замочная часть, у брюхоногих – отверстие, у головоногих – жилая камера и так называемые лопастные линии и т. п. (см. курс палеонтологии).

Структурно-петрографический метод. Основан на распознавании и идентификации разрезов по петрографическим признакам: минералогическому составу пород, их структурным и текстурным особенностям. В качестве примера использования этого метода прокомментируем сводный разрез палеозойских отложений окрестностей Санкт-Петербурга, где студенты РГГМУ проходят первую полевую геологическую практику по курсу геофизики (рис. 5.6.1).

Попробуем не обращать внимания на стратиграфическую рубрику и проанализируем лишь петрографическое описание пород. По нему вся толща рассматриваемых отложений четко расчленяется на несколько крупных серий: *отложения глин, затем пески и песчаники, глинистые сланцы, карбонатная толща и снова пески и песчаники.* Нетрудно понять, что такое чередование состава пород свидетельствует о существенной смене условий осадкообразования:

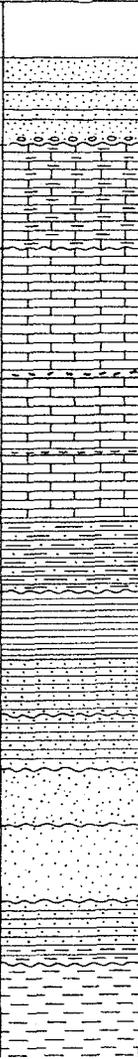
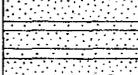
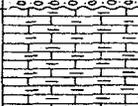
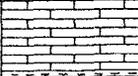
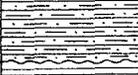
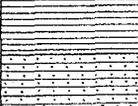
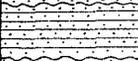
Система	Отдел	Ярус	Горизонт	Индекс		Мощность, м	Характеристика
Девонская	Средний	Живетский	Старокольский	D _{2st}		40,0	Кварцевые пески и песчаники, в основании конгломераты
		Эйфельский	Наровский	D _{2nr}		0,7-6,0	Мергел, глинистые известняки
Ордовикская	Средний	Лланвирнский	Таллинский	O _{2tl}		0-6,0	Зинксофритовые известняки. Верхний чечевичный слой
		Лланвирнский	Кундаски	O _{2kn}		1,5-7,5	Эндоцератитовые известняки. Нижний чечевичный слой
	Нижний	Аренгский	Волховский	O _{1vl}		1,5-6,5	Глауконитовые известняки
		Тремадокский	Варангузский	O _{1vr}		0,3-2,0	Глауконитовая песчано-глинистая толща
		Пакерортский		O _{1pk}		0,15-6,5	КОПОРСКАЯ СВИТА Диктинемовые сланцы
					2,6-9,0	ТОСНЕНСКАЯ СВИТА Оболовые песчаники	
Кембрийская	Верхний	Не выделены	Не выделены	E _{3ld}		0-1,4	ЛАДОЖСКАЯ СВИТА Кварцевые пески и песчаники
	Средний	Не выделены	Не выделены	E _{2sb}		6-12	САБЛИНСКАЯ СВИТА Кварцевые пески и песчаники
		Тискретский			E _{2ts}		0-13
	Нижний	Не выделены	Пирятаский		E _{1pr}		0,5-4,0
Лонтоваский				E _{1ln}		6,0-150,0	СИБИРСКАЯ СВИТА Синие глины

Рис. 5.6.1. Сводный разрез палеозойских отложений окрестностей С.-Петербурга. Разрез уточнен на основании «Решения межведомственного регионального стратиграфического совещания по кембрийским отложениям Русской платформы» (ВСЕГЕИ, 1986 г.).

длительные условия спокойного моря (до 150 м глин) сменились на условия с активной гидродинамической обстановкой (песчаные отложения), затем снова наступил период спокойного моря, но весьма короткий (диктионемовые сланцы 0,15–6,5 м), после него – условия отложения карбонатов с сильной глауконитовой минерализацией и опять – условия активной гидродинамической обстановки. Внутри этих серий четко выделяются отдельные слои со своими индивидуальными особенностями. Например, в верхней части синих глин широко развиты стяжения пирита и марказита (FeS_2), в песках пиритаского горизонта в нижней части повсеместно присутствуют прослои серозеленых глин большей частью мощностью от 1 до 3–4 см, сами пески глинистые. Выше пески хорошо отсортированы, по составу кварцевые с развитой горизонтальной и косой слоистостью.

В верхней их части часто встречается слой с обломками хитиновых створок раковин и мелкой галькой. Диктионемовые сланцы имеют чрезвычайно характерный облик и сланцеватую структуру, обладают повышенной радиоактивностью. Толща известняков над ними, после также очень своеобразной пачки темно-зеленых песчано-глинистых отложений, совершенно однозначно делится на известняки тонкоплитчатые внизу и толстоплитчатые наверху. Кроме того, они содержат два очень характерных (маркирующих)* горизонта: так называемые верхний и нижний чечевичные слои (слои с обильным включением железистых оолитов). Известняки сменяются пачкой характерных мергелей и глинистых известняков, тонко переслаивающихся с алевролитами и песчаниками. Завершается разрез тонкозернистыми кварцевыми песками и песчаниками с прекрасно выраженной косой слоистостью, железистым цементом с характерным изобилием серицита (очень мелких чешуек мусковита). В основании этого горизонта встречаются конгломераты.

Приведенный разрез называется сводным. Это значит, что все описанные в нем слои и горизонты типичны в нашем случае для окрестностей Петербурга. Даже по приведенному краткому описанию видно, что разрез достаточно надежно расчленяется без всякой фауны, и литологические особенности каждого слоя позволяют вполне надежно выделить его среди других слоев и идентифицировать в различных реальных обнажениях и горных выработках. Находки фауны лишь по-

* Маркирующий горизонт – от слова марка, горизонт, имеющий характерные признаки и выдержанный по напластованию.

зволяют привязать эту, по существу литологическую, стратиграфию к общей стратиграфической шкале (МСШ и РСШ). В этом собственно и состоит суть структурно-петрографического метода.

Структурно-тектонический метод. Здесь также главной является идея отличия и распознавания, т. е. метод основан на классификационных принципах. Но, в отличие от первых двух методов, здесь имеются в виду другие классификационные признаки, а именно – особенности залегания и деформации слоев, положение границ между различными геологическими телами. Представления об этом методе может дать рис. 5.6.2.

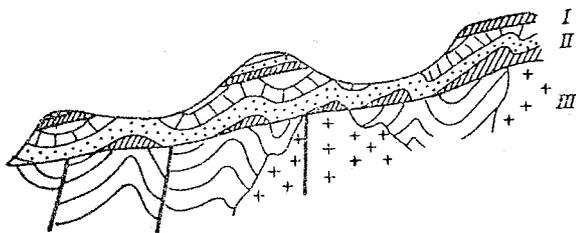


Рис. 5.6.2. Выделение структурных этажей.

I – III – структурные этажи:

I – верхний, с пологонаклонными слоями (моноклиальная структура), II – средний, складчатый, III – нижний, со сложной складчатостью, разломами и интрузивными массивами (II сдвинуто по III).

В стратиграфической практике чаще всего используется целый комплекс отличительных признаков и признаков сходства, причем они используются в самых различных комбинациях и вариантах.

Особенно изобретательным геологу приходится быть при работе в так называемых «немых» толщах, т.е. в тех отложениях, в которых отсутствует фауна и флора. Тем не менее, основу, как бы костяк стратиграфических исследований все-таки составляет палеонтологический метод, опирающийся почти на 200-летний опыт полевых и теоретических исследований в самых разных регионах мира.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте классические представления о пространстве-времени, которыми пользуется современная геология.
2. Объясните основные принципы построения стратиграфической и геохронологической шкал.
3. Назовите эры в истории развития Земли.
4. Какие системы стратиграфической шкалы делятся на 2 отдела?
5. Что имеется в виду под естественностью стратиграфических шкал?
6. Назовите и прокомментируйте основные методы стратиграфии.
7. Назовите основные допущения при получении геохронологических датировок в астрономической шкале времени.
8. В чем состоит суть построения магнитной геохронологической шкалы?
9. Как вы понимаете временную напряженность и связанное с ней взаимоотношение прошлого, настоящего и будущего?

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. *Афанасьев С.Л.* Геохронологические шкалы фанерозоя и проблема геологического времени. – М.: Недра, 1987. – 144 с.
2. *Баренбаум А.А.* Галактика. Солнечная система. Земля. – М.: ГЕОС, 2002. – 392 с.
3. *Вахье В.* Геомagnetизм в морской геологии. – Л.: Недра, 1976. – 192 с.
4. *Спасский Н.Я., Кель С.А., Кравцов А.Г.* Учебная геологическая практика в Ленинградской области. – Л.: ЛГИ, 1986. – 74 с.
5. *Якушова А.Ф., Хаин В.Е., Славин В.И.* Общая геология. – М.: МГУ, 1988. – 448 с.

Дополнительная

1. *Егоян В.Л.* Тенденции в развитии общей стратиграфии. – Бюл. МОИП, отд. Геол., 1987, т.62, вып. 1; вып. 5.
2. *Мороз С.А., Оноприенко В.И.* Пространственно-временные аспекты стратиграфии. – Киев, Высшая школа, 1988. – 178 с.
3. *Руттген М.* Происхождение жизни. – М.: Мир, 1973. – 411 с.

ТЕМА 6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОСФЕР

... все, что есть, связано между собой, не ведая об этой связи.

А. Битов

6.1. Границы

Граница – это то, что делает мир разнообразным. Благодаря границам мы можем различать предметы. Однако за внешней обыденностью и простотой это понятие скрывает в себе большую внутреннюю сложность. Это легко понять с помощью нескольких примеров.

Пример 1.

Вот самый простой случай. Числа 1 и 2. Требуется между ними провести границу, т.е. назвать ещё одно число больше 1 и меньше 2. Большинство, наверное, сразу назовёт 1,5. И это будет верно, если договориться об условии, что граница обязательно должна проходить точно по середине. Но, вообще говоря, это необязательно. Между 1 и 2 находится бесконечное множество чисел. Это множество чисел дает представление о *сплошной среде*, о том, что в науке называют *континуумом*. Говоря о точке, т.е. об одном числе 1,5, мы сильно упрощаем реальную картину, добровольно становясь заложником бытовых представлений о границе, неосознанно эксплуатируя идеологию дискретного пространства с шагом прерывистости 0,5.

Таким образом, уже этот элементарный пример показывает, что проведение границы требует некоторой *конвенции*, определенной *договорённости*, которая обычно диктуется поставленной задачей. Ведь граница проводится для чего-то.

У Вас, скорее всего, сразу возникает вопрос: «Вот я вижу человека, дерево, дом. Разве для этого требуется какая-то договорённость?» Я бы ответил на это так. Может быть. Может быть такая договорённость заложена в человека. Может быть, это свойство нашего мозга и возможности сетчатки нашего глаза. Может быть, это конвенция между нами и окружающим миром, записанная в хромосомах.

Пример 2.

На участках морских и океанических побережий пресные подземные воды поступают со стороны суши в акваторию. В горных

породах, где происходит этот процесс, формируется зона контакта пресных и солёных вод. В зависимости от соотношения напоров, связанных с приливами и отливами, сильными штормами, нагонами и сгонами, интенсивностью выпадающих на поверхность суши атмосферных осадков и особенностями работы водозаборных колодцев и скважин, зона контакта пресных и солёных вод колеблется, перемещаясь то в сторону океана или моря, то в сторону суши. Последнее обстоятельство может привести к подтоплению солёными водами прибрежных территорий, засолению почв и другим нежелательным явлениям, а также к попаданию морских вод в водозаборные устройства. Подобные факты широко известны в США, Израиле, Марокко, Японии, Голландии и многих других странах, где интенсивно эксплуатируются подземные воды приморских территорий.

Существуют различные методы прогноза и управления для этого явления. И все они основаны на тех или иных представлениях о границе между пресными и солёными водами.

В России расчётные схемы, описывающие разгрузку пресных подземных вод суши в море, основываются на представлениях о существовании чёткой границы раздела между пресными и морскими водами.

В США граница между пресными водами суши и солёными водами моря рассматривается как некая переходная область (зона смешения или диффузии). Вместо границы-линии появляется слой.

