



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

ЦИКЛИЧНОСТЬ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ

ГАБДУЛЛИН
РУСЛАН РУСТЕМОВИЧ

ГЕОЛФАК МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН
СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ. РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ
СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ.
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ
НА [VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).

ЕСЛИ ВЫ ОБНАРУЖИЛИ
ОШИБКИ ИЛИ ОПЕЧАТКИ,
ТО СООБЩИТЕ ОБ ЭТОМ,
НАПИСАВ СООБЩЕСТВУ
[VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).



БЛАГОДАРИМ ЗА ПОДГОТОВКУ КОНСПЕКТА
СТУДЕНТКУ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ
ГИРЕНКО ЕЛЕНУ ЮРЬЕВНУ



Содержание

Лекция 1. Галактическая цикличность	4
1.1. Общая информация	4
1.2. Цикличность и необратимость в геологических процессах Земли	4
Лекция 2. Цикличность и необратимость	27
2.1. Циклостратиграфия. Необратимость	28
2.2. Гипотезы изменения климата Земли	39
2.3. Причины изменения уровня Мирового океана	40
2.4. Циклостратиграфия	40
Лекция 3. Астрономо-климатическая цикличность	43
3.1. Теория космической цикличности	43
3.2. Циклы Солнечной активности	52
3.3. Планетарная корреляция	58
Лекция 4. Методы анализа пластовой цикличности	65
4.1. Группировка циклитов	65
4.2. Интерпретация аналитических данных	66
Лекция 5. Седиментационные модели цикличности осадочных толщ	73
5.1. Седиментационные модели цикличности осадочных толщ	73
5.2. Группировка моделей по признакам	80
Лекция 6. Методика изучения керна и скважин с позиций секвентной стратиграфии	83
6.1. Методика анализа керна с позиций секвентной стратиграфии	83
6.2. Выделение секвенций и систем трактов в кернах: примеры	91

Лекция 1. Галактическая цикличность

1.1. Общая информация

Курс лекций по предмету «Цикличность осадочных толщ» связан с такими курсами как: «Историческая геология» и «Нефтегазоносные бассейны мира».

Любой геолог может заметить в обнажении множество слоев. Эти слоистые толщи часто построены циклично (многократное повторение слоёв). В курсе рассматриваются седиментационные модели – модели осадконакопления, которые приводят к формированию циклических толщ.

В настоящих лекциях будут рассматриваться следующие вопросы:

1. Цикличность и необратимость в геологических процессах Земли.
2. Причины климатических и эвстатических вариаций.
3. Пластовая цикличность – свидетельство цикличности осадконакопления.
4. Астрономо-климатические циклы М.Миланковича, генерирующие циклические толщи и секвенции.
5. Циклы Солнечной активности.
6. Циклостратиграфия и секвентная стратиграфия.
7. Методы анализа циклов М. Миланковича.

Земля не только вращается вокруг своей оси, но и изменяет другие орбитальные параметры. Например:

- эффект прецессии, когда ось вращения Земли описывает окружность;
- изменение угла наклона планеты (оси вращения) к плоскости орбиты – циклы эклиптики;
- цикл эксцентриситета: форма орбиты похожа на эллипс, что приводит к вариациям климата.

Т.е. существует комбинация космических факторов и различных факторов, связанных с процессами, которые происходят на поверхности Земли или в ее недрах (движение тектонических плит, вулканическая деятельность, деятельность различных групп растений).

1.2. Цикличность и необратимость в геологических процессах Земли

Рассмотрим компиляцию целого ряда кривых (рис. 1.1) по Епифанову В.А. При сопоставлении разных видов событий можно увидеть, что многие события цикличны: разные фазы образования полезных ископаемых, вариации эвстатического уровня Мирового океана – уровень Мирового океана изменялся и изменяется всё время – все эти факторы можно скоррелировать с тектоно-магматическими циклами, т.е. существует определенная закономерность между эвстатическими циклами и циклами образования распада суперматериков. Таким образом, одни процессы приводят к запуску других механизмов и процессов. Цикличность / периодичность (частота, с которой происходят те или иные события) может быть равной или периоды могут отличаться.

Понимание геологического времени в геологии является одной из фундаментальных проблем: если возраст пород определен недостаточно точно – это

значит, что было не точно датировано то или иное геологическое событие. Это может привести к некорректным выводам.

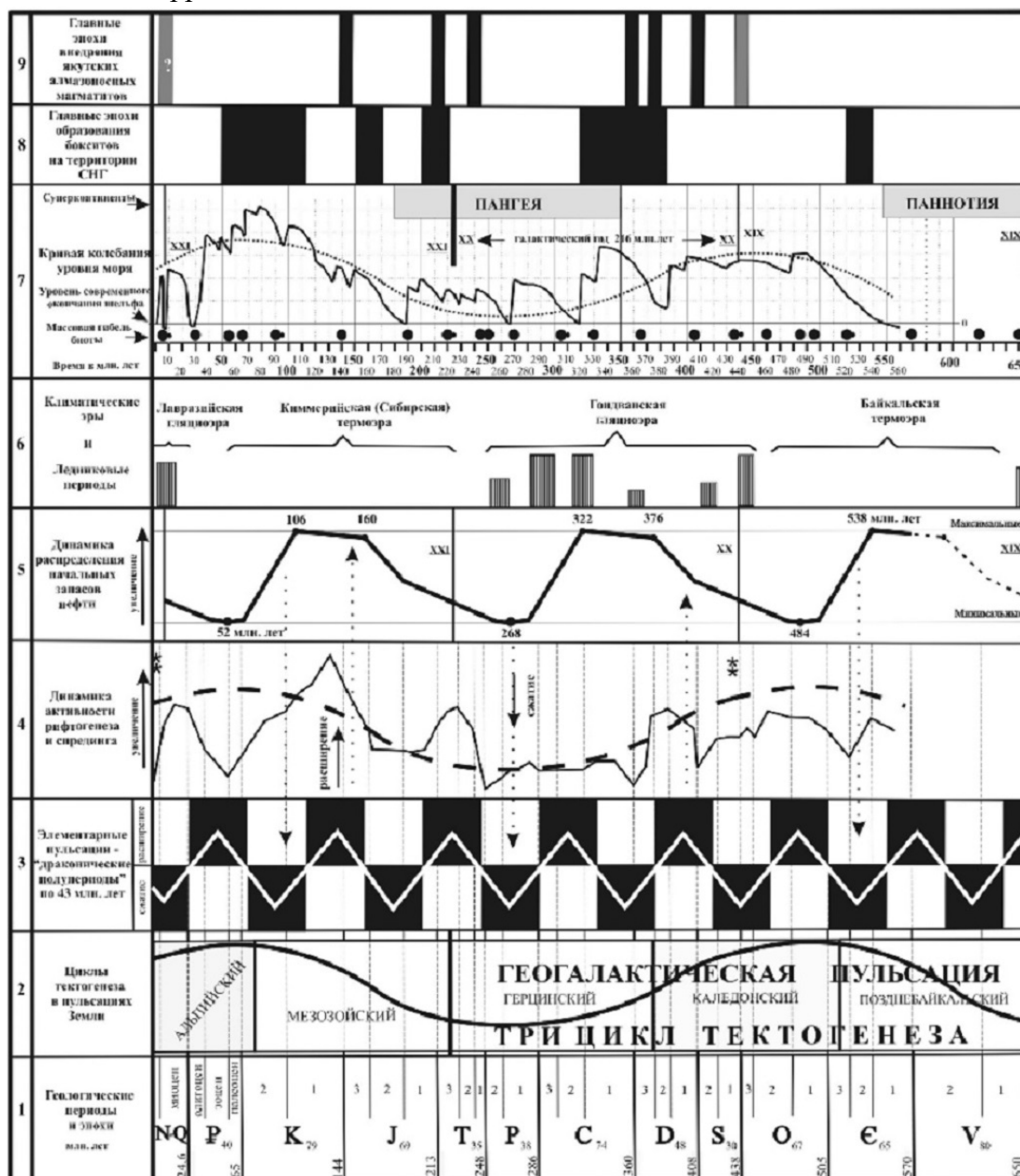


Рис. 1.1. Единство геологических циклов и галактических пульсаций по В. А. Елифанову

Единство геологических циклов и галактических пульсаций по В. А. Елифанову заключается в том, что эволюция геологических, геофизических, климатических и космических явлений подчинена единому ритму, определяющему цикличность эволюции Земли в целом. Воздействие космических факторов на Солнечную систему происходит с периодичностью, близкой Галактическому году.

Продолжительность Галактического года варьирует от -215 млн. лет [Заколдаев, 1990; Третьяк, 1996] до ~250 млн. лет. Баренбаум, Ясаманов, 1999]. По данным астрономических обсерваторий близкая к эллиптической орбите движения Солнечной системы состоит из периодов максимальных приближения 30 млн лет), удаления (85 млн лет) Солнечной системы к галактическому центру и промежуточных между ними перепадов (по ~50 млн лет). Начальные даты каждого Галактического года с XIX-го по XXI-й приурочены соответственно к 650 435 и 220-МА.

На пятой строке показаны циклы нефтенакопления: спады нефтенакопления (строка 5 диаграммы) почти совпадают по времени с меловой, пермской и ордовикской биологическими катастрофами, которые произошли, соответственно, 65, 251 и 450 млн. лет назад. В конце ордовика произошло крупное геологическое вымирание, которое было связано с гамма-всплеском и преобразованием атмосферы Земли. Пермское событие – суперплюмовое событие, когда из недр Земли поднимается мантийное вещество (за 1-3 млн. лет); мантийное вещество проплавляет земную кору, и начинается длительное излияние базальтовых лав до тех пор, пока не иссякнет магматический очаг. В конце мелового периода произошло еще одно вымирание – не такое катастрофичное, как в конце пермского периода. Вымирание привело к исчезновению большого количества групп: позвоночных, рептилий, в частности динозавров, беспозвоночных, аммонитов, белемнитов и др. В этот момент сильно изменялась палеогеография – молодые океаны (Индийский, Атлантический, Северно-Ледовитый) активно раскрывались, океан Тетис – сжимался, закрывался, что приводило к значительным трансгрессиям и регрессиям. В результате трансгрессии воды из океанов затапливали низменные части и периферические части палеоматериков, где возникали обширные моря.

200 млн. лет – период оборота Солнечной системы вокруг центра Галактики, или галацикл по В.А. Епифанову (рис. 1.2). Галактика Млечный Путь вращается вокруг центра тяжести, которым выступает сверхмассивная черная дыра.

Как цикличность длительностью 200 млн лет влияет на те или иные события, происходящие на нашей планете? Проанализируем крупные статические циклы: изменение уровня Мирового океана и возникновение крупных материков. У этих циклов период составляет 230 – 250 млн лет. Предполагается, что эти циклы взаимосвязаны: планета «путешествует» вместе с другими телами, звездами и планетными телами вокруг центра Галактики, т.е. вступает в гравитационное взаимодействие с большим количеством других тел. В процессе движения наша планета может оказаться рядом с другими вращающимися небесными телами, что приводит к изменениям внутри планеты. Например: фазы складчатости, эпохи магматической активизации.

Существуют цикличности большего порядка – проход Солнцем галактических рукавов (более 1 млрд лет) (рис. 1.3, 1.4).



Рис. 1.2. Галактика Млечный Путь

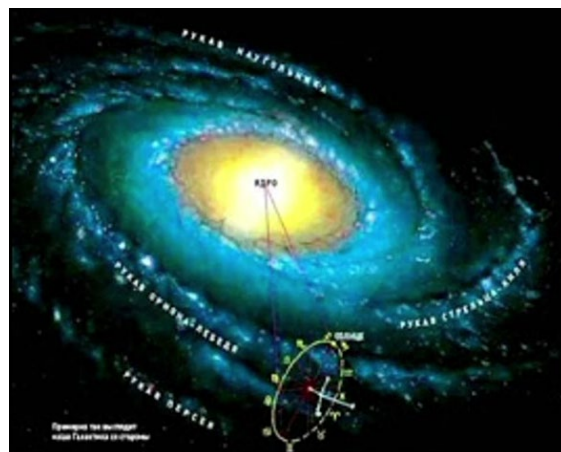


Рис. 1.3. Проход Солнцем
галактических рукавов

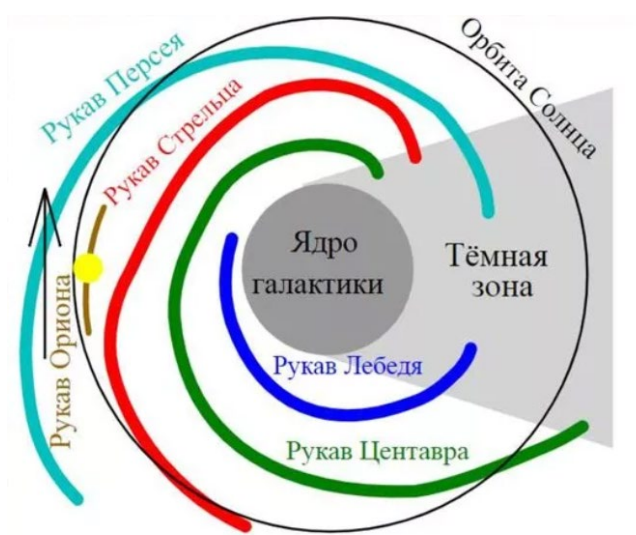


Рис. 1.4. Проход Солнцем галактических рукавов

Галактический год (200 млн. лет) – период оборота Солнечной системы вокруг центра Галактики, или галактикл. Датировка в 200 млн является условной, так как точность определения геологического времени на данный момент не является совершенной.

Галактикл – период длительностью 200 млн. лет, примерно совпадающего с галактическим годом. Иногда они используются как синонимы, но, вообще говоря, могут различаться, т.к. регулярные галактические события могут наступать не только при прохождении Солнечной системой перигалактия, но и от ее положения на орбитах вращения вокруг центров масс Местной группы и Местного скопления звёзд (которые вместе с Солнцем обращаются вокруг ядра Млечного пути), а также от прохождения

мимо галактических объектов, имеющих близкие орбиты, что может происходить за время чуть меньшее или чуть больше истинного галактического года.

Если рассматривать цикличность, сопоставимую с цифрами в 200 – 230 млн лет, тогда последнее событие, которое было примерно в это время – на границе пермского и триасового периода – это трапповые формации в Сибири (рис. 1.5), плюмовые события (красным цветом на рисунке отмечен большой ареал распространения вулканогенно-осадочных пород и сопутствующего комплекса интрузий).

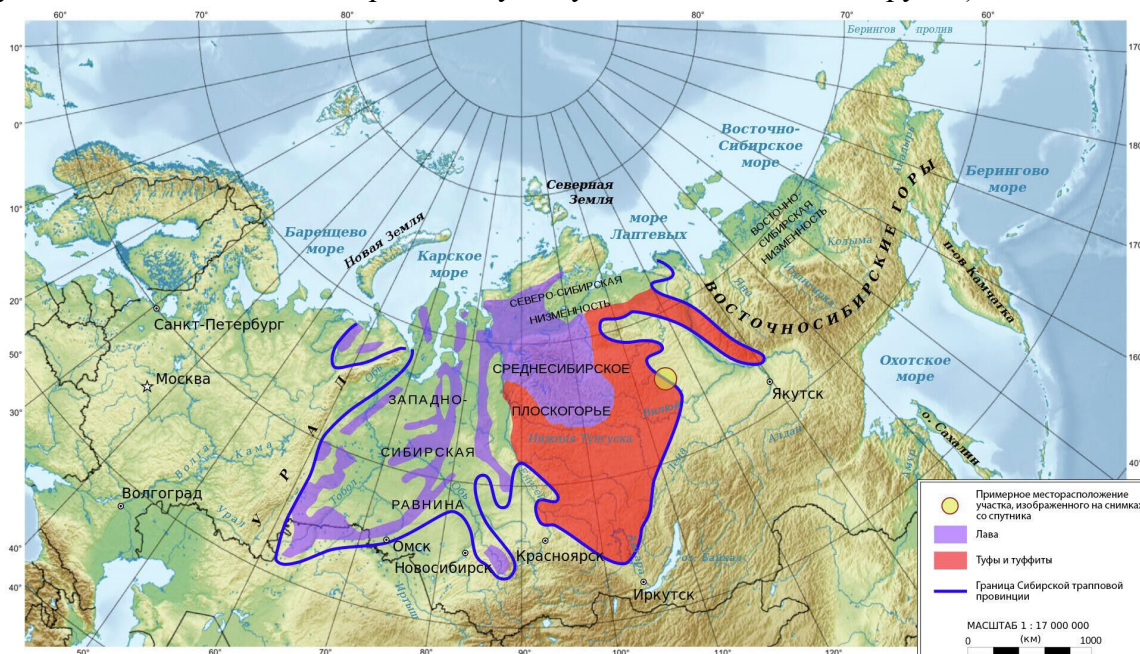


Рис. 1.5. Трапповый вулканизм в Сибири

Около 230 млн лет назад на планете Земля был суперматерик Пангея-2 (рис. 1.6), который объединил все фрагменты континентальной коры в единый суперматерик, вокруг которого существовал океан. В другое время ситуация отличалась – континенты разъезжались / съезжались – такая цикличность составляет примерно 200 млн лет.

Цикличность тектоники и магматизма Земли в фанерозое отражается в чередовании максимальных и минимальных интенсивностей процессов их формирования в различные интервалы времени относительно общей последовательности тектонических этапов эволюции планеты.

С геологических позиций выявляется взаимосвязь начала циклов каждого галактического года с усилением движения океанических литосферных плит, увеличением количества магматических излияний и максимумов частот обращения геомагнитного поля.

По астрономическим данным в начальный период галактического года, соответствующего наибольшему приближению Солнечной системы к центру Галактики, планеты в её составе испытывают усиление влияния гравитационных полей, оказывающих тормозящее воздействие, которое приводит к замедлению движения по своей орбите Солнечной системы и всех её планет [Баренбаум, Ясаманов, 1999].

Следствием усиления притягивающего влияния галактического центра является деформация (сплющивание с полюсов и вытягивание по экватору) геоида Земли в направлении центра Галактики. Это обуславливает не только вариацию магнитного поля Земли (увеличивается частота его обращений), но и значительное возрастание сейсмичности и тектонической активности, усиление вулканизма и, по Е.Е. Милановскому [1995], поднятие уровня Мирового океана

При выходе Солнечной системы из зоны приближения к центру Галактики восстанавливается форма геоида, имеется эффект её сжатия.