В Японии эта задача решается на основе представлений, что никакой линии или зоны вообще нет, а есть лишь постепенный переход от солёных вод к пресным.

Замечательно, что во всех трёх случаях инженерный прогноз оказывается удовлетворительным.

Очевидно, что реальное взаимоотношение пресных и морских вод на побережьях является более сложным, но так ли это важно, если имеются схемы (хотя и исключаящие друг друга по исходным постулатам), вполне устраивающие практику.

Обнаружить, что в мире существует какой-то порядок, удаётся лишь тогда, когда этот порядок мы начинаем искать. И, как правило, что ищем, то и находим. А найдя, не можем от этого отделаться, потому что память – коварная вещь. Заметим, что искомый порядок мы *вначале строим в нашей голове, т.е. придумываем его*. Придумываем, а потом это придуманное ищем в природе.

Пример 3.

Очень часто один и тот же объект может быть оконтурен в разных параметрах и тогда у него даже при линейном оформлении границ может быть много контуров. Например, рудное тело вычленяется в массе вмещающих его горных пород по результатам электроразведочных работ, радиометрии, магнитной съёмки, металлогении, минералогии и т.д. Все эти границы рудного тела, естественно, не будут совпадать между собой.

Итак, цель была одна – «увидеть» рудное тело, но параметров, характеризующих это тело, много. И как результат – его *многоконтурность: множество тел вместо одного. Все эти тела равноправны, все они реальны и все они неуловимы. Просто какого-то рудного тела, тела вообще, не существует. Оно существует только в конкретных выбранных нами и измеренных характеристиках.*

Это пример того, что истина многовариантна, а реальность проявляется в миражах. Подобного рода примеров можно привести неограниченное количество. Весь окружающий нас мир так устроен.

Хотелось бы только заметить, что *множественность границ, определяемая параметрическим разнообразием любого объекта или понятия, имеет не только академическое значение. В большинстве случаев непонимание этого факта приводит к ненужным дискуссиям и даже осложнениям юридического и политического характера.*

Примером может служить спор о границах Балтийского моря. В своё время мне пришлось познакомиться со многими документами по этому вопросу. Документы отражали не только позиции авторов, но и накал страстей, доходивший до того, что в них звучали обвинения даже в реакционном пруссачестве. Надо сказать, что у каждого участника спора были вполне веские доводы в пользу своей и только своей точки зрения. Но все они, к сожалению, забыли об одной принципиальной детали – мотивации границ: они не заявляли, о каких границах они ведут речь. Поэтому одни писали о морфологических границах, другие о гидрологических и климатических, некоторые о геологических, исторических, международно-правовых, экономических и т. д. Иногда критерии границ смешивались, менялись и, в конце концов, внешне простой вопрос был запутан предельно. А ведь разная мотивация – это разные задачи, ска-

жем, определение площади испарения, вычисление объёма водных масс, оценка морфологических деталей дна, геологических структур, юридического права на подводные месторождения полезных ископаемых и т. д.

Подобного рода проблемы всё ещё не решены, например, и в вопросе о границах шельфа. То обстоятельство, что на многих шельфах найдена нефть, делает споры ещё более острыми, а ситуацию вокруг них в ряде случаев катастрофически опасной в политическом отношении.

Таким образом, мы пришли к двум выводам:

1. Любая граница является параметрической.
2. Границы проводятся под конкретную задачу на основании определенной договоренности (конвенции).

Теперь дадим краткий обзор существующих представлений о границах внешних геосфер Земли и определим их фундаментальные свойства.

Океан – атмосфера

В середине 70-х годов XX века на поверхности океана была обнаружена так называемая холодная плёнка. Увидеть её можно на рис. 6.1.1 как разрыв температурной кривой. Плёнка была обнаружена при попытках прогнозировать ветровые движения гигантских нефтяных пятен, возникающих при аварийных разливах нефти в связи с разломами крупных танкеров. Оказалось, что так называемый закон Экмана (спираль Экмана) для таких прогнозов «не работает».

Толщина плёнки по различным показателям оценивается от 10–20 мк до 1–2 см. Для нее характерен очень высокий температурный градиент (2–5 °C на 1 см) и неустойчивость водных масс. Для сравнения напомним, что в литосфере средний температурный градиент составляет около 3 °C на 100 м глубины (см. тему 3).

Тепловая и гидродинамическая структура этого тончайшего слоя резко отличается от остальных нижележащих слоев. Это как бы «кожа океана». Она контролирует его вещественный и энергетический обмен с атмосферой. Холодная плёнка сохраняет океану жизнь.

Однако при возбуждении поверхности океана, появлении на ней волн с гребешками пены на участках обрушения волн плёнка

рвётся, хотя потом восстанавливается довольно быстро, *всего за несколько секунд*. В *возникающих дырах все правила обмена резко изменяются. Обмен активизируется.*

Теперь представьте себе бурю на море. Это огромное штормовое пятно. Оно все в барашках волн: есть-нет, есть-нет... – мерцающие разрывы холодной пленки океана. Из маленьких дыр формируется огромная дыра-решето. Она как гигантское сито с перемещающимися и автоматически то открывающимися, то закрывающимися ячейками.

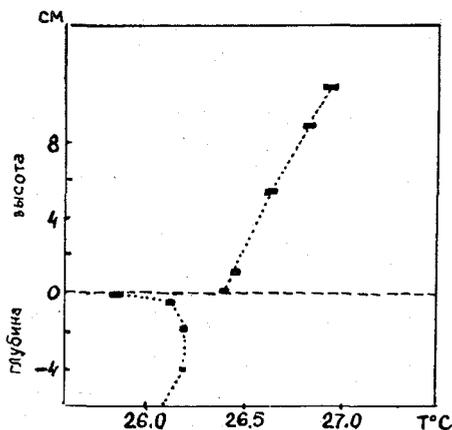


Рис.6.1.1. Изменение температуры воды и воздуха вблизи поверхности океана (по А.В.Шумилову, 1976).
Длина черточки определяет предел колебаний температуры за время измерений (приблизительно 1,5 мин).

На поверхности океана могут возникать дыры и другого рода – в виде смерчей и тропических ураганов. Они изучены довольно хорошо. Разработаны даже их математические модели как природных тепловых машин, в которых нагревателем являются относительно небольшие участки океана, а холодильником служит все окружающее пространство. Представление о структуре тайфуна дает рис. 6.1.2.

Средняя ширина тропических ураганов достигает нескольких сотен километров, а высота 6–15 км. Эта *природная тепловая машина* производит колоссальной интенсивности водообмен между океаном и атмосферой. Она засасывает почти до тропопаузы огром-

ные массы водяного пара, суточный расход которого, судя по интенсивности сопровождающих ураган ливней, близок к годовой норме или даже в несколько раз превышает годовую норму осадков для средних широт.

Яркой иллюстрацией работы такой «машины» могут служить наблюдения за ураганом «Элоиз» (сентябрь 1975 г.). Скорость его поступательного движения составляла около 30 км/ч. Внутренние инерционные волны, вызванные им в водных массах океана, увеличили слой перемешивания с 20 до 60 м и спустя 8 суток достигли максимальной амплитуды (на глубине 500 м она составляла 65 м).

Температура поверхности океана в зоне действия этой «машины» понизилась на $1,5^{\circ}\text{C}$ и в течение еще двух суток поддерживалась на $0,5^{\circ}\text{C}$ ниже обычной.

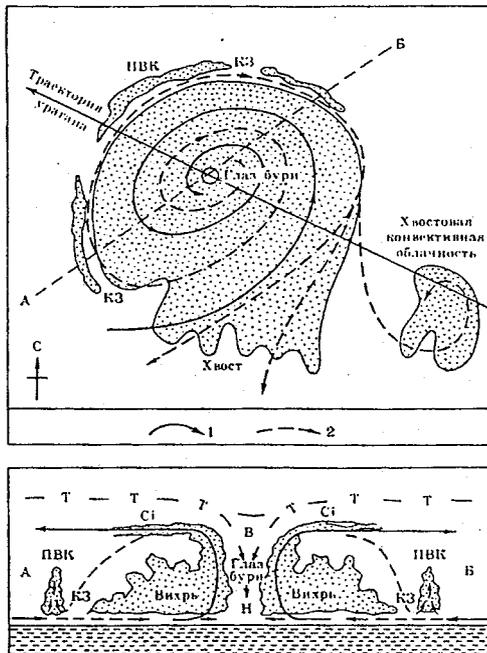


Рис. 6.1.2. Схематическая модель тропического циклона [по М.А. Герману, 1975].

1 – ветры в нижней атмосфере; 2 – ветры в верхней атмосфере; Т – тропопауза;
С₁ – перистые облака; ПВК – полоса внешней конвекции; КЗ – кольцевая зона.

Нетрудно увидеть, что тропические ураганы создают на поверхности океана дыры регионального масштаба с планетарным резонансом. В их образовании есть своя периодичность, пространственная привязка и физическая индивидуальность. Но все равно, как и ранее, речь идет о разрывах границы, возникающих при ее возбуждении, хотя уже не ветровом, а тепловом и более мощном, чем шторма и бури.

По своим масштабам и силе тропические ураганы чем-то напоминают извержения вулканов, только они выбрасывают пары воды, а вулканы в основном магму, пепел, газы и другой материал недр Земли.

Суша – атмосфера

В качестве аналога поведения холодной пленки океана на суше может быть рассмотрен процесс, получивший в геологии название *эрозионно-аккумулятивной деятельности*.

Колебания температуры, атмосферные осадки, ветер, движение водных потоков, льда приводят в действие механизм, который в геологии называют *эрозией земной поверхности*. *Эрозия – размывание, разъедание*. Формируются рытвины, овраги, балки, речные и ледниковые долины, различного рода уступы и обрывы. При этом раскрываются находящиеся на глубине слои и геологические тела. Из них на поверхность земли вытекают подземные воды, вынося тепло, растворенные вещества и газы (рис.6.1.3).

По существу, вся овражно-балочная, речная и озерная сеть представляет собой сложную систему разрывов (дыр) в самом верхнем слое земной коры. Через них относительно неглубокие области недр нашей планеты взаимодействуют с атмосферой.

Эрозия обязательно сопровождается обратным процессом, называемым в геологии *аккумуляцией*, т.е. отложением материала. В результате аккумуляции запечатываются прежние разрывы (дыры) на поверхности суши. Одновременно в других местах формируются новые разрывы. Все это очень напоминает штормовое море. Только здесь нет физически реальных волн, и все протекает очень медленно и растянуто во времени. Это естественно, потому что здесь другая по параметрам граница (твёрдое тело), другой механизм ее изменения. Но ... принцип сохранился прежний: разрыв или дыра – есть–нет, есть–нет и так без конца.

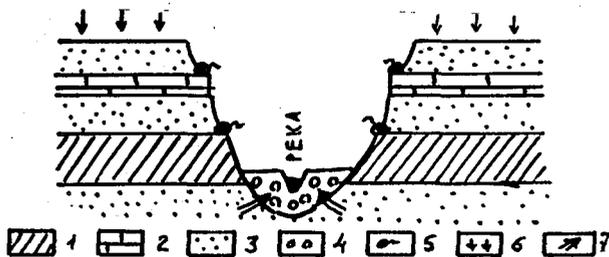


Рис. 6.1.3. Иллюстрация речной долины в разрезе.

- 1 – водонепроницаемые породы (глины); 2 – известняки; 3 – пески и песчанники;
 4 – отложения реки; 5 – источники (родники); 6 – атмосферные осадки;
 7 – подземное питание рек.

Внешние силы возбуждают границу. Она не выдерживает и, чтобы сохранить свое главное запретительное назначение, дает возможность прорвать себя, но ... лишь местами, на отдельных участках. Уступая в частностях, проигрывая отдельные сражения, она выигрывает войну, обеспечивает свое существование. Ломается, но выживает, получает раны, но залечивает их.

Вулканизм это сложное и многообразное явление природы, с которым человек знаком, как говорят, с незапамятных времен. Но если о крупных ураганах прошлого мы можем судить лишь на основе исторических документов, то результаты прежней вулканической деятельности сохранила сама Земля. Хотя и на протяжении человеческой истории разрушительных для человека извержений было немало.