Периодические изменения площади земной поверхности (геопульсации) разного порядка описываются чередующиеся эпохи усиления тектонических деформаций горизонтального расширения коры (фаз активизации рифтинга и спрединга) и её сжатия (фаз складчатости) в истории развития Земли.

Активизация базальтового магматизма и подъём уровня океана соответствуют фазам расширения коры, а понижение уровня океана и формирование субмеридианальных разломных зон- фазам сжатия.

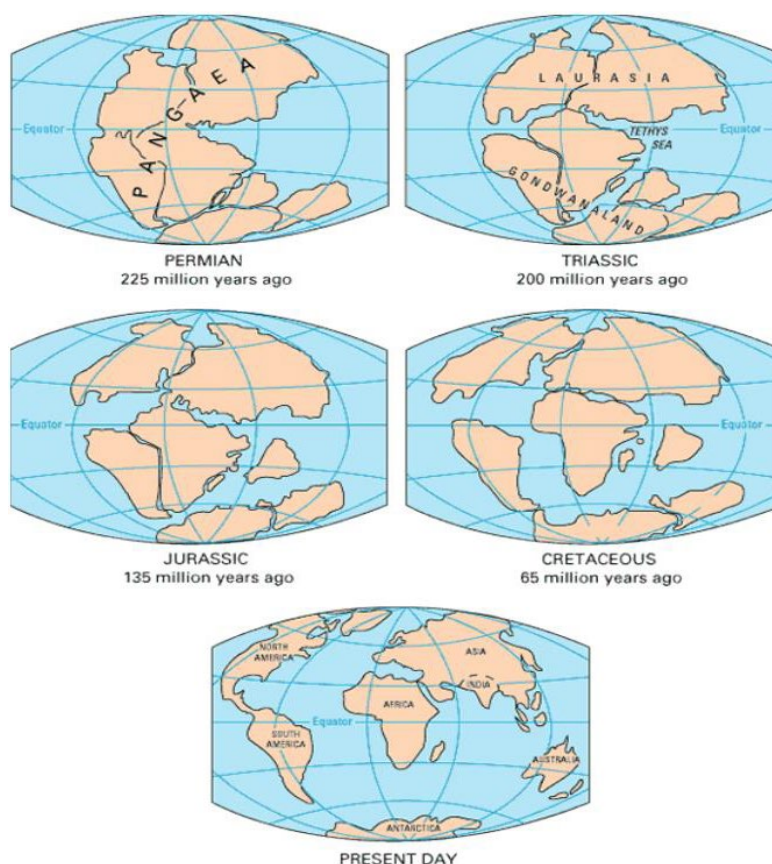


Рис. 1.6. Палеотектонические реконструкции Земли для пермского, триасового, юрского, мелового периодов и облик планеты Земля в настоящее время

Если анализировать различные виды цикличности, можно заметить, что кроме цикличности возникновения / распада суперматериков, сопутствующих активизации

магматической деятельности, что генерации фаз тех или иных групп полезных ископаемых. Ресурсная база важна для человечества, поэтому прогноз расположения полезных ископаемых проводится при проведении геологической съемки. Геологические съемки проводятся в целях составления геологических карт (карт коренных отложений, дочетвертичных отложений, четвертичных и др.). Кроме того, составляются карты полезных ископаемых. Цикличность приводит к образованию тех или иных групп полезных ископаемых.

В результате того, что Земля, как и другие небесные тела находится в постоянном движении, она гравитационно взаимодействует с другими небесными телами, и, таким образом, происходят различные процессы внутри Земли (плюмы, инверсия магнитного поля, которые связаны с изменением орбитальных параметров).

Геопульсации, отражающие периодичность напряжений в земной коре, возникают в результате проявления движущих сил разного порядка. Это может быть влияние ротации Земли, влияние на Землю планет Солнечной системы, изменения положения Солнечной системы в плоскости Галактики.

Влияния ротации Земли проведено на основании экспериментального изучения поведения частицы вязкого вещества (эксперимент Е.И. Шемякина); доказано, что любая частица на сфере никогда не возвращается в первоначальное положение, а с увеличением числа оборотов сферы это смещение увеличивается.

Эти смещения вызывают действующие в западном направлении горизонтальные сдвиги верхних слоёв литосферы и приводят к смещению верхних горизонтов коры относительно нижних [Косыгин, 1988].

Существующие в астеносфере сплошные оболочки пониженной вязкости, имеющие обусловленную ротацией Земли повышенную скорость движения, характеризуются увеличением мощности к западной части океана и могут накапливаться под континентом.

Каждая движущаяся на сфере частица массы будет стремиться сохранить свой момент импульса, а при уменьшении линейной скорости и неизменной массе необходимо сохраняет величину импульса лишь за счёт увеличения радиуса движения [Филатьев, 1998]. Таким образом, любое смещение частицы будет стремиться приобрести больший радиус вращения, т.е. будет смещаться в направлении экватора.

Максимальные линейные скорости потоков будут наблюдаться у экватора, а по направлению к полюсам скорости движения будут уменьшаться за счёт увеличения радиуса направленного движения литосферных блоков океана, что сопровождается изменением направления их движения и приближением его к субмеридианальному направлению.

Выходящие из-под континента потоки мантийного расплава могут отрывать и смещать части континентов и их блоки.

Тектономагматические эпохи (циклы Бертрана) по И.К. Гаршину

В истории Земли выделяются около 20 тектономагматических эпох (Ковалев, 2010):

1. Альпийская: 50-0 млн. лет - через 210 млн. лет после начала герцинской.
2. Киммерийская (мезозойская): 90-50 млн. лет.
3. Герцинская (варийская): 260-90 млн. лет - через 390 млн. лет после начала кадомской. Формирование суперматерика Пангеи.
4. Каледонская: 410-260 млн. лет.
5. Салаирская (позднебайкальская): 520-410 млн. лет. Расцвет биоса.
6. Кадомская (катангинская): 650-520 млн. лет - через 210 млн. лет после начала дельийской.
7. Дельийская: 860-650 млн. лет - через 230 млн. лет после начала гринвилльской.
8. Байкальская: 930-860 млн. лет.
9. Гринвилльская: 1090-930 млн. лет - через 400 млн. лет после начала лаксфордской. Формирование суперматерика Родинии.
10. Эльсонская: 1210-1090 млн. лет.
11. Готская (кибарская): 1360-1210 млн. лет.
12. Лаксфордская: 1490-1360 млн. лет - через 180 млн. лет после начала гуронской.
13. Гуронская: 1670-1490 млн. лет - через 160 млн. лет после начала гудзонской.
14. Гудзонская (свекофеннская): 1830-1670 млн. лет - через 400 млн. лет после начала карельской. Формирование суперматерика Колумбии.
15. Балтийская: 1980-1830 млн. лет.
16. Карельская (раннекарельская): 2230-1980 млн. лет - через 270 млн. лет после начала альгонкской.
17. Альгонкская: 2500-2230 млн. лет - через 200 млн. лет после начала беломорской.
18. Беломорская (кенорская): 2700-2500 млн. лет - через 350 млн. лет после начала кольской. Формирование суперматерика Кенорленда и настоящей континентальной коры.
19. Кольская (саамская): 3050-2700 млн. лет - через 450 млн. лет после начала белозёрской.
20. Белозёрская: 3500-3050 млн. лет. Формирование праматерика Ваальбары из древнейших протоконтинентов (кратонов) Каапваль и Пилбара, которые образовались, возможно, под влиянием мощнейших астероидных ударов.

Интервалы времени разделяющие события геологической истории имеют циклическую природу, так как они кратны определенному времени. Некоторые из них похожи на галактический цикл (или его часть).

На рисунке 1.7 показана геологическая история: альпийский, киммерийский, герцинский и каледонский циклы. Ниже изображены фазы складчатости и времена трансгрессий и регрессий. Видна четкая связь между проявлением разных фаз

складчатости и изменением уровня Мирового океана. Кривая изменения уровня Мирового океана показывает, что эти изменения цикличны и происходят с примерно равной периодичностью во времени.

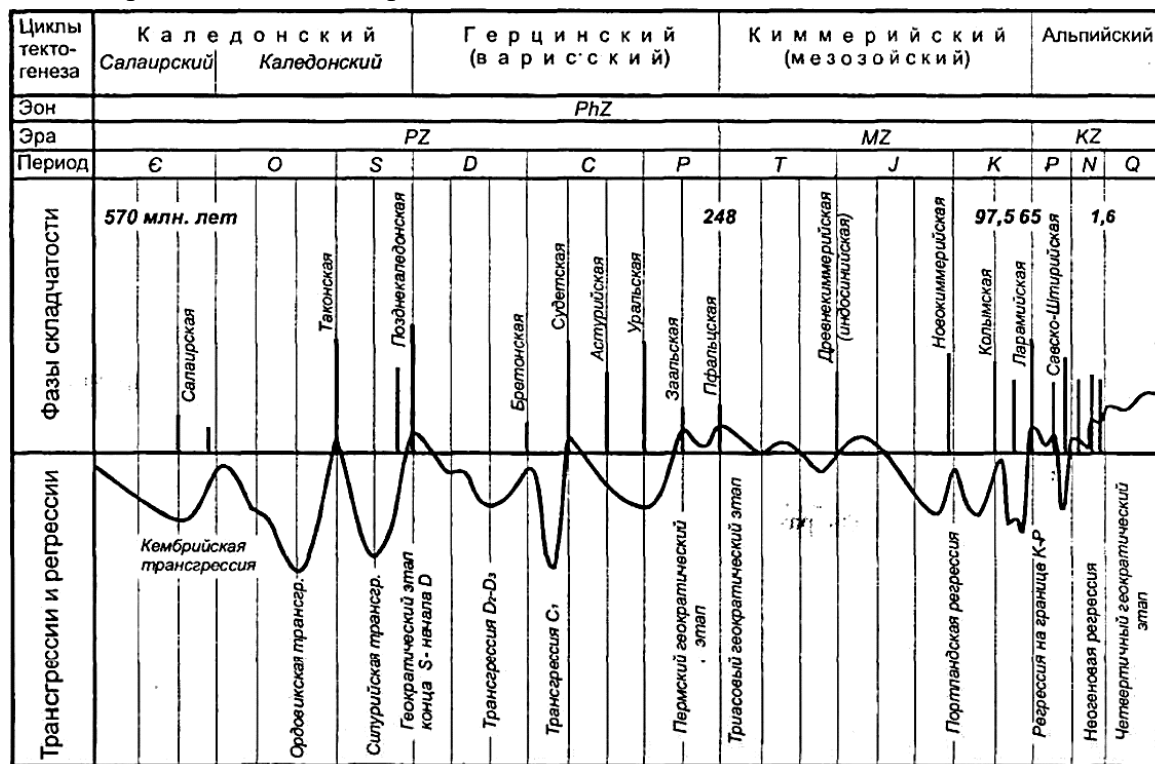


Рис. 1.7. Схема геологической истории

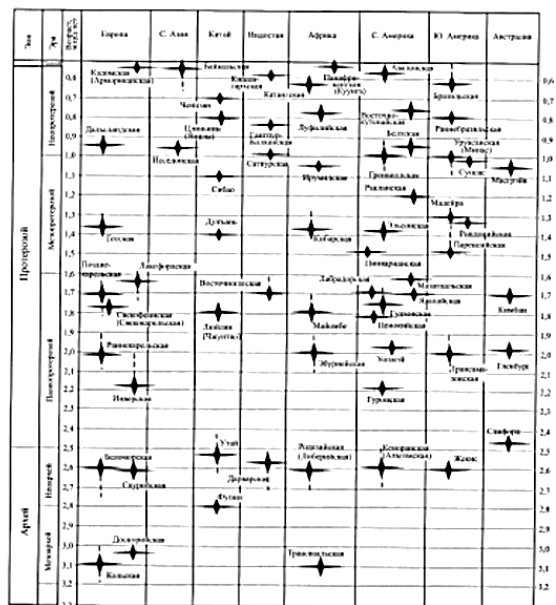
Отметим, что *цикличность* – это некоторая замкнутая система / процесс. Каждый цикл не обязательно равен предшествующему или последующему циклу. *Периодичность* же должна быть равной – параметр периодичности характеризует то, что смена / изменение в системе происходит через равные промежутки времени. Существует также понятие ритмичности – процессы происходят с равной частотой.

Рассмотрим проявления фаз складчатости (рис. 1.8). Столбцы в таблице – регионы. Все данные по каждому региону были вынесены в единую шкалу и проанализированы: проявления складчатостей эпохи тектонической активизации происходят циклично. В силу особенностей геологической истории процессы сжатия не могут происходить одновременно на всей планете, иначе бы изменялся объем планеты. Исходя из постоянства размеров Земли можно говорить о концепции тектоники литосферных плит: перемещение плит в разных направлениях с разными скоростями.

Критерии периодизации геологической истории: в основу границ между геологическими эпохами положены изменения, которые можно проследить (смена палеогеографической обстановки: изменение климата, палеогеографических обстановок; смена состава флоры и фауны (массовые вымирания)). Например, рубеж мелового и палеогенового периодов – это мезозойская и кайнозойская эра, а рубеж

пермского и триасового периодов – это рубеж палеозойской и мезозойской эры. Чем рубеж выше по своему порядку, тем грандиозность / масштабность событий больше. Проявление складчатостей времен тектоно-магматической активизации – один из критериев периодизации геологической истории Земли.

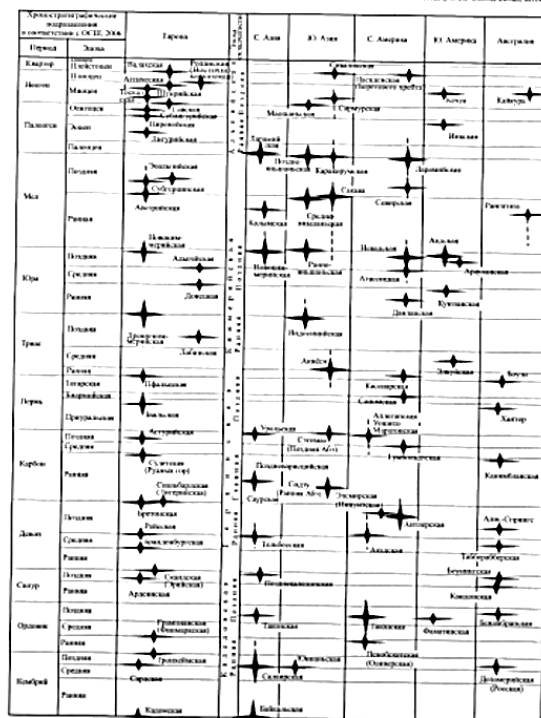
Таблица 1 к ст. Эпоха складчатости



По данным «Планиета Земля. Тектоника и геодинамика» (2004), с. 401.

412

Таблица 2 к ст. Эпоха складчатости



По данным «Планиета Земля. Тектоника и геодинамика» (2004), с. 401.

413

Рис. 1.8. Эпоха фаз складчатости

На рисунке 1.9 показана упрощенная модель шкалы времени. Справа показана шкала всплесков максимумов проявлений крупных фаз складчатости: герцинская, каледонская, альпийская и в меньшей степени разные фазы проявления киммерийской складчатости. Крупные события происходят примерно равномерно. Например, время, которое прошло после поздне-каледонской до герцинской складчатости примерно в 2 раза меньше времени после герцинской и до альпийской складчатостей.

Тектоника древних континентов

Тектоника древних континентов (циклы Уилсона) по И.К. Гаршину:

- 1) Интервал между образованиями Пангеи (300 Ma) и Родинии (1050 Ma) – 750 млн. лет.
- 2) Интервал между образованиями Родинии (1050 Ma) и Колумбии (1800 Ma) – 750 млн. лет.
- 3) Интервал между образованиями Колумбии (1800 Ma) и Кенорленда (2800 Ma) – 1000 млн. лет.
- 4) Интервал между образованиями Кенорленда (2800 Ma) и Ваальбары (3600 Ma) – 800 млн. лет.

Средний интервал – 830 миллионов лет.

Крупные тектонические циклы: 1 цикл 800 млн лет = 4 галактических оборота.

Полуцикл составляет 400 млн лет. А.М. Никишин обратил внимание, что существуют цикличности, которые тяготеют к 200 млн лет. Цикл Уилсона – время с момента возникновения одного суперматерика до возникновения другого.

Зоны (зоно-темы)	Эры (эратемы)	Периоды (системы)	Начало млн. лет назад	Горообразование
ФАНОЗОИ (570 млн. лет)	Кайнозой (66 млн. лет)	Антропоген	0,7	≡
		Неоген (25 млн. лет)	25 ± 2	≡
		Палеоген (41 млн. лет)	66 ± 3	≡
	Мезозой (169 млн. лет)	Мел (66 млн. лет)	132 ± 5	≡
		Юра (53 млн. лет)	185 ± 5	≡
		Триас (50 млн. лет)	235 ± 5	≡
	Палеозой (340 млн. лет)	Пермь (45 млн. лет)	280 ± 10	≡
		Карбон (65 млн. лет)	345 ± 10	≡
		Девон (55 млн. лет)	400 ± 10	≡
		Силур (30 млн. лет)	435 ± 10	≡
		Ордовик (65 млн. лет)	490 ± 10	≡
КРИПТОЗОИ (св. 300 млн. лет)	Протерозой (св. 2000 млн. лет)		2600 ± 100	≡
			св. 3500	
	Архей (св. 1000 млн. лет)			

Рис. 1.9. Упрощенная модель шкалы времени

Эпохи (фазы) оледенения

На планете Земля климат изменяется постоянно и существует множество причин этого явления:

- процессы, которые происходят на поверхности – геолого-географические гипотезы изменения климата;
- процессы, связанные с воздействием на Землю из космоса (например, если на пути между Солнцем и Землей будут проходить туманности / космическая пыль, тогда планета получит меньше солнечного тепла и света; кроме того, Солнце может светить по-разному);
- процессы, связанные с недрами Земли: времена тектоно-магматической активизации и плюмовых событий в конце девонского периода / времена раскрытия молодых океанов – магматические провинции, связанные с рифтингом, образованием молодого океана.

При интенсивной магматической деятельности климат может изменяться – происходит повышение температуры. Если в результате магматической деятельности / извержения крупного вулкана пепел попадает в стратосферу и долго там удерживается, частицы пепла начинают отражать и преломлять солнечные лучи. Тогда следующие 2-

3 года могут быть более холодными. Такое событие, например, произошло после извержения вулкана Кракатау в 1883 году.