Для нашего разговора важным является то, что вулканическая деятельность Земли имеет определенную цикличность, связанную с активизацией недр, энергетическим их возбуждением, приводящим к возникновению новых и оживлению старых вулканических дыр в литосфере и выбросу через них расплавов, твердого материала, газов и паров. Представление о строении вулканов дает рис. 6.1.4.

На рисунке показано возникновение магмы в мантии, а также неглубоко расположенные резервуары, в которых накапливается магма, и которые периодически то увеличиваются в объеме, то сжимаются по мере нарастания и падения активности. Перед извержением лавы происходит подъем земной поверхности и увеличивается ее наклон во внешнюю сторону. После извержения происходит опускание и изгиб поверхности внутрь.

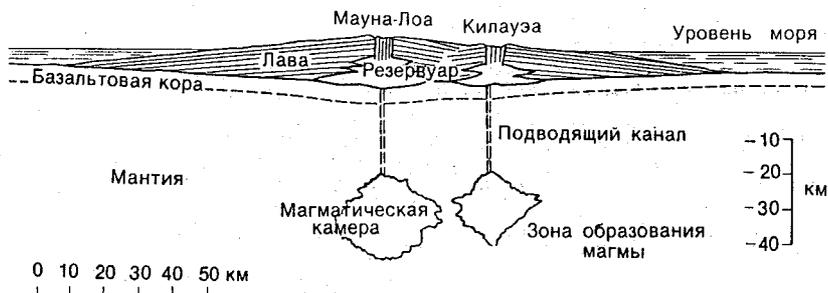


Рис. 6.1.4. Гипотетический разрез через вулканы Мауна-Лоа и Килауэа на Гавайях.

Как и тайфуны, извержения вулканов – явление впечатляющее, для человека почти космическое. Оно завораживает своей первозданной мощью и ощущением нашей какой-то детской незащищенности перед Природой (рис. 6.1.5).

Извержение гейзеров также можно использовать в качестве примера образования разрывов в верхней части земной коры. Здесь иной, чем у вулканов, механизм взаимоотношений между твердой корой Земли и атмосферой, но принцип тот же: *дыра открывается, дыра закрывается*. И причина прежняя – возбуждение приграничного слоя: нагрев, избыток пара и давления, снятие напряжения с помощью выброса излишков материала.

Возникновение глубинных напряжений в недрах Земли и их снятие имеют разнообразные формы и масштабы. Пожалуй, наиболее известный и грозный для человека механизм такой разрядки связан с землетрясениями. По этому вопросу существует огромная литература и, при желании, Вы всегда можете к ней обратиться.

Здесь же, чтобы не выходить за рамки темы, я только укажу, что земная кора, как верхняя часть литосферных плит буквально раздроблена на куски. Трещины и разломы в ней постоянно залечиваются, но затем либо опять открываются, либо являются свидетелями возникновения новых трещин и разломов в ближайших окрестностях. О масштабах развития современных землетрясений можно судить по рис. 6.1.6, на котором точками показаны их эпицентры.

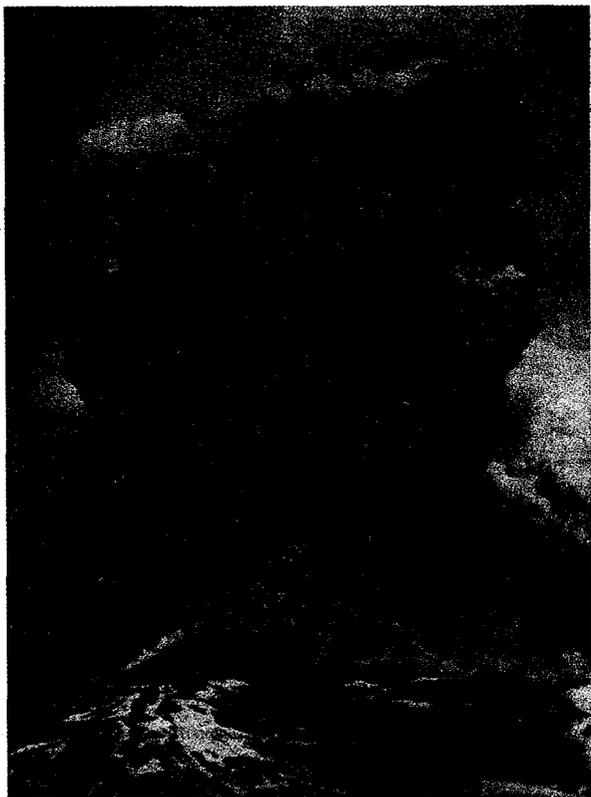


Рис. 6.1.5. Крупное вулканическое извержение.

Представление о древней вулкано-тектонической деятельности на нашей планете может дать рис. 6.1.7, на котором показаны так называемые нуклеары и крупные кольцевые структуры, выделяемые в последние годы геологами на основе космических снимков, геолого-геофизических и геолого-морфологических данных. Это своего рода каркасные элементы сложных кольцевых структур, обладающие центральной симметрией в плане и сформировавшие первые так называемые сиалические ядра материков. (Напомню, что термин *сиаль* образован от слов *силициум* (*кремний*) и *алюминий* и означает преимущественный кремнеалюминиевый состав. См. тему 3.)

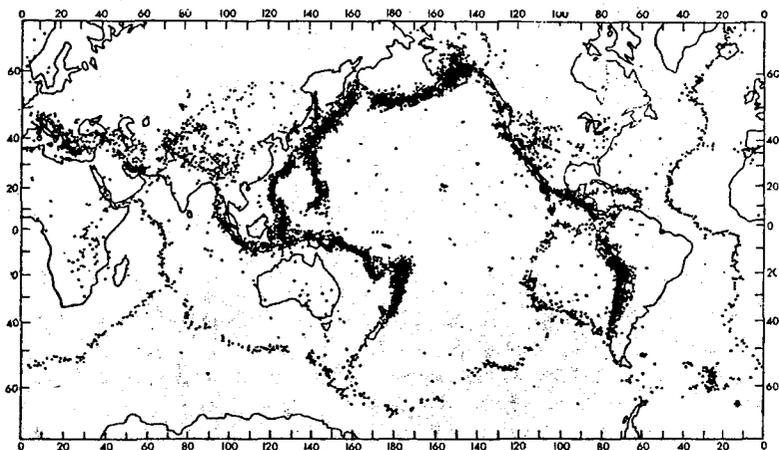


Рис. 6.1.6. Сейсмическая активность Земли за период с 1962 по 1974 г.

В их происхождении и формировании еще много нерешенных вопросов. Тем не менее я решился упомянуть о них, так как геологи «увидели» их на Земле после того, как космические аппараты обнаружили такого рода структуры на других планетах Солнечной системы.

Таким образом, как и следовало ожидать, Земля развивалась по общепланетарным законам и её взаимоотношение с окружающим пространством, с праатмосферой, осуществлялось по *кольцевым правилам, вероятно, по правилам возникновения дыр в границе*. По-видимому, принцип формирования дыр является наследственным, и эта наследственность уходит своими корнями в глубины Вселенной:

- *Клапанный принцип функционирования границ универсален.*

Он работает не только в недрах и на поверхности Земли, но и в атмосфере: в слоях облачности, тропопаузе, страто- и мезопаузах (см. тему 3).

Эта универсальность определена тем, что именно границы позволяют сосуществовать и проявлять себя в деле двум взаимоисключающим основам мироздания: *устойчивости и изменчивости*.

Запретительные функции границ, их главное назначение – отделять системы друг от друга, обеспечивать их автономию и суверенитет, гарантировать индивидуальность. *Вторая функция – разрешительная*. Она обеспечивает саморазвитие систем и, значит, их существование тоже. Она *дарует системам жизнь*.

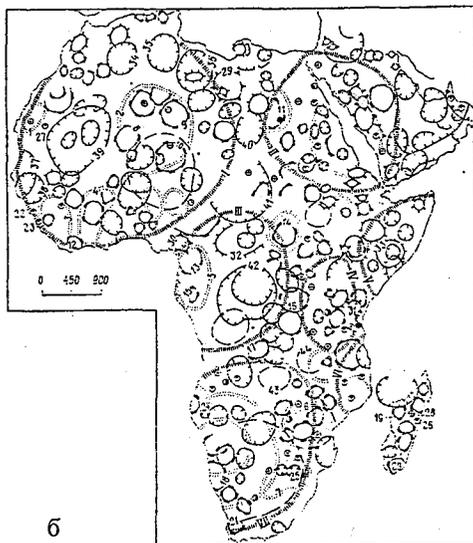
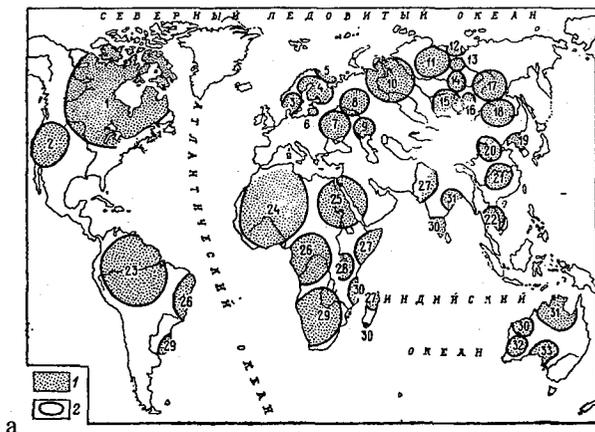


Рис. 6.1.7. Расположение нуклеаров на континентах (а) и кольцевых структур Африкано – Аравийского региона (б) (условные обозначения не приводятся).

Замечательно, что это касается как живых систем, так и косных. Чтобы обеспечить свой жизненный статус, система должна

получать энергию или вещество, которое она в энергию перерабатывает. При этом обязательно возникают шлаки: это могут быть и магмы, и газы, и флюиды. Периодически система их сбрасывает за пределы своей границы. Например, недра Земли выбрасывают на поверхность лаву, обломки пород, пары и газы. Эти шлаки недр являются основой для формирования почв, а значит, обеспечивают жизнь растениям, животным и человеку. Растения употребляют углекислоту, а вырабатывают кислород. Кислород – это шлаки растений, но для животных и человека это то вещество, которое обеспечивает сгорание пищи (топлива) в их биологических котлах. Таких цепочек можно построить очень много. Суть их сводится к простому правилу:

- *шлак и мусор одних систем являются основой жизни для других.*

Получает и отдаёт система через границу, через те её участки, которые способны лопнуть, открыться на какое-то время. В этом смысле *и океан, и земная кора, и наш тонкий живой пограничный слой, и лежащая над ним атмосфера устроены одинаково. Так же устроен и человек, и травинка, и дерево, и всё остальное.*

Таким образом, фундаментальные свойства границ можно сформулировать так: *запрещать и разрешать, но разрешать не везде и не всегда.*

6.2. Циклы

Циклы – это основной принцип существования Мира. В самом общем виде он может быть сформулирован как *рождение – жизнь – смерть и снова рождение*. Даже звезды рождаются, живут и умирают (вспомните тему 2).

Однако всякий природный цикл не совершенен. Он не повторяется в чистом виде. Повторяется лишь процедура. Но, выражая эту процедуру в параметрах, т.е. конкретизируя идею повторения, мы легко заметим, что в этих повторениях скрыта тенденция к изменению.

Обращаясь к проблеме устойчивости и изменчивости, нетрудно понять, что *цикличность «работает» на устойчивость – это механизм устойчивости. Противостоит же ей вектор развития*. Геометрический образ устойчивости можно представить как окружность, а геометрический образ изменчивости – как стрелу. Здесь остается только поражаться гению Пьера Тейяра де Шардена, кото-

рый свой знаменитый *универсум* построил на *идее единой энергии, проявляющейся в двух составляющих: скручивающей (тангенциальной) и радиальной*. П.Шардена современная наука не забыла, хотя и упоминает не часто. Но вся та громада литературы последнего десятилетия, которая посвящена вопросам цикличности, так или иначе, может быть легко оформлена как приложение к книге «Феномен человека» [1948–1965, 1987 гг.]. К сожалению, а может быть к счастью, и нам остаётся тот же путь: развивать идею радиального и тангенциального движений и восхищаться её автором.

Идею цикличности я сформулировал как круговорот жизни и смерти. Поэтому полезно обсуждение данной темы начать с модели этого явления.