В целом, климат может изменяться по разным причинам. Даже животные и растения, которые сами зависят от климата, могут влиять на его изменения. Например, оледенение в каменноугольном периоде. Период получил свое название из-за образования большого количества каменного угля. Отметим, что каменный уголь не впервые образовался в каменно-угольное время, а образовывался им раньше: в конце силурийского и девонского периодов. Но в то время его количество было незначительным. Это связано с эволюцией наземной растительности. Изначально растительность была травянистого облика, позже доросла до уровня кустарников, а в каменноугольном периоде стала иметь древовидную форму – появились деревья. С появлением лесов, большое количество деревьев стали забирать из атмосферы парниковый углекислый газ, превращать его в кислород. За счет того, что углекислого газа становилось всё меньше, начиналась эпоха оледенения, которая шла с полюса суперматерика в южном полушарии – Гондваны (большая часть Южной Америки, Антарктиды, Африки, Индостана и Австралии). Постепенно оледенение захватило 2/3 материка – произошло глобальное похолодание, уровень Мирового океана упал, так как часть воды перестала участвовать в круговороте воды в природе и стала замороженной. В определенный момент времени для тропических лесов становилось холодно, концентрация кислорода тогда была более высокой, чем сейчас. Многим членистоногим, которые тогда жили, например, в каменноугольном периоде, имели большой размер: пауки были размером с небольшую собаку, у стрекоз размах крыльев был 8 см. В настоящее время членистоногих, насекомых – много, их больше всего на нашей планете. Если снова настанет благоприятная для них обстановка, они вновь смогут увеличить размер своего тела.

Фазы потеплений и похолоданий кратны определенным временам. Эпохи (фазы) оледенения по И.К. Гаршину:

- 1) Кайнозойская (началась 30 или 40 млн. лет назад с появлением антарктического ледникового покрова).
- 2) Гондванская (340 240 млн. лет назад), или позднепалеозойская, позднекарбонская (пермско-каменноугольная); по Дж. Кроуэллу 338-256 Ма (карбон-пермь).
- 3) Девонская (370-355 млн. лет назад), или позднедевонская (ограниченно в Гондване); по Дж. Кроуэллу 363-353 Ма (девон-карбон).
- 4) Ордовикская (460-420 млн. лет назад), или позднеордовикская; по Дж. Кроуэллу 445-429 Ма (ордовик-силур).
- 5) Варангская (680-570 млн. лет назад), или вендская, лапландская (в середине – маринойское оледенение). Началась в конце криогения и захватила следующий эдиакарий.

- 6) Стёртская (780 710 млн. назад), или неопротерозойская, рапитанская – одна из нескольких ледовых эпох в криогении. Включала другие оледенения (в начале – кайгасское).
- 7) Гнейсёская (950 900 млн. лет назад) - в тонийском периоде, предшествующим криогенскому.
- 8) Среднепротерозойская (1,2-1,0 млрд. лет назад) - однако, выявленная не достаточно надёжно.
- 9) Гуронская, или макганьенская (по одной из оценок - 2,4-2,1 млрд. лет назад).

Гляциозры – относительно холодные интервалы времени.

Термоэры – относительно холодные интервалы времени.

Гляциозры имеют длительность 200-400 млн. лет, а термоэры – 150-250 млн. лет. Сами гляциозры состояли из чередующихся ледниковых периодов и межледниковий.

Заметим, что один галактический год – это примерно 1 термоэра, а два галактических года – это примерно 2 гляциозры (рис. 1.10, 1.11). По шкале времени наблюдается цикличная (а в некоторых случаях, периодичная) смена.

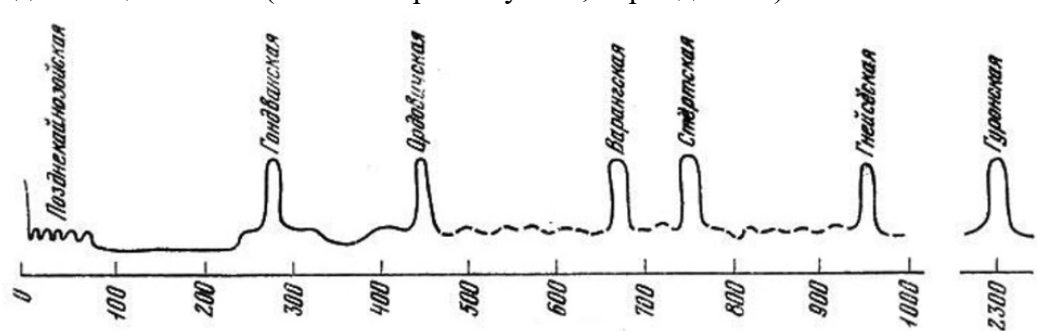


Рис. 1.10. Ледниковые эпохи в истории Земли по Тарлингу (по оси абсцисс – возраст в млн. лет)

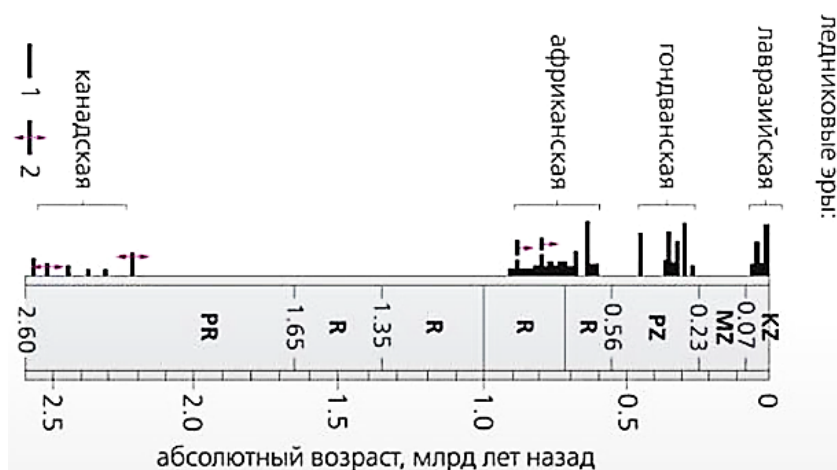


Рис. 1.11. Ледниковые эпохи в истории Земли

При этом, необходимо понимать, что в условиях разного климата будут формироваться и различные осадки. Климатическая цикличность, цикличность в тектонике образования тоже влияют на систему осадконакопления. Это приводит к тому, что в одни интервалы времени формируется один набор осадков, в другие интервалы времени – другие.

На рисунке 1.12 показано совпадение крупных ледниковых периодов и периодов регрессии моря на Земле. Когда происходит оледенение – часть воды замерзает и она не участвует в круговороте воды в природе, что приводит к понижению уровня Мирового океана. В условиях потепления климата происходит таяние вечной мерзлоты. Существуют прогнозы, по которым уже к 2030-му году льды Арктики сильно растают. Другие ученые считают этот прогноз слишком смелым и говорят о 2040-2050х годах. При таянии льдов происходит повышение уровня Мирового океана, что, в свою очередь, приводит к затоплению низменностей различных районов. В этом случае многие островные государства и города, расположенные на береговых линиях находятся под угрозой.

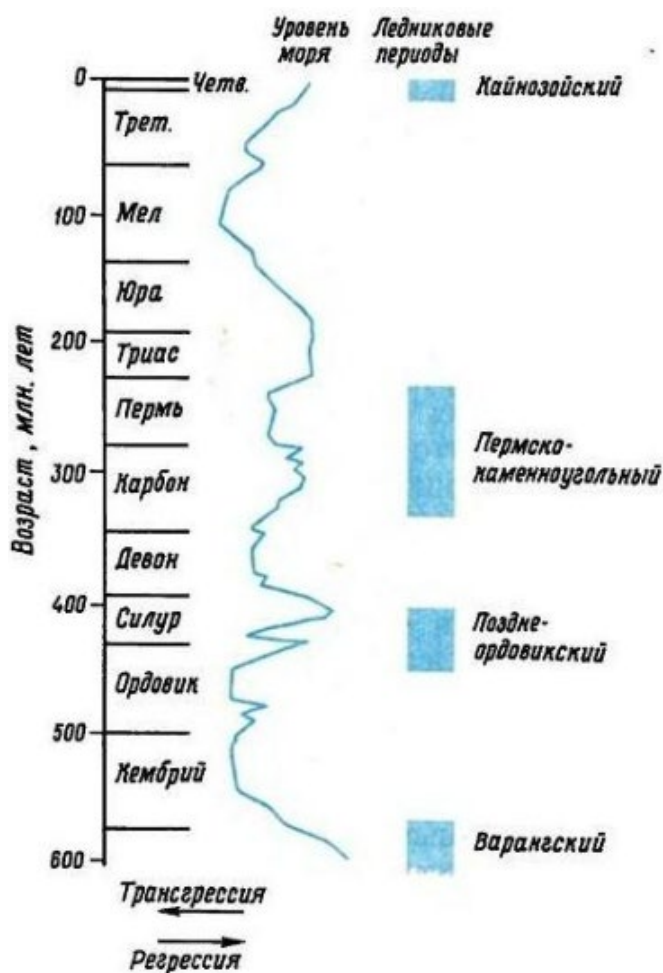


Рис. 1.12. Совпадение крупных ледниковых периодов и периодов регрессии моря на Земле

Вымирания

Крупные магматические события приводят к тому, что на Землю поступает большое количество вулканических газов. Из недр нашей планеты при каждом извержении вулкана выходит водяной пар. Это означает, что количество воды на нашей планете увеличивается. Кроме того, вода поступает из космоса. Она может прилететь в виде кометы, которая растает в атмосфере. Также, при трансгрессиях и регрессиях происходит изменение уровня воды Мирового океана. Таким образом, условия окружающей среды постоянно меняются – это заставляет меняться и жителей нашей планеты: эволюция происходит все время – если условия комфортны для какого-то организма, тогда ему нет смысла эволюционировать дальше, нынешнее его состояние оптимально для существования.

Ярким примером являются динозавры. В конце палеозоя, когда в результате плюмового события стало очень жарко и все материки были объединены в один суперматерик, изливались лавы, произошло опустынивание и от тропических лесов осталось мало – наблюдался аридный пейзаж. В каменноугольном периоде появились рептилии, которые хорошо себя чувствовали в пустынях. В отличие от земноводных, рептилии откладывали яйца – их размножение не было связано с водой. В этот момент рептилии оказались наиболее продвинутыми в эволюционном плане и наиболее приспособленными к той обстановке. Поэтому в начале мезозоя рептилии заселили практически всё пространство Пангеи-2, которая дальше распалась на Лавразию и Гондвану. В конце триаса появились первые летающие формы рептилий (птерозавры) и вторично-водные рептилии, а также млекопитающие и птицы. У рептилий есть своя особенность – они хладнокровные, что позволяет им не тратить большое количество энергии на поддержание постоянной температуры тела. Их температура тела равняется температуре окружающей среды и в условиях перегрева Земли – это очень выгодная особенность. Когда условия окружающего мира стали изменяться: Гондвана распалась на части, образовались Индийский океан и Атлантический океан, изменялся уровень Мирового океана, проявлялась вулканическая деятельность. В конечном итоге, специализированные группы, изначально захватившие практически все экологические ниши стали проигрывать другим, более новым существам. Так, динозавры не пережили рубеж мезозой-кайнозоя, а крокодилы, черепахи, ящерицы и другие смогли.

Рассмотрим кривую вымирания / численности разнообразия (рис. 1.13): по вертикали оси отложено число видов / родов; по горизонтальной оси отложено геологическое время. На кривой видно, что изменения происходят циклично и приблизительно с равной периодичностью. Средний интервал между крупнейшими кризисами биосферы – 200 миллионов лет (или кратен этой величине), – и приурочены они к начальным фазам эпох тектогенеза, сопровождаясь, как правило, оледенениями и импактными событиями. После каждого такого вымирания происходит взрыв видообразования. Есть циклы и рангами меньше – 30 и 50 млн. лет (в других вариантах – кратны 26). Средний интервал между крупнейшими ароморфозами – 800 миллионов лет, – и связаны они с образованием суперконтинентов.

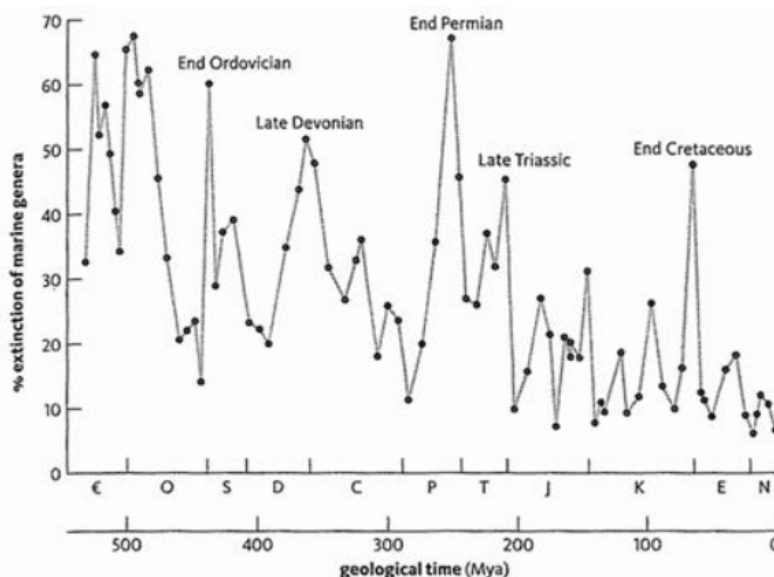


Рис. 1.13. Процент вымерших морских родов на протяжении фанерозоя
(по оси абсцисс – геологическое время в млн. лет)

Падения сверхбольших метеоритов

На планете Земля нет большого количества кратеров, как, например, на Луне. Недра Луны в тектоническом плане – холодные, там нет тектоники, процессов выветривания, практически нет атмосферы и нет жизни. Растения преобразуют лик нашей планеты. Это приводит к тому, что те места, куда падал метеорит или крупный астероид, будут видоизменены природой. Наиболее известное место падения крупных небесных тел – Мексиканский залив, полуостров Юкатан, куда упал астероид диаметром 11 км в конце мезозоя. Следы этого астероида можно увидеть в виде слабой структуры и только из космоса: края кратера уже не такие большие, как были 65 млн лет назад.

На диаграмме (рис. 1.14) по вертикальной оси показано геологическое время, кругами разного диаметра показаны импактные события различного масштаба. Эти события являются одним из критериев периодизации геологической истории. После падения крупных тел остаются так называемые *импактные горизонты* – слои, обогащенные элементами, которые имеют не характерные для нашей планеты концентрации. Падения тел приводят к определенному сокращению биоразнообразию, вымиранию (не всегда катастрофическому). Т.е. после события происходит изменение состава флоры и фауны. Все это ценно для расчленения геологических разрезов и сопоставления их между собой. *Высокоточная корреляция (циклическая)* – один из примеров практического приложения циклического анализа для решения конкретных прикладных практических задач геологии, например, прикладной стратиграфии.

В целом, если рассматривать разные регионы, вынесенные на одну ось времени, можно заметить, что падение тел имеет циклический характер и существует определенная закономерность: до и после падения крупного тела присутствуют

падения более мелких по размеру тел. Любой крупный астероид обладает собственной гравитацией и при движении он притягивает более мелкие тела. Для этих тел крупный объект – центр притяжения / центр масс. Если такой объект упадет, то вместе с ним упадет большое количество обломков других крупных тел. Кроме того, астероиды, кометы соударяются и в результате этого образуются новые обломки и генерируются новые астероиды, которые движутся по своим траекториям. Согласно моделированию, удар от астероида, упавшего 65 млн лет назад на Землю, был настолько сильным, что часть обломков земной коры преодолело гравитацию и улетело в космическое пространство.

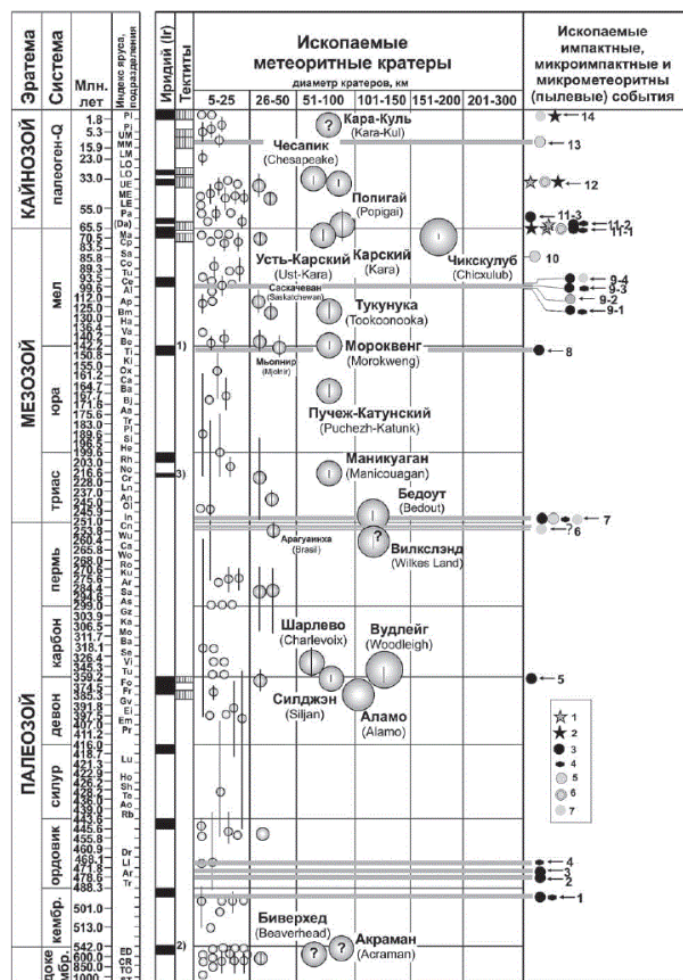


Рис. 1.14. Импакт-стратиграфическая шкала фанерозоя: последовательность импактных и микрометеоритных событий (О.А. Корчагин, 2013, Искапаемые микрометеориты, микротектиты и микрокриститы) 1 – Ni-шпинель, 2 – ударные микроалмазы, 3 – $\alpha(\text{Mt})$ Mms, 4 – $\beta(\text{Fe, Ni, Cr})$ MMs, 5 – микротектиты S-типа, 6 – тектиты S-типа, 7 – CMMs (высокоуглеродистые микросферы (эндофуллерены). Метеоритные кратеры и их возраст приведены по данным [Montanari, Koeberl, 2002; Keller, 2008] с дополнениями О. Корчагина; иридиевые аномалии и находки тектитов - по данным [Keller, 2008]; ископаемые импактные, микроимпактные и

микрометеоритные события – по данным О. Корчагина.