Приведём описание компьютерной игры под названием «ЖИЗНЬ». Игра хороша тем, что в ней кроме компьютера, нет ничего материального. Здесь лишь чистая идея, воплощённая в алгоритм. Названа она «жизнью» только потому, что её результаты могут быть интерпретированы, как события, похожие на жизнь: рождение – существование – смерть. Эта игра придумана кембриджским математиком Дж. К. Конвеем и является одной из самых знаменитых математических игр. Мы приводим её по П. Эткинсу [1987 г.].

Игра проводится на поле из квадратных ячеек в количестве 40 x 40, которое называется «вселенная Марк 1». Это самая простая «вселенная». Не рассматривая её свойства, отметим лишь, что игра на её поле имеет всего два правила:

1. Рождение возможно в любой ячейке, но не более и не менее, чем при трёх соседях. Только при трёх соседях.
2. Смерть наступает от одиночества, если соседей становится меньше двух, или от тесноты, если соседей появляется более трёх.

Ближайшими соседями считаются восемь ячеек, примыкающих к «зародышу»: *соседи по сторонам квадрата и по его вершинам*. П. Эткинс назвал «зародыш» по имени маленького пушистого зверька – леммингом.

Игра имеет много вариантов и, как правило, предсказать её ход практически невозможно. В игру надо сыграть. На рис. 6.2.1 показан фрагмент этой игры.

Первый «зародыш» (заданный) развивается и умирает, оставляя потомство. «Дети» повторяют цикл «родителя», после которого остаётся цветное надгробие. В приводимом случае вся процедура по-

вторяется 30 раз. За это время *последний потомок добирается до края «вселенной» и исчезает там бесследно. Но именно в это мгновение во «вселенной» появляется новый лемминг, будто феникс, рождённый из пепла и ... жизнь продолжается (цикл возобновляется).*

Поколения целенаправленно двигались к краю «вселенной», оставляя за собой погосты. Они исчезали, но *последняя смерть порождала новую жизнь.* Обратите внимание, уже не лемминг рождает лемминга, а именно **СМЕРТЬ** выступает как начало **ЖИЗНИ**, ... но **СМЕРТЬ** без надгробия, **СМЕРТЬ** без конкретного **ПРАХА**. Если ничего не остаётся в прошлом, происходит воссоздание ... то же как бы из ничего. *Новый «первоначальный зародыш» вынашивается не конкретным родителем, а 30-ю поколениями пращуров.*

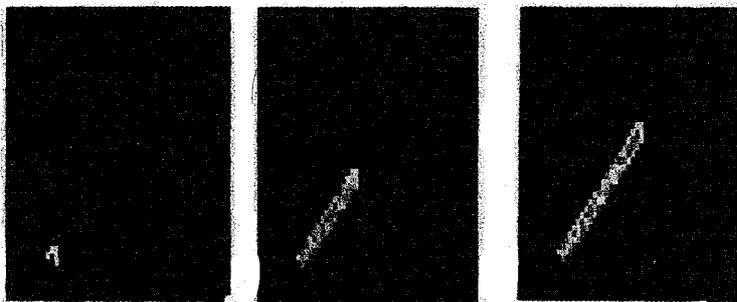


Рис. 6.2.1. Иллюстрация к игре «ЖИЗНЬ» (чёрно-белый вид).

Справа внизу – «зародыш» (лемминг). В центре и справа лемминг продвигается к краю «вселенной». Игра оформляется в цвете, и каждое предшествующее поколение отмечается своим цветом. Создаётся красивый цветной след из «надгробных камней».

В книге П. Эткинса есть компьютерная программа этой игры, и тот, кого она заинтересует, пусть найдёт эту книгу или какую-то другую, в которой эта игра рассматривается, и поиграет в неё сам. Безусловно, вы глубже почувствуете не только её прелесть, но и смысл. *Конечно, это игра, но может быть и наша жизнь игра и игра не намного сложнее.*

Будет ли у нас последнее поколение? Если да, то когда и куда оно денется? Появится ли при этом новый Адам? ... из всех нас – наших пращуров и потомков, не рождённый человеком, а из *праха человечества*. Может быть, так уже было, и Великая книга просто донесла до нас этот факт, а сегодня компьютерные игры помогают

нам его осознать, от веры перейти к знанию, пока лишь игровому, но уже знанию. В этой игре *вера сомкнулась с наукой*.

Теперь обратимся к Космосу современных представлений и рассмотрим галактические циклы Солнечной системы и Земли. Квантовая идеология развития нашей планеты, построенная на анализе её геологической истории за последние 600 млн. лет (фанерозой), привела к новой парадигме – *галацентризму* (см. тему 1). Напомним ее суть:

1. *Геологическое развитие Земли обусловлено получением энергии извне.*

2. *Эту энергию Земля получает порциями ($10^{30} - 10^{31}$) Дж за довольно короткие промежутки времени, (1 – 5) млн. лет.*

3. *Энергетические кванты возникают при прохождении Солнечной системой струйных потоков Галактики и связаны с падением на Землю комет и метеоритов, а также с близким пролётом звезд, изменяющих орбиту Солнца и Земли (см. тему 2).*

4. *Периодичность получения квантов энергии соответствует периодичности прохождения Солнечной системой струйных галактических потоков.*

Принципиальные для Земли геологические перестройки, зафиксированные в её истории как геологические события на границах периодов венд-кембрий, силур-девон, пермь-триас, юра-мел, четвертичный период, скорей всего обусловлены сильными деформациями тела планеты при смещениях или деформациях орбиты Солнечной системы в результате воздействия звёзд в струйных потоках – событии более редком, чем поступление метеоритов и комет.

В соответствии с построениями А. Баренбаума [2002 г.] Солнечная система при своём движении вокруг центра Галактики периодически пересекает галактические струи, формирующиеся в результате выброса вещества из ядра Галактики. Процесс этот начался более 5 млрд. лет назад, и в настоящее время газопылевая материя истекает из двух, по-видимому, диаметральных точек ядерного диска. Темп истечения на протяжении последних 3,6 млрд. лет оценивается в среднем величиной около 8,8 масс Солнца в год. Напомним, что помимо этих двух вещественных потоков, которые закручены в спираль архимедова типа, наша Галактика имеет ещё 4 ветви спиралей логарифмического типа, связанных с галактическим электромагнитным полем.

Вещественные струи сконденсированы в газопылевые облака, кометы и звёзды. Процесс этот наиболее активно протекает в местах пересечения струйных потоков с логарифмическими спиралями электромагнитного поля. Именно эти места являются основными областями звёздообразования.

Важно отметить, что и здесь проявляются две *основные тенденции мироздания* – *тангенциальные и радиальные*. Рождающиеся в местах звёздообразования объекты ведут себя по-разному. Одни, возникающие в основном из вещества галактических струй, продолжают движение в радиальном направлении и даже покидают пределы Галактики. Другие, как наше Солнце, образуются преимущественно из газа и пыли, улавливаемых логарифмическими спиралями, и, наследуя тангенциальную скорость этих ветвей, остаются в Галактике, со временем формируя свои собственные орбиты (см. тему 2).

Опираясь на эти представления, А. Баренбаум построил модель галактической цикличности развития Солнечной системы и, в частности, Земли. Поставленная им задача выглядела следующим образом:

- Солнце движется вокруг центра Галактики в галактической плоскости и эпизодически пересекает струйные потоки вещества, выбрасываемого из её ядерного диска.

- Требуется найти все моменты таких пересечений.

Пример графического решения этой задачи приведён на рис. 6.2.2. Положение Солнца на нём при $t = 0$ отвечает его удалению от центра Галактики в настоящий момент времени.

Нетрудно видеть, что все границы между известными геологическими периодами (см. тему 5) совпадают с «моментами» пересечения Солнечной системой галактических струй. Замечательно и то, что на кривой зафиксировано таких пересечений больше, чем геологических границ. Это говорит о том, что цикл А. Баренбаума обладает ещё и прогностическими возможностями. Практика наблюдений и методы расчленения геологических разрезов, вероятно, ещё недостаточно совершенны. Возможно, что новые подходы к решению геологических задач, использование новых неевклидовых геометрий приблизят геологическую практику к теории галактической цикличности.

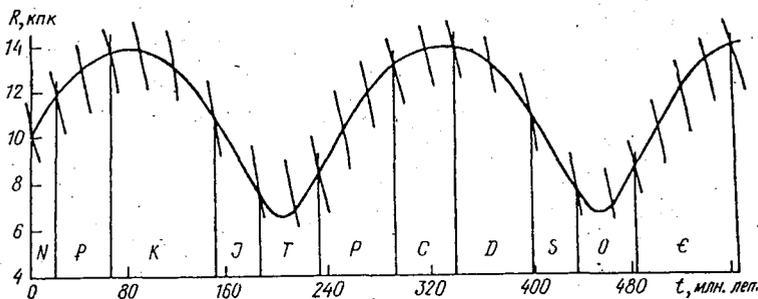


Рис. 6.2.2. Изменение расстояния Солнца от центра Галактики во времени (по А. Баренбауму, 2002).

Точки пересечения периодической кривой с системой наклонных линий соответствуют моментам попадания Солнца в галактические струи; буквами обозначены геохронологические периоды.

Но и в самой модели А. Баренбаум выделяет сильные и слабые воздействия струйных потоков, что существенно улучшает совпадение теоретических возмущений с известными наблюдениями и эмпирическими интерпретациями:

- кульминациями тектоно-магматических эпох и их основных фаз;
- началами раскола отдельных литосферных плит и формированием новых материков и океанических структур;
- планетарными трансгрессиями и регрессиями океана;
- периодами резкого изменения климата Земли;
- крупнейшими биологическими катастрофами;
- мощными геохимическими аномалиями.

По всем этим вопросам существует огромная литература, в которой тщательнейшим образом систематизируются наблюдения, строятся различные математические модели циклов, даётся их физическая интерпретация в связи, например, с такими известными явлениями, как вращение Земли вокруг Солнца, гравитационное влияние луны, изменение солнечной активности, движение полюсов Земли и т.п. С основными результатами этих исследований каждый из вас может познакомиться самостоятельно. Хотелось бы только подчеркнуть своего рода *наложенность различных циклов друг на друга*, а также взаимосвязь и взаимообусловленность циклов, внешне разобщённых.

Длительные циклы состоят из циклов более коротких, последние – ещё более мелких и т.д. Вы легко поймете эту многослойность, вспомнив сезонные колебания, скажем, температуры воздуха:

- *зима – весна – лето – осень – зима,*
- *в их рамках внутримесячные погодные колебания,*
- *затем суточные (ночь – день – ночь).*

И всё это происходит на фоне значительно *более длительных циклов потепления и похолодания.*

Н.М. Фролов [1966 г.] приводит следующие оценки климатических циклов:

- По результатам инструментальных измерений солнечной активности: 2–3, 5–6, 9–14, 22–23, 40–45, 70–90 и 160–190 лет. Близкие значения климатической ритмики были получены и по результатам исследования ленточных глин в таких древних отложениях, как юрские и девонские (соответственно удаленные от нас на 200 и 400 млн. лет).

- В плейстоцене (находится во временном интервале 10 тыс. – 2 млн. лет назад) выделены климатические ритмы с интервалами в 283, 567, 1 133, 1 700, 3 040, 20 400 и 40 800 лет.

- Для более древних геологических периодов различными методами были зафиксированы климатические циклы длиной 2–6 млн. лет, 30 млн. лет, 60 – 80 и 150 – 250 млн. лет.

Реконструкцию климатов в геологической истории Земли чаще всего производят на основе экологического принципа. Ископаемые остатки растений и животных оцениваются с позиций состояния окружающей среды, которая могла бы обеспечить существование того или иного биоценоза: тепловой режим и влажность атмосферы, солёность водных бассейнов и опосредованно связанные с ними типы почв и подстилающих их горных пород (континентального или морского происхождения, возникших в условиях аридного или влажного климата), природная зональность и т.п. Иначе говоря, во всех случаях задача сводится к палеогеографическим построениям.

Геологическую ритмику климата хорошо иллюстрирует теоретическая кривая, описывающая периодичность смены тёплых и холодных эпох в истории Земли (см. рис. 6.2.3).