*Размер кругов отражает диаметр кратеров, вертикальная линия на них –
диапазон определения возраста*

Еще один интересный факт: в Антарктиде был обнаружен фрагмент марсианского метеорита, имеющего структуры, напоминающие структуры жизнедеятельности примитивных водорослей. Такой фрагмент мог оказаться на Земле в результате того, что на Марс упал крупный метеорит и небольшой кусок преодолел силу тяжести и затем в виде метеорита упал именно на Землю. Так, по мнению ряда ученых, жизнь может путешествовать с планеты на планету.

Падения всех тел происходит периодически и связано с прохождением Земли вокруг галактического центра. В результате в ходе движения планета на пути может встретить любой объект. При падении крупных тел образуются условия сверх больших давлений и сверхбольших температур. В это время генерируются некоторые полезные ископаемые, например, алмазы. Во многих местах, где находят астроблемы (ударные кратеры) добывают алмазы.

Закономерность падения тел по В.А. Епифанову

Земля испытывает не только эпизодические столкновения с крупными болидами, но и их «серийные нападения»: 0,78; 2,5-3,5; 5; 35-40; 46-50; 65-75; 128-145 ; 170; 210-220 ; 244-251 ; 290- 300; 350-380 ; 450-470 ; 600; 1900-2000; 2400-2500; 3240 млн. лет назад).

Причём, большая часть указанных возрастов астроблем синхронна времени образования обширных магматических провинций после извержений супервулканов (Nature 543, 295-296 , 16 March 2017): 17, 30*, 66*, 120, 200*, 252*, 370*, 725, 820, 920, 1520, 1750, 2050*, 2220, 2420* млн. лет назад (совпадения обозначены звёздочкой).

Результатами таких массированных атак могут являться биотические кризисы (30, 50 [?], 65, 145, 210, 251, 290, 450, 600; 2400 млн. лет назад), резкие похолодания (34, 460, 2500 млн. лет назад), или тектонические события (49, 251, 1980, 3240 млн. лет назад).

Серийные и крупные болидные удары в истории Земли происходили как на границах галактических годов, так и внутри них. Большая часть из них коррелирует с началом новой тектонической эпохи (возможно, инициирует ее), многие - с началом ледниковых периодов, и каждое из указанных последствий приводило к большему или меньшему биотическому кризису. Периоды этих космических атак совпадают с возрастом крупнейших лунных кратеров.

Отметим, что иногда падение метеорита невозможно предсказать. За некоторыми телами можно наблюдать и они представляют угрозу.

Хронология падения сверх больших метеоритов

Хронология падения сверх больших метеоритов:

- 1) докембрийская серия 1 - граница стения-тония (1000 Ma): кратеры Кограм (50 км) и Хигбури (20 км);

- 2) докембрийская серия 2 - граница тония-криогения (850 Ma): более 4 кратеров (нет примеров);
- 3) докембрийская серия 3 - эдиакарий (600 Ma): кратер Биверхед (60 км, 600 Ma) и еще 3 кратера;
- 4) граница докембрий-кембрий (540 Ma), фиксируется иридий: кольцевая структура Ришат (50 км, 500-600 Ma), кратер Авике (10 км, 542 Ma) и др.;
- 5) граница кембрий-ордовик (490 Ma - через 50 млн. лет), фиксируется иридий: кратеры Консепшен Бэй (20 км, 500 Ma) и Пресквилл (24 км, 500 Ma);
- 6) вблизи границы ордовик-силур (440 Ma - через 50 млн. лет), фиксируется иридий: острова Слейт в Канаде (30 км, 450 Ma), скандинавские астроблемы (455 Ma);
- 7) граница силур-девон (415 Ma): крупные астроблемы не найдены, но фиксируется иридий и биотический спад;
- 8) граница девон-карбон (370 Ma - через 80 млн. лет после ордовик-силурских), фиксируются иридий и тектиты: кратеры Вудлей (120 км, 364 Ma), Аламо (367 Ma), Силджэн (368 Ma) и др.;
- 9) в середине карбона в начале гондванского оледенения? (330 Ma): кратер Шарлевуа (50 км, 342 Ma);
- 10) граница карбон-пермь (290 Ma - через 80 млн. лет после девон-карбонских): несколько кратеров 300 Ma, Клируотеры (20-40 км, 290 Ma), несколько кратеров 280 Ma;
- 11) граница пермь-триас (250 Ma - через 120 млн. лет после девон-карбонских): австралийские импакты Бедоут и Вилкслэнд (250 Ma), кратер Арагуаинха (244 Ma);
- 12) граница триас-юра (200 Ma - через 50 млн. лет), фиксируется иридий: кратеры Аорунга (17 км, 200 Ma), Маникуаган (71 км, 214 Ma);
- 13) граница юра-мел (150 Ma - через 50 млн. лет), фиксируется иридий: кратеры Госсес Блаф (144 Ma), Мороквенг (145 Ma), Мьолнир (142 Ma) и др.;
- 14) середина мела (110 Ma - через 40 млн. лет), фиксируется иридий: кратеры Деллен (15 км, 110 Ma), саскачеванские Дип Бэй (12 км, 100 Ma) и Карсуэлл (40 км, 115 Ma), Сьерра Мадера (13 км, 100 Ma), Тукунука (55 км, 128 Ma);
- 15) граница мезозой-кайнозой (70 Ma - через 40 млн. лет), фиксируются иридий и тектиты: кратер Шива (500 км, 66 Ma), Чикслуб (175 км, 65 Ma), Карская астроблема (60 км, 70 Ma), Усть-Карский (25 км, 66? Ma) и др.;
- 16) середина палеогена (35 Ma - через 30 млн. лет), фиксируются иридий и тектиты: кратеры Монтагнайс (50 км, 50 Ma), Каменский (25 км, 49 Ma), Чесапик и Попигай (85 и 100 км, 36 Ma) и др.;

17) конец палеогена (2 Ма - через 30 млн. лет), фиксируются иридий и тектиты: кратерное озеро Кара-Куль (45 км, 5? Ма), метеорит Клондайк (2-5 Ма), подводная структура Эльтанин (2,2-2,5 Ма), кратеры Эльгыгытгын (3,5 км, 20 км) и Босумтви (11 км, 1,3 Ма) - один из источников тектитов.

Таким образом, эти массивованные космические атаки шли в фанерозое с интервалом 40-50 миллионов лет или кратно ему. С учетом трёх недостающих (вероятно, еще не известных) серий – их в фанерозое было 14 (со средним периодом $540 / 13 = 41,5$ млн. лет).

Металлогенические эпохи

Металлогенические эпохи – эпохи накопления тех или иных полезных ископаемых. Это находится в тесной связи с циклами Уилсона. Как видно из диаграммы (рис. 1.15) – это происходит циклично. Кроме того, это связано с циклами тектономагматической активизации – многие полезные ископаемые генерируются во время подъема магматического расплава, в результате извержения, выветривания, разрушения и переработки продуктов извержения, в результате гидротермальной активности, когда по трещинам в земной коре или разломам поднимаются горячие растворы, которые находятся рядом с магматическим очагом.

В частности, установлено наличие 4 глобальных циклов металлогенической эволюции с точками завершения вблизи отметок 2.6, 1.8, 0.9, 0.2 млрд. лет и текущий незавершенный. Все циклы начинаются рудогенезом внутриплитных и дивергентных (пассивных) окраинноконтинентальных обстановок (базитовый и щелочной магматизм, осадконакопление, эпигенез в интраконтинентальные осадочных бассейнах), а завершаются интенсивной металлогенией орогенных поясов. Положение границ циклов на шкале времени указывает периодичность $\sim 0.8 \pm 0.1$ млрд лет.

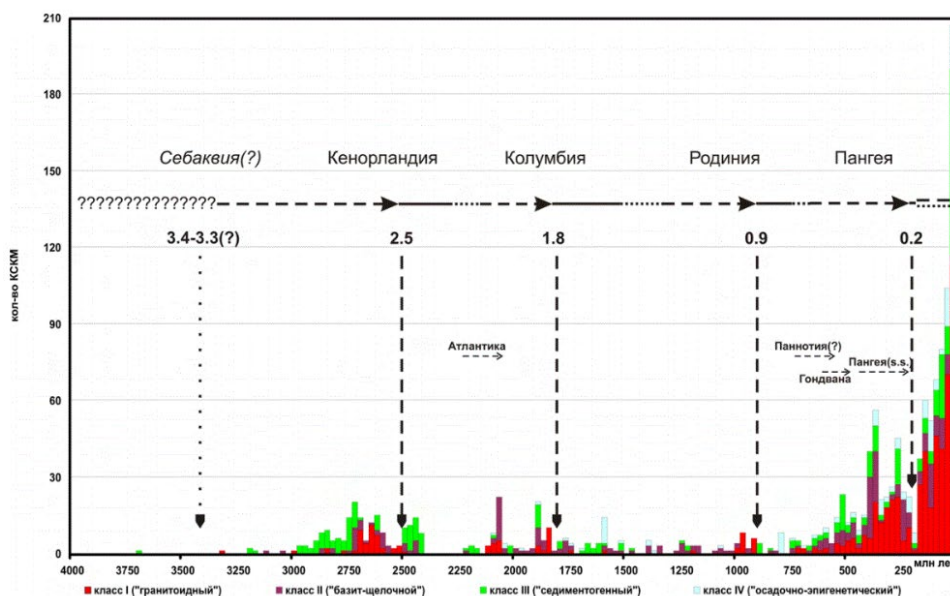


Рис. 1.15. КСКМ четырех выделенных классов и суперконтинентальная цикличность. Сплошная линия – фаза стабильного стояния суперконтинента,

точечный пункт – распад, штриховой пункт – агрегация, вертикальные стрелки – инверсионные металлогенические рубежи, совпадающие с моментами полного перехода от активного роста суперконтинентов к стабильному стоянию
[Ткачев 2009, с. 258; Ткачев 2012, с. 10]

На графике 1.16 также наблюдается цикличность. В разные времена образовывалось то больше, то меньше тех или иных полезных ископаемых, поэтому можно говорить о цикличности разного порядка (от крупных галактических циклов до циклов смены дня и ночи).