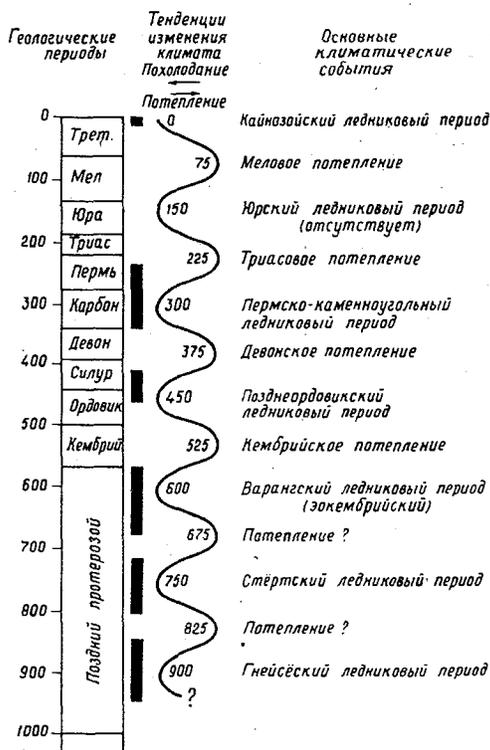


Рис. 6.2.3. Гипотетическая последовательность ледниковых и «теплых» периодов за последний миллиард лет.

(Из книги «Зимы нашей планеты». М., Мир. 1982).

Черные полосы показывают предполагаемую продолжительность ледниковых периодов.

Короткую ритмику обычно связывают с причинами земного происхождения, такими, например, как радиоактивный распад, гравитационное сжатие и растяжение планеты, химические процессы, распределение суши и моря, состав атмосферы, перемещение полюсов, движение литосферных плит и т.п.

Длиннопериодную ритмику чаще всего пытаются объяснять причинами внеземного происхождения. Наиболее цельное представление здесь позволяет получить галацентрическая модель А.Баренбаума. Она касается не только объяснений климатической

цикличности, она охватывает громадный спектр явлений, определяющих устройство мира, в котором мы живём.

Теперь рассмотрим особенности смены геосфер по их массе в направлении по радиусу Земли (см.табл. 6.2.1). По данным этой таблицы построим график $m(R)$, который раскрывает нам удивительные вещи (см. рис. 6.2.4):

геосферы по массе создают геосферный цикл.

Середина этого цикла (около 4,5 тыс.км) в табл.6.2.1 не зафиксирована и получена исключительно как продукт нашей интерпретации – продукт нашего желания сделать цикл *красивым*. Однако оказалось, что наше желание хорошо согласуется с данными по распределению величины силы тяжести вдоль радиуса Земли (рис. 6.2.5).

Таблица 6.2.1

Структура Земли по массе геосфер

Геосферы	Радиус $R \cdot 10^6$, м	Мощность слоя, $\Delta R \cdot 10^6$, м	Средняя плотность, $г/см^3$	Масса геосферы m , 10^{22} , кг
Внутреннее ядро	1,25	1,25	17,0	14
Внешнее ядро	3,47	2,22	10,8	180
Нижняя мантия	5,37	1,90	5,24	252
Переходная зона	5,97	0,60	4,3	104
Верхняя мантия	6,33	0,36	3,45	59
Литосфера	6,37	0,04	3,35	7
Внешние оболочки (гидросфера, атмосфера, биосфера)	9,00	2–3	–	0,18

Примечания:

1. Поскольку мощность атмосферы с учётом диссипативного слоя оценивается в 2–3 тыс.км, принимаем внешнюю границу Земли (по веществу) приблизительно на расстоянии 9 тыс.км от её центра.
2. Из-за относительно небольшой массы внешних оболочек я объединил их. Такое право появляется и в силу их взаимопроникновения (вспомните яруса облачности, влажность воздуха, живую «ткань»).
3. Масса гидросферы $17,2 \cdot 10^{20}$ кг взята по Р. Гаррелсу и Ф. Маккензи [1974 г.] с учётом поровых вод осадков.

На рис. 6.2.4 показано изменение массы геосфер *вдоль радиуса* Земли. Мне кажется, что это обстоятельство в какой-то мере искажа-

ет нисходящую ветвь цикла, поскольку радиус не тождественен времени возникновения геосфер. Наверное, без особого ущерба для истины можно считать, что вторая фаза цикла возникновения геосфер протекала медленнее, чем первая (в силу увеличения дефицита исходного вещества конденсирующейся газовой туманности). В этом случае нисходящая ветвь, особенно в нижней своей части, сдвинется несколько вправо, что сделает нашу кривую ещё более изящной и более «взаправдашной». Хотя она и так достаточно хороша.

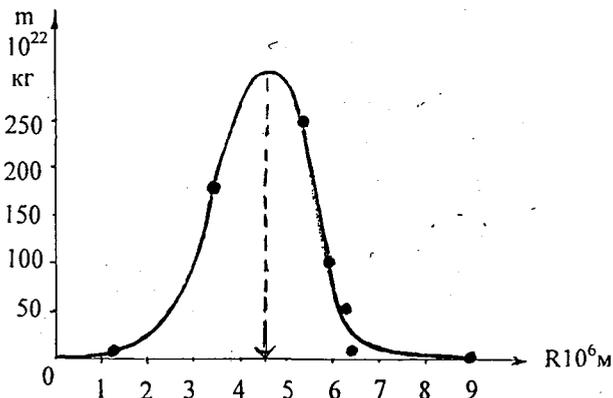


Рис. 6.2.4. Геосферный цикл Земли.

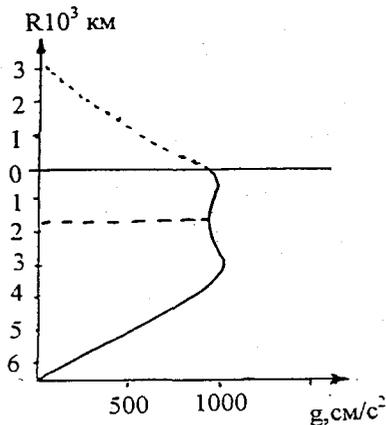


Рис. 6.2.5. Изменение ускорения свободного падения ($g, \text{см}/\text{с}^2$) на планете Земля.

О чем говорит найденный геосферный цикл? Он символизирует жизненный цикл вообще, любой процесс, имеющий начало и конец.

ЗЕМЛЯ ФОРМИРОВАЛАСЬ В ВИДЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО
НАРАСТАЮЩИХ ОТ ЕЁ ЦЕНТРА ОБОЛОЧЕК.

ЭТОТ ПРОЦЕСС ПРОТЕКАЛ В ВИДЕ ЦИКЛА:

МАЛО ⇒ БОЛЬШЕ ⇒ МНОГО ⇒ МЕНЬШЕ ⇒ МАЛО.

Геосферный цикл прекрасно вписывается в галактическую модель цикличности, позволяющей не только увидеть энергетическую зависимость Земли от процессов, происходящих в Галактике, но и понять физическую основу квантового характера ее развития.

Сегодня история Галактики достаточно хорошо увязана с историей Земли. Из многочисленных фактов согласованности галактических и земных событий приведём только один: *эпохи великих оледенений совпадают с эпохами активного звездообразования. В эпохи же слабого звездообразования великие оледенения прекращаются.* Этот факт можно объяснить как чередование эпох дефицита и эпох избытка энергозапаса в Галактике:

много новых звёзд – мало энергии для Земли;

мало новых звёзд – избыток энергии для Земли.

Галактика развивается и на это развитие тратит запасы своей внутренней энергии. Но распределяются эти запасы по «особому графику»: *вначале одним, затем другим, ... но не всем сразу ... никогда всем сразу и, конечно, каждому «по рангу».* Большим и важным, таким, например, как звёзды, даётся много. Малым, таким, как Земля, – поменьше. А уж каждый получивший перераспределяет полученное по своему собственному внутреннему графику. Неправда ли, похоже на систему финансирования и государственный бюджет? А вы, наверное, думали, что всё это придумал человек? Нет, всё это придумано задолго до человека. Напрасно человек пытается стать для природы богом. Он просто её часть и, возможно, нелучшая.

Но откуда же получает энергию сама наша Галактика? Конечно, из Вселенной. Больше неоткуда, а галактики–системы открытые.

Поэтому истоки цикличности земных процессов и событий естественно связывать не только с жизнью Галактики, но и с жизнью Вселенной. Интересные и, возможно, единственные в своем роде результаты в этом направлении были получены А.Е. Куликовичем (80–

90-е годы, Киев). Он построил чрезвычайно красивую модель *циклическости мира*, положив в её основу идею музыкальной гармонии.

Им предложен периодический закон геологии, в соответствии с которым основные геологические циклы образуют *единую резонансно-взаимосвязанную систему*. Специальные исследования показали, что эта система представляет собой фрагмент ритмической структуры Вселенной, охватывающей все уровни ее организации – от микро- до мегамира. По А.Е. Куликовичу, Вселенная представляет собой иерархическую систему резонансно связанных процессов. В её ритмической структуре хорошо проявляются интервалы пифагорова строя (прима, кварта, квинта, октава). В этом смысле Вселенная звучит как гигантский оркестр. Наверное, её можно слышать, но, к сожалению, не нам.

ВСЕЛЕННАЯ «ЗВУЧИТ». ЕЁ ЗВУЧАНИЕ ПРОЯВЛЯЕТСЯ В ЦИКЛАХ, КОТОРЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ ПО МЕХАНИЗМУ РЕЗОНАНСА.

6.3. Круговороты природных вод

В самом общем виде идея круговорота природных вод достаточно ясна:

с акватории Мирового океана, озер, рек постоянно происходит испарение воды, которая конденсируется в атмосфере и, выпадая на поверхность материков и океана, вновь пополняет запасы гидросферы.

Общее уравнение водного баланса по этой схеме можно представить в следующем виде:

для Мирового океана

$$Z_M = X_M + Y, \quad (6.3.1)$$

для областей суши, имеющих сток в океан,

$$Z_C = X_C - Y, \quad (6.3.2)$$

для бессточных областей

$$Z_{Б.О} = X_{Б.О}, \quad (6.3.3)$$

где Z – испарение; X – осадки; Y – сток.

Просуммировав выражения (6.3.1) – (6.3.3), получим уравнение водного баланса для всего земного шара

$$Z_M + Z_C + Z_{Б.О} = X_M + X_C - X_{Б.О}. \quad (6.3.4)$$

Числовые значения главных элементов общего годового водного баланса Земли представлены в табл. 6.3.1.

Прежде чем рассматривать более детальное круговорот природных вод, явление сложное и многообразное, следует договориться о выделении главных генетических типов подземных вод.

Метеогенными называют атмосферные воды (дождевые или снеговые и ледниковые).

Инфильтрационные воды образуются в недрах Земли в результате просачивания атмосферных осадков или поверхностных вод через поры и мелкие трещины в горных породах. К ним относится основная часть подземных вод, питающих реки и водоемы, т.е. участвующих в интенсивном водообмене в верхней части литосферы.

Инфлюационные воды образуются в результате втекания атмосферных и поверхностных вод через крупные трещины, воронки, провалы. Наиболее часто инфлюационные воды наблюдаются в карстовых районах.

Таблица 6.3.1

Годовой водный баланс Земли [1]

Элементы водного баланса	Объем, км ³	Слой, мм
Периферийная часть суши (116 800 тыс. км ²)		
Осадки	106 000	910
Речной сток	41 000	350
Испарение	65 000	560
Замкнутая часть суши (32 100 тыс. км ²)		
Осадки	7 500	238
Испарение	7 500	238
Мировой океан (361 100 тыс. км ²)		
Осадки	411 600	1140
Приток речных вод	41 000	114
Испарение	452 600	1254
Земной шар (510 000 тыс. км ²)		
Осадки	525 100	1030
Испарение	525 100	1030

Конденсационными называют воды, образующиеся в недрах Земли в результате конденсации водяных паров. Наиболее ярко проявляются такие воды в карстовых пещерах, подземных горных выработках.

Седиментогенные воды формируются в процессе осадконакопления в водоемах и отжатия воды в фильтрующие прослои. Иногда

эти воды называют *реликтовыми* или *погребенными*, но последние термины менее удачны. Седиментогенные воды широко распространены в осадочных толщах артезианских бассейнов.

Метаморфогенные воды образуются в процессе метаморфизма горных пород, часто сопровождающегося химическими реакциями с выделением воды. Формированию этих вод способствуют высокие температура и давление.

Магматогенные – воды, которые образуются в земной коре в процессе остывания магмы и отделения от нее летучих компонентов, в том числе водяных паров.

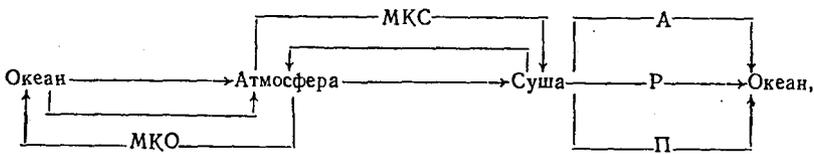
Возрожденными называют воды, образующиеся при дегидратации минералов, содержащих молекулы воды.

Таковы главные генетические типы подземных вод по источнику их происхождения. В литературе часто встречается также термин *ювенильные* (юные) воды, введенный немецким геологом Э. Зюссом. Им обозначаются воды, попавшие в литосферу из мантии. Эти воды образуются из паров воды, диссоциированных молекул H^+ и OH^- , при подъеме магмы и при других глубинных процессах и могут быть отнесены к *магматогенным*.

Общий круговорот воды на Земле в настоящее время принято разделять на два типа:

- *Климатический круговорот*. Он происходит в области между поверхностью Земли и тропопаузой. Обусловлен преимущественно метеорологическими факторами и оформлен в виде различных циркуляционных ячеек.
- *Геологический круговорот*. Пространственно приурочен в основном к литосфере. Обусловлен, главным образом, геохимическими, петрологическими и тектоническими процессами.

КЛИМАТИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ можно представить в виде следующей схемы:



в которой А – означает атмосферный цикл, Р – поверхностный, П – подземный, МКО – малый круговорот океана, МКС – малый круговорот суши.

Структура климатического круговорота изучается достаточно давно. Однако в целом для Земли дифференцированного водного баланса по большому и малым круговоротам все еще не получено.

Наиболее сложным является большой круговорот. Он представляет собой водообмен между океаном и сушей. Вот его характеристика.

Атмосферный цикл. Протекает по схеме:

океан → атмосфера → суша → атмосфера → океан.

Он очень непродолжителен, его время измеряется сутками. По М.И. Львовичу, круговорот водяного пара в атмосфере в среднем составляет 0,027 года. Среднее содержание растворенных веществ в атмосферных осадках невелико: по В. И. Вернадскому – 34 мг/л, по В. М. Дроздовой (для территории СССР) – 21 мг/л. Однако многократность атмосферного цикла в течение года обуславливает довольно интенсивный обмен водой между сушей и океаном.

Можно приближенно оценить атмосферный привнос растворенных веществ с суши в океан – *порядка 600 млн. т/год* и из океана на сушу – *около 800 млн. т/год*. Нетрудно определить модули этих величин: для суши 4, а для океана 2,2 т/(км²·год). Полученные цифры являются ориентировочными. Тем не менее, будучи основанными на средних значениях расчетных характеристик, они позволяют сделать два важных вывода:

- *обмен веществом между океаном и сушей через атмосферный сток почти сбалансирован по валовому объему,*
- *интенсивность сноса материала с суши почти в два раза превышает интенсивность переноса материала со стороны океана.*

Цикл поверхностного стока. Его можно изобразить в виде схемы:

океан → атмосфера → суша → поверхностный сток → океан.

Годовой объем речного стока в океан разными авторами оценивался по-разному. По Г.А. Максимовичу, для всей суши без пус-

тынь и полупустынь он составляет $34\,667\text{ км}^3$, по О.А. Алекину – $35\,560\text{ км}^3$, по М.И. Львовичу – $41\,000\text{ км}^3$.

Для территории СССР в свое время были проведены детальные работы по изучению водных ресурсов и водного баланса, которые позволили подсчитать не только водные ресурсы основных рек, но и водный баланс речных водосборов по бассейнам омывающих морей за многолетний период. Для характеристики этого цикла можно привести несколько цифр. Средний годовой суммарный речной сток составлял: в бассейны Белого и Баренцева морей – несколько больше 284 км^3 , в бассейн Балтийского моря (СССР) – около 120 км^3 , Черного (СССР) и Азовского – около 104 км^3 , Каспийского – 295 км^3 . При этом доля поверхностного стока колебалась от 36 до 94 %, в среднем составляла 70–75 %. По М.И. Львовичу, в речном стоке доля поверхностных вод для всей суши равнялась приблизительно 68 %.

По своей продолжительности цикл поверхностного стока можно отнести к числу мобильных, его время измеряется сутками и десятками суток (длительность паводков и половодий). По М.И. Львовичу, интенсивность полного водообмена поверхностного стока оценивается в среднем для земного шара приблизительно в 0,033 года.

По О.А. Алекину, средняя минерализация вод речного стока равна $89,2\text{ мг/л}$, а ежегодный вынос в океан растворенных солей достигает 3171 млн. т. Принимая, что в речном стоке на долю подземных вод приходится 32 %, годовой поверхностный сток в океан можно оценить приблизительно в $24\,200\text{ км}^3$, а количество выносимых с ним солей – 900 млн. т или $6\text{ т}/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$, если принять среднюю минерализацию подземных вод, питающих реки, равной 200 мг/л (по В.И. Вернадскому).

Цикл подземного стока. Под циклом подземного стока следует понимать процесс водообмена между океаном и сушей, протекающий по схеме:

океан → атмосфера → суша → инфильтрация в горные породы → подземный сток в реки и вместе с поверхностными водами в океан (или непосредственно в море).

Годовой объем подземного стока для земного шара в целом не подсчитывался. Однако о порядке этой величины говорить можно. По

М.И. Львовичу, подземный сток через реки составляет $12\,000\text{ км}^3/\text{год}$, по данным О.А. Алекина – приблизительно $11\,360\text{ км}^3/\text{год}$.

Непосредственный сток подземных вод в Мировой океан, т.е. сток вдоль береговой линии и на шельфе, в среднем составляет около 2 % притока речных вод и изменяется по ориентировочным оценкам от 800 до $2500\text{ км}^3/\text{год}$. Были проведены и более точные дифференцированные оценки по континентам, островам, отдельным морям. Результаты оказались близки – $2400\text{ км}^3/\text{год}$, в том числе по континентам – $1485\text{ км}^3/\text{год}$, а по крупным островам – $915\text{ км}^3/\text{год}$.

Продолжительность подземного цикла значительная. В настоящее время накопились данные, которые показывают, что продолжительность цикла подземного стока в различных физико-географических и геологических условиях чаще всего измеряется десятилетиями и сотнями лет.

Химический состав и минерализация вод, участвующих в цикле подземного стока, довольно пестрые, но изменяются более или менее закономерно в зависимости от физико-географических, геологических и гидродинамических условий. Средняя минерализация подземных вод, разгружающихся в моря и океаны, может быть оценена по данным межленного стока рек и составляет примерно 200 мг/л . Суммарный вынос солей при этом достигает 1300 млн. т/год .

В цикле подземного стока поступление вод в моря и океаны может происходить разными путями. Часть подземных вод участвует в речном стоке, значительное количество переносится в виде подрусловых аллювиальных потоков, часть разгружается в виде источников или фильтруется широким фронтом вдоль линии берега на различных глубинах при выклинивании водоносных горизонтов в пределах шельфа или материкового склона.

Переуглубленные речные долины, заполненные песчано-гравийным и галечным материалом, являются мощными дренами для окружающих водораздельных массивов. Эти дренаи конусами выноса главных рек обрываются в море. Основной особенностью этой разгрузки является одновременное проникновение морских вод в сторону суши в виде языка, подстилающего поток пресных вод и выклинивающегося на определенном расстоянии от линии берега. Это расстояние зависит от напора вод суши и соотношения плотности морской и подземной воды. Понижение уровней подземных вод на суше или повышение уровня в море (при нагонных вет-

рах, приливах, штормах) усиливает проникновение морских вод в сторону суши (иногда до десятков километров). Явления такого рода наблюдаются не только в подруловых потоках, но имеют более широкое развитие и при соответствующих условиях могут наблюдаться на всех прибрежных территориях.

Существует прямое воздействие океанических приливов и отливов на подземные воды суши. Влияние амплитуды океанических приливов на уровень подземных вод вблизи берега оценивается в 30–50 % от общей амплитуды изменения уровня, а на территориях, удаленных от моря, в 1–3 %. Каждый прилив и отлив вызывает некоторое запаздывание колебания зеркала подземных вод на прилегающей к морю суше.

В прибрежных районах, сложенных закарстованными горными породами, разгрузка подземных вод в море обычно происходит в виде субмаринных источников. Такие источники известны на Черноморском побережье Кавказа, в Крыму, на Средиземноморском побережье. Наблюдения, проведенные на субмаринных источниках, показывают, что многие из них функционируют со значительными перерывами. Они иссякают в засушливое время года, когда питание за счет атмосферных осадков практически прекращается, и напоры подземных вод со стороны суши уменьшаются настолько, что подземный поток не может преодолеть встречного напора морских вод. В таких случаях морская вода может проникать в пределы суши на значительные расстояния и засолять подземные воды на участках водозаборов.

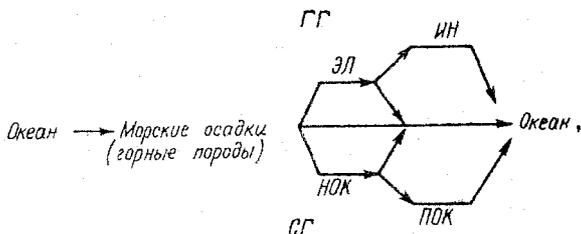
Краткое рассмотрение основных циклов климатического круговорота воды позволяет говорить о наличии у них по крайней мере двух главных общих черт:

1. Одинакового начала циклов: океан → атмосфера → суша, обуславливающего обязательное участие в водообмене атмосферных осадков океанического происхождения.

2. Формирования химического состава вод, участвующих в климатическом круговороте, главным образом в результате процессов растворения и выщелачивания с частичным концентрированием за счет испарения.

Отличаются циклы лишь завершающей стадией, приводящей во всех случаях к возвращению океанических паров в океан.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ можно представить в виде схемы:



где ГГ – гидрогеологический цикл; ИН – инфильтрационный этап; ЭЛ – элизионный этап; СГ – собственно геологический цикл; НОК – этап новообразования океанической коры (серпентинизация перидотитов, блуждающая циркуляция в рифтовых областях, подводный вулканизм); ПОК – этап погружения океанической коры (литификация осадков, метаморфизм, гранитизация, метасоматоз, десерпентинизация).

Рассмотрим эту схему более подробно.

Гидрогеологический цикл. Понятие гидрогеологического цикла было впервые предложено и сформулировано А. Н. Семихатовым, который относил к нему условия и процессы изменения солевого состава вод в промежуток времени между двумя следующими друг за другом трансгрессиями морских бассейнов, разделенных периодами складчатости и поднятия. В настоящее время в каждом гидрогеологическом цикле выделяются два этапа:

- элизионный и
- инфильтрационный.

На первом этапе происходят осадконакопление и тектоническое погружение, сопровождающиеся *геостатически-элизионным* и особенно *геодинамически-элизионным* водообменом, т.е. выжиманием седиментогенных вод из водоупоров (глин, соленосных толщ, известняков и т.д.) в пласты коллектора (пески, песчаники, трещиноватые известняки и т.д.). При поднятии бассейна осадконакопления происходит денудация водоупорных и водоносных слоев и наступает второй этап гидрогеологического цикла – *инфильтрационный*, на котором метеогенные воды проникают в глубокие горизонты и постепенно заменяют воды седиментогенные. Однако

такая замена обычно является неполной. Среди инфильтрационных вод спорадически сохраняются остатки древних седиментогенных вод, сами же инфильтрационные воды не просто вытесняют седиментогенные, но смешиваются с ними, образуют языки проникновения. После нескольких гидрогеологических циклов гидрогеологическая обстановка в системе вода–порода становится чрезвычайно сложной.

Позже эта схема была дополнена процессами, связанными с метаморфизмом погружающихся пород и сопровождающей его дегидратацией минералов, а также возможностью появления в этих толщах магматогенных вод (при внедрении магматических очагов и проявлением вулканизма). С учетом этих явлений *гидрогеологический цикл стали называть литогеническим*.

Наиболее важная особенность гидрогеологического (литогенического) цикла заключается в том, что поступление океанических вод на континент происходит вместе и одновременно с поступлением самих пород по схеме: *океан→ морские осадки (горные породы)*.

В этом отношении *гидрогеологический (литогенический) цикл является элементом развития континентальной коры, и его связь с климатическим круговоротом представляется естественной*.

Собственно геологический цикл. Этот цикл связывают со схемой движения океанического дна и системой конвективных потоков в верхней мантии, разработанной в современной теории плит. В соответствии с этой теорией океаническая кора и подстилающая ее мантия в пределах отдельных блоков каждой конвективной ячейки перемещаются с одинаковой скоростью как единое целое от срединных хребтов и возвышенностей к обрамляющим океаны континентам.

Различие в скоростях перемещения отдельных блоков приводит к образованию крупных разломов между ними. На нисходящей ветви движения блоки погружаются под континенты, при этом происходит сильная деформация коры. В более глубоких областях мантии существует конвективный поток вещества противоположного направления (к срединным хребтам и возвышенностям) (рис. 6.3.1).

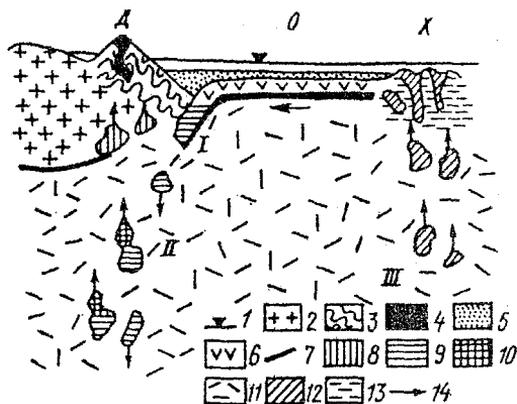


Рис. 6.3.1. Схема обновления океанического дна и процесс преобразования базальта в эклогит (по Х. Хессу, в интерпретации А. Э. Рингвуда и Д. Х. Грина [1968 г.]. 1 – уровень океана; 2 – континентальная кора; 3 – складчатость геосинклинали; 4 – вулканы с андезитовой лавой; 5 – осадочный и базальтовый слой; 6 – океанический слой; 7 – граница Мохо; 8 – интрузии магм кислого и среднего состава; 9 – эклогит; 10 – андезитовая магма; 11 – мантия (пиролит); 12 – базальтовая магма; 13 – остаточный перидотит; 14 – направление движения океанического дна, блоков эклогита и образующихся магм. I – III – зоны: I – перехода базальта в эклогит, II – погружающихся блоков эклогита, III – частичного плавления пиrolита. Д – островная дуга; О – океан; X – срединно-океанический хребет.

PS. Андезит – порода среднего состава. Пиролит – гипотетическая исходная порода верхней мантии. Эклогит – горная порода глубинного происхождения. Геосинклиналь – зона высокой подвижности, больших мощностей отложений и активного магматизма.

Теория плит наиболее интересна для модели круговорота потому, что в предлагаемом ею круговороте вещества коры и мантии можно ожидать участие морской воды. Материал мантии, поднимаясь к поверхности в зоне срединных хребтов возвышенностей, способен взаимодействовать с морской водой, образуя серпентинизированный перидотит. На нисходящей ветви движения происходит десерпентинизация, и вода возвращается в океан.

Таким образом, если следовать этой схеме, то собственно геологический круговорот совершается по некоторой пологой дуге от центральных районов океанов к их периферии, при этом морская

вода переносится как бы в «законсервированном» виде. Анализ этого процесса позволил оценить темп водообмена (около $0,2 \text{ км}^3/\text{год}$), что существенно меньше всех циклов климатического круговорота воды.

Однако участие морской воды в серпентинизации перидотитов некоторыми специалистами отрицается. Вместо морской воды в их схемах участвует мантийная вода,двигающаяся из глубин.

Но водообмен, связанный с серпентинизацией, не является составляющей собственно геологического цикла. Литосфера океанического типа содержит $1,8 \cdot 10^{23} \text{ см}^3$ вод, свободных и физически связанных, которые в соответствии с теорией плитной тектоники перемещаются вместе с корой в сторону континентов и погружаются под них на участках глубоководных желобов. Вероятно, часть этих вод принимает участие в формировании гранитной коры континентов и возвращается в океан в соответствии с моделью климатического круговорота лишь при выходе этой коры на поверхность материков и через вулканический аппарат: то, что у С.Л. Шварцева названо *магматогенной формой движения воды*.

Другая часть вод может вовлекаться в обратные подкорковые течения и возвращаться в океан в зонах срединных хребтов и возвышенностей и через подводные извержения с магмами. Принимая время этого водообмена, равное возрасту современных океанов, ориентировочно оценивается темп этого водообмена – около $1 \text{ км}^3/\text{год}$.

Таким образом, в соответствии с современными представлениями теории плит целесообразно говорить о двух этапах собственно геологического цикла круговорота воды:

- *этапе новообразования океанической коры*, территориально связанном с зоной срединно-океанических хребтов и обусловленном процессами серпентинизации перидотитов, блуждающей циркуляцией вод в рифтовых областях, их метаморфизмом и вулканической деятельностью;

- *этапе погружения океанической коры*, протекающем в зонах глубоководных желобов и эвгеосинклиналей благодаря процессам литификации мощных осадочных толщ, их метаморфизму, гранитизации, процессам метасоматоза, десерпентинизации, происходящих при погружении океанической коры.

Общими чертами двух циклов геологического круговорота воды являются: их начало по схеме океан→ морские осадки (горные породы), длительность в миллионы и сотни миллионов лет, сложное взаимодействие вод и пород в условиях значительных глубин. Так же как и циклы климатического круговорота, гидрогеологический и собственно геологический циклы отличаются лишь завершающей стадией, на которой можно различить два разнонаправленных этапа.

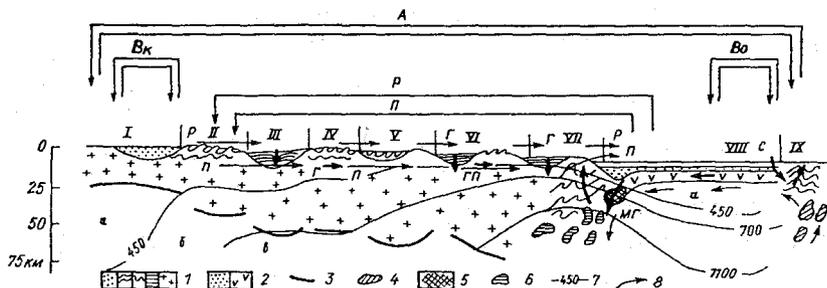


Рис. 6.3.2. Общая схема основных циклов круговорота воды на Земле. I – щит и платформа, докембрий; II – складчатая зона, PZ; III – красной прогиб, MZ; IV – складчатая зона, MZ; V – миогеосинклиналь, MZ; VI – эвгеосинклиналь, KZ; VII – островная дуга; VIII – океаническая платформа; IX – срединно-океанический хребет. 1 – континентальная кора; 2 – океаническая кора; 3 – поверхность Мохо; 4 – базальтовая магма; 5 – эклогит; 6 – андезитовая магма; 7 – изотермы, °C; 8 – конвективное движение мантийного вещества. а – в – зоны; а – твердых и жидких структурированных вод, б – уплотненного флюида с разупорядоченной рыхлой структурой, в – мономерных молекул воды; А – атмосферный цикл; Вк – внутриконтинентальный цикл; Во – внутриокеанический цикл; P – цикл поверхностного стока; П – цикл подземного стока; Г – гидрогеологический цикл; С – этап новообразования океанической коры; МГ – этап погружения океанической коры.

Общая схема всех циклов круговорота воды показана на рис. 6.3.2. К рассмотренным циклам и этапам на нем добавлено еще два: *внутриконтинентальный* и *внутриокеанический*, известные в литературе как две формы малого круговорота. Однако они не имеют большого геологического значения, так как сводятся по существу к схеме испарение–конденсация–осадки.

6.4. Тепловые машины Земли

Пожалуй, впервые мысль о тепловых машинах Земли сформулировал в науке выдающийся французский физик Ф.А. Арагон [1829 г.]. Об этом мы с вами говорили еще в теме 1, когда обсуждали вопросы моделирования (см. разд. 1.3). Здесь полезно привести его слова еще раз:

Атмосферная машина для выкачивания воды представляет снаряд безжоризненный, и прерывистость его действия не представляет никаких неудобств.

Через 100 с лишним лет эту идею развил крупнейший русский океанолог академик В.В. Шулейкин, который построил несколько моделей таких машин применительно к границе океан–атмосфера–суша.

Машины первого рода являются наиболее крупными. В качестве нагревателя в них работают тропические пояса Земли с положительным бюджетом тепла, а в качестве холодильника – высокоширотные области, в которых тепловой бюджет отрицательный. Термобарические колебания и соответствующий им массоперенос воздуха и воды имеют здесь *субмеридиональное распространение*.

Машины второго рода – это уже механизм регионального порядка. В холодное время года нагревателем в них служат наиболее теплые области океана, а холодильником – материка. В теплое время года ситуация меняется на обратную. Исключением являются лишь Антарктида и Гренландия, которые из-за мощного материкового оледенения выполняют функции холодильника круглый год. Работа машин второго рода в значительной мере определяет муссонную циркуляцию, при этом подстилающая поверхность воздействует на нижний слой атмосферы мощностью до 4–5 км, а теплоперенос и распространение барических волн характеризуются *субширотным направлением*. Потoki атмосферной влаги связаны с определенными источниками и стоками планетарного масштаба, расположенными в пределах как океанов, так и суши. Эти потоки представляют собой области квазизамкнутой циркуляции. *Тепловые машины второго рода генерируют колебательные процессы переменного знака* и определяют так называемую муссонную циркуляцию.

Машины третьего рода формируют циркуляционные ячейки уже за пределами тропопаузы. По В.В. Шулейкину их работа обусловлена воздействием теплового излучения на воздушные массы стратосферы. В этих машинах *круглый год нагреватель расположен над материком, а холодильник – над океаном*.

Машины четвертого рода также участвуют в формировании зональных потоков, но другого характера. Их работа связана с тем, что охлаждение стратосферы над экватором является более сильным, чем над высокоширотными поясами Земли. Таким образом,

для этих машин высокоширотные пояса Земли служат нагревателями, а тропический пояс – холодильником. В результате в стратосфере возникают зональные потоки, противоположные по направлению зональным потокам в тропосфере.

В машинах пятого рода нагревателем являются особенно теплые участки океана, а холодильником – все окружающее их пространство. Это – тропические ураганы. О них мы уже говорили в разделе 6.1, когда обсуждали особенности устройства геосферных границ. Посмотрите еще раз рис 6.1.2 и объяснения к нему.

С позиций работы тепловых машин может быть объяснен и феномен появления облачности. Например, аномально нагретый участок океана продуцирует восходящее движение воздуха и влаги. На определенной (термодинамически критической) высоте влага конденсируется (работа холодильника), возникшая облачность экранирует поступление солнечной радиации, нагреватель «остывает», облачность рассеивается – машина переходит на холостой ход (ее КПД резко снижается). Затем происходит новое возбуждение, вызванное поступлением свежей порции тепловой энергии, и т.д.

Названные тепловые машины верхних геосфер, взаимодействуя, создают чрезвычайно сложную картину их функционирования.

Вслед за метеорологами и океанологами интерес к тепловым машинам Земли начали проявлять геофизики и геологи. Анализ связей между аномальными значениями плотности теплового потока нашей планеты и аномальными (по отношению к сфероиду) областям геоида позволил обсуждать возможные тектоносферные* аналогии тепловых машин В.В. Шулейкина. А.Н. Павловым были предложены три таких аналога.

Аналог машин первого рода. В отличие от атмосферных машин этого рода нагреватели и холодильники имеют здесь не субширотную, а субмеридиональную поясность. При этом можно говорить о четырех крупных конвективных ячейках в верхней мантии, в основном, вероятно, в слое, который называется астеносферой. Поскольку геоид – одна из эквипотенциальных поверхностей гравитационного поля, векторы напряженности которого направлены к ис-

* Тектоносфера – оболочка Земли, охватывающая земную кору и верхнюю мантию, в которой происходят тектонические процессы, обуславливающие вертикальную и горизонтальную неоднородность состава и физических свойств масс.

точнику, можно считать, что в областях положительных аномалий геоида будет происходить *конвергенция* потока вектора напряженности. В областях же отрицательных аномалий должна наблюдаться *дивергенция**. Это означает, что в первом случае можно говорить об уплотнении масс, а во втором – о разуплотнении.

В зависимости от того, протекает ли этот процесс в данное геологическое «мгновение» или он прекратился, могут быть сделаны различные выводы о связи гравитационного и теплового полей Земли.

Четвертичный период, в котором мы живем (см. разд. 5.2, тема 5), относится к активной эпохе геологической истории Земли и как будто развивается в соответствии с неомобилистскими моделями. Об этом свидетельствуют геодезические измерения дрейфа литосферных плит, характер магнитных аномалий в зоне океанических хребтов и другие факты. Если это так, то работу *тектоносферной тепловой машины первого рода* можно изобразить в виде четырех крупномасштабных ячеек тепловой конвекции в верхней мантии (см. рис. 6.4.1).

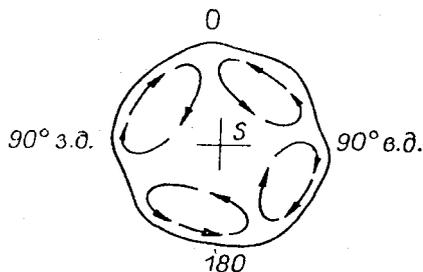


Рис. 6.4.1. Схематический разрез геоида по экватору со стороны южного полюса. Стрелками показана конвекция в верхней мантии.

Таким образом, можно говорить о структурной общности внешних и внутренних тепловых машин первого рода для нашей планеты. Любопытно, что и по КПД эти феномены близки: 1,7–2,0% для *атмосферных машин* и 0,1–1,0% для *тектоносферных*.

* Конвергенция, дивергенция – соответственно схождение и расхождение. В нашем случае речь идет о схождении и расхождении векторов напряженности гравитационного поля Земли.

Тектоносферные аналоги машин второго рода. Анализ распределения положительных и отрицательных аномалий геоида показывает, что близкие абсолютные значения этих аномалий располагаются симметрично и могут быть объединены в пары. Каждая пара таких сопряженных аномалий естественным образом оконтуривается линией, близкой к окружности. Эти структуры очень похожи на термобарические сейши* В.В. Шулейкина (см. рис. 6.4.2 и 6.4.3).

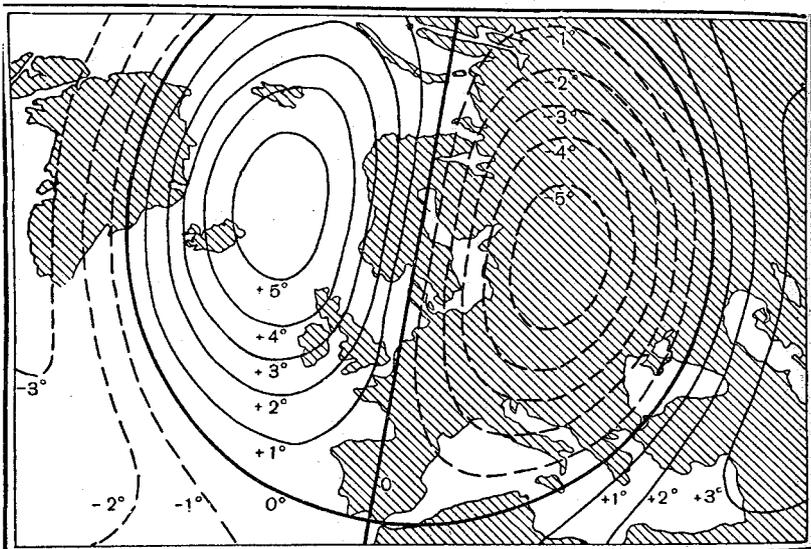


Рис. 6.4.2. Теоретическая схема термобарических сейш (по В.В. Шулейкину).

Правда, на рис. 6.4.3 квазиокружности *тектоносферных сейш* больше похожи на эллипсы. Но не следует забывать, что координатная сетка на приведенной иллюстрации прямоугольная, что сильно вытягивает размеры объектов в средних и высоких широтах.

Напомним, что сейшевая модель муссонной циркуляции у В.В. Шулейкина двухслойная. Слои между собой не взаимодействуют. Нижний считается активным, верхний – пассивным. Сейши вращаются против часовой стрелки в северном полушарии и по часовой – в южном. Нетрудно понять, что идея этой модели вполне подходит и для конвективных ячеек тектоносферы.

Геологическим следствием существования тектоносферных сейш должны быть эпейрогенические колебания земной коры, раз-

ворот литосферных плит при их раздвижении, а также определенный характер их раскалывания. Это предположение может быть использовано в целях прогноза и, вообще говоря, проверяется геологическими методами.

Если вращение сейш в северном и южном полушариях происходит в разные стороны, то на экваторе теоретически никакого вращения не должно быть, а к более высоким широтам момент крутящих сил должен возрастать. Поэтому в сейшах, расположенных по обе стороны экватора, особенно если такое разделение несимметрично, будут возникать напряжения, очень сложные по знаку и величине. В области (+24, -23) (см. рис. 6.4.3) в экваториальной полосе на западе должны появляться сжимающие усилия, а на востоке – растягивающие. Схема О.И.Слензака как будто отражает именно такие тенденции (рис. 6.4.4).

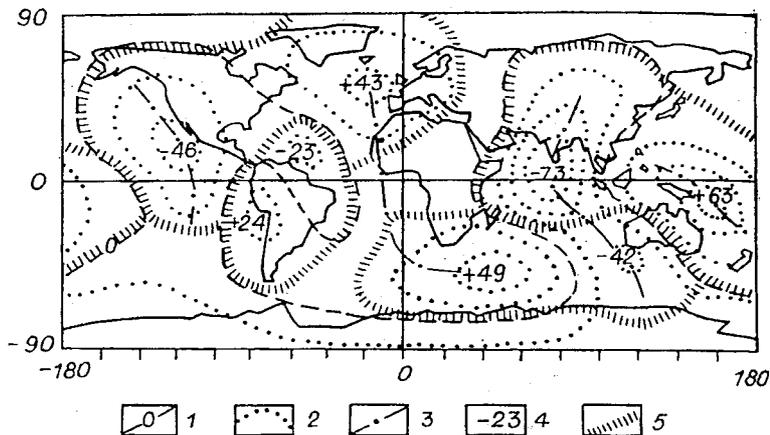


Рис. 6.4.3. Карта высот геоида с деталями тектоносферных тепловых машин первого и второго родов (по А.Н. Павлову, 1990).

1 – нулевая изолиния геоида; 2 – изолинии геоида (проведены через 20 м); 3 – осевые линии главных морфологических элементов геоида; 4 – экстремумы геоида (положительные и отрицательные); 5 – предполагаемые контуры тектоносферных тепловых машин второго рода.

Приводимые рассуждения не детализированы. Обсуждаются лишь принципиальные возможности использования модели атмосферной тепловой машины типа термобарических сейш для изучения и объяснения тектоносферных процессов. Создается впечатление, что такие аналоги могут иметь место.

Обращение к таким аналогам принесет бесспорную пользу, так как формирует вполне конкретный подход к известным геологическим фактам и позволит применить в геологии уже разработанные математические схемы и решения. Появляется возможность перейти и к аналоговому моделированию, если не основных, то хотя бы вспомогательных задач. Проверка же и уточнение сейшевых моделей тектоносферы должна заключаться не только в анализе традиционной геологической информации, но и в попытках количественной оценки различных параметров тех или иных составляющих тектоносферы, например, вязкости, средних коэффициентов теплопроводности, упругоэластичности и т.д.

Сегодня еще трудно сказать, к машинам какого рода, *второго или третьего*, тектоносферные сейши ближе. Если тектонический цикл удастся уподобить астрономическому году и окажется, что распределение в нем внутреннего тепла Земли обуславливает различное нагревание сейшевых полюсов, то появятся основания считать тектоносферные сейши машинами второго рода. Если же температурные аномалии сейшевых полюсов имеют постоянный знак, то более близким аналогом будут атмосферные машины третьего рода.

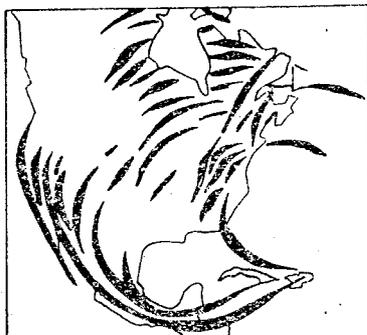


Рис. 6.4.4. Схема сочетаний складчатых зон Северной Америки.

Рассмотренные аналогии, разумеется, не являются явными и требуют дальнейшего анализа. Если результаты анализа подтвердят высказанные здесь почти эвристические идеи, то перед геологией и геофизикой откроются новые, чрезвычайно перспективные горизонты.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Параметризация границ и принцип договорённости при их проведении. Как вы понимаете эту задачу?
2. В чём состоит клапанный принцип функционирования границ?
3. В чём состоит явление цикличности? Приведите примеры природных циклов.
4. Как выглядит геосферный цикл?
5. Постройте модель-диаграмму, показывающую связь климатического и литогенетического типов круговорота воды.
6. Приведите несколько примеров коллективной структуризации в системе вода-порода.
7. Постройте модель-диаграмму единства природных вод Земли.
8. Приведите примеры круговорота воды с продолжительностью цикла, измеряемого: а) часами, б) сутками, в) годами, г) сотнями лет и т.д. – до сотен миллионов лет.
9. Дайте общую схему и принципиальную характеристику тепловых машин Земли.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. *Львович М.И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. – М.: Мысль, 1974. – 444 с.
2. *Павлов А.Н.* Геологический круговорот воды на Земле. – Л.: Недра, 1977. – 141 с.
3. *Шулейкин В.В.* Физика моря. – М.: АН СССР, 1968. – 1084 с.

Дополнительная

1. *Зверев В.П.* Энергетика гидрогеохимических процессов современного седиментогенеза. – М.: Наука, 1983. – 135 с.
2. *Зекцер И.С., Джамалов Р.Г., Месхетели А.В.* Подземный водообмен суши и моря.. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 205 с.
3. *Эткинс П.* Порядок и беспорядок в природе. – М.: Мир, 1987. – 224 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Земля – продукт развития Вселенной. Продукт достаточно молодой, возникший в последнюю четверть жизни Метагалактики. Основными структурными элементами Земли являются геосферы и физические поля. Их взаимодействие формирует целостность нашей планеты.

Сегодняшние представления о Земле являются результатом наших интерпретаций тех наблюдений и измерений, которые воспринимаются человеком как факты реального мира. Построенная на них *система представлений – суть модели*. Это смесь фактов и размышлений. Факты обновляются и дополняются. Меняются модели и теории. Так развивается наука в целом. Так же развиваются геология и геофизика.

Что нас ждет впереди? Об этом узнают наши потомки.

СОДЕРЖАНИЕ

Тема 5. Пространство и время в науках о земле	3
5.1. Пространственно-временной изоморфизм	3
5.2. Относительная геохронология	7
5.3. Абсолютная геохронологическая шкала	13
5.4. Магнитная геохронологическая шкала	15
5.5. Прошлое, настоящее, будущее	17
5.6. Пространственно-временные принципы натуральных исследований в геологии	27
Контрольные вопросы	33
Литература	33
Тема 6. Взаимодействие геосфер	34
6.1. Границы	34
6.2. Циклы	46
6.3. Круговороты природных вод	57
6.4. Тепловые машины Земли	68
Контрольные вопросы	75
Литература	76
Заключение	76

Учебное издание

Павлов Александр Николаевич

«ГЕОФИЗИКА»

Темы: 5. Пространство и время в науках о Земле
6. Взаимодействие геосфер

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Редакторы И.Г. Максимова

Л.В. Ковель

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 11.06.04. Формат 60x90 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ.л. 2,4. Уч.-изд.л. 2,4. Тираж 500 экз. Заказ № 23
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
ЗАО «Лека», 195112, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 68.