По данным Н.А. Гольцина и др. [Гольцин 2008] самыми частыми датировками цирконов, выделенных из шунгитовых пород и вулканитов заонежской свиты, являются: 142, 300, 370, 425, 642, 920, 1100, 1250, 1550, 1750, 1950, 2130, 2650, 2730, 2900 (рис. 9). Интервалы между ними составляют примерно 160, 70, 55, 215, 280, 180, 150, 300, 200, 200, 180, 520, 80, 170 - в среднем, 197 млн. лет. А между самыми значительными пиками (300, 1550, 2730) - примерно 1200 млн. лет.

Заметим, что на этап максимальной сборки какого-либо суперконтинента всегда приходится один из максимумов встречаемости циркона (табл. II): 300 (Пангея), 642 (Паннотия), 1100 (Родиния), 1550 (гипотетический праматерик), 1950 (Колумбия), 2130 (несколько далек от гипотетического праматерика), 2730 (Кенорленд), 2900 (Ур).

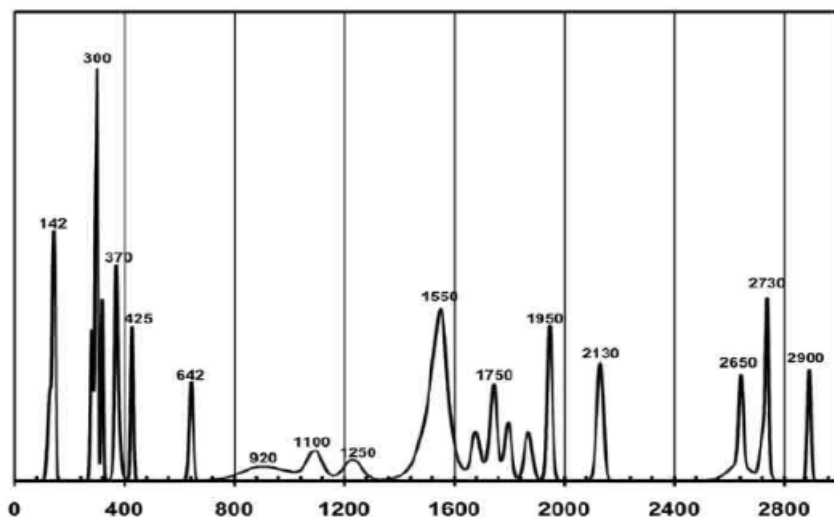


Рис. 1.16. Частота встречаемости значения U-Pb возраста цирконов

Накопление запасов цинка и свинца началось 3,46 млрд. лет назад (в начале белозёрского тектогенеза и перед максимальной сборкой праконтинента Ваальбары) и продолжается до сих пор. Оно не столь тотально на протяжении геологической истории, как накопление запасов золота. При этом, по А.Л. Дергачёву [Дергачев 2010], наблюдаются следующие максимумы накопления Zn и Pb:

Узкий максимум накопления цинка в позднем архее 2750-2700 Ма (в конце кольского тектогенеза перед максимальной сборкой сверхматерика Кенорленд).

В нижнем протерозое (1900-1550 Ма - статерий) было накоплено 29,1% цинка и 40% свинца (во время гудзонского тектогенеза и максимальной сборки суперматерика Колумбии)

- 1) Узкий максимум накопления обоих металлов в среднем протерозое 1450-1400 Ма (в начале лаксфордского тектогенеза перед началом образования безымянного гипотетического мономатерика, который предлагается назвать Эогеей)
- 2) Узкий максимум накопления цинка в период 1300-1250 Ма (в середине готского тектогенеза и перед полной сборкой сверхконтинента Родинии)
- 3) В палеозое (550-300 Ма) сформировались 49,3% запасов Zn и 44,9% запасов Pb (в начале салаирского тектогенеза во время существования праматерика Пангеи)
- 4) Узкий максимум накопления обоих металлов в период 150-100 Ма (мезозой – в конце герцинского тектогенеза).

Между началами этих периодов наблюдаются интервалы 850, 450, 150, 750, 400 млн. лет, что можно интерпретировать как 800, 400, 200, 800, 400 млн. лет. А сами периоды максимального формирования запасов этих металлов продолжались 250-350 млн. лет.

Циклы бокситообразования, образования железа, меди находятся в тесной связи с циклами образования / распада суперматериков, циклами тектоно-магматической активизации и галактическими годами.

Например, видно, что красноцветные формации и крупные месторождения меди в песчаниках и сланцах (рис. 1.17) образовывались с циклом примерно 110 млн. лет, но интенсивность этих процессов в каждом чётном цикле убывала. Поэтому эти циклы целесообразно попарно объединить, получив ритм в 200 млн. лет (галактический год), связанный с тектоническими эпохами. Пики их образований приходятся на начала серийных метеоритных атак:

1. Поздний рифей – венд – ранний кембрий. Пик – в середине венда (~ 610 млн. лет назад – середина кадомского тектогенеза). Примерно соответствует метеоритной серии 600 Ма.
2. Средний кембрий – ордовик – (средний) силур. Пик - примерно в середине ордовика (~ 470 млн. лет назад – середина салаирского тектогенеза). Начало метеоритной серии 470-450 Ма.
3. Средний силур – девон – ранний карбон. Пик - примерно в середине девона (~ 390 млн. лет назад – середина каледонского тектогенеза). Начало метеоритной серии 380-350 Ма.
4. Средний карбон – пермь – триас. Пик – в середине перми (~ 310 млн. лет назад – середина каледонского тектогенеза). Начало метеоритной серии 300-290 Ма.

5. Юра – мел. Пик – в раннем меле (~ 140 млн. лет назад – середина герцинского тектогенеза). Начало метеоритной серии 145-128 Ма.
6. Палеоген – неоген. Пик – в начале неогена (20 млн. лет назад – середина альпийского тектогенеза).

В отличие от золотообразования, медеобразование происходит не в конце, а в середине тектонических эпох.

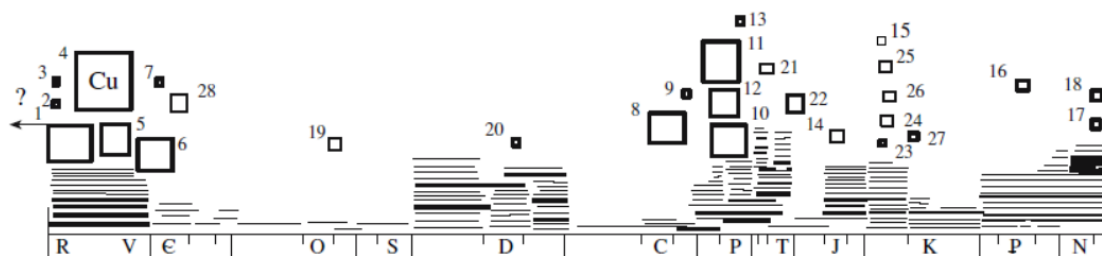


Рис. 1.17. Красноцветные формации и крупные месторождения меди в песчаниках и сланцах. Длина линий соответствует возрастному диапазону красноцветных формаций (жирные линии - наиболее мощные толщи).

Квадраты – месторождения меди (величина примерно соответствует запасам руды)

Рудообразование также подчиняется галактическому ритму Солнечной системы. Золотообразование и уранообразование активизируется перед кульминацией суперматериков с интервалом около 400 млн. лет, причем каждый из этих циклов характеризуется особым составом атмосферы. Примерно также протекает образование колчеданных руд. Ритм медеобразования приблизительно равен галактическому году и состоит из двух этапов.

Сравнение крупных этапов истории Земли с периодами вращения Галактики

Сравним крупные этапы геологической истории:

1. Мезозой – 185 (около 1 галактика);
2. Палеозой с эдиакарием – 385 (почти 2 галактика);
3. Неопротерозой без эдиакария – 365 (тоже около 2 галактиков);
4. Мезопротерозой – 600 (3 галактика);
5. Палеопротерозой – 900 (4–5 галактиков);
6. Неоархей – 300 (2–3 галактика);
7. Мезоархей – 400 (2 галактика);
8. Палеоархей – 400 (2 галактика);
9. Эоархей – 400 (2 галактика);
10. Катархей – 600 (3 галактика).

Такое сопоставление этапов подчеркивает правильное понимание интервалов геологического времени, которое принимается геологами как некоторая константа. Она кратна геологическим годам.

Лекция 2. Цикличность и необратимость

Многие процессы, которые происходили и происходят на Земле, имеют циклическую природу с равной или почти равной периодичностью. Эта периодичность равна приблизительно 200 млн лет, что совпадает с галактическим годом.

Процессы рудообразования, падения крупных небесных тел (астероидов и метеоритов), проявление разных фаз тектонической активизации – циклические события и периодичность их кратна либо сотням миллионам лет, либо десяткам.

Существуют разные иерархические разделы геологической шкалы, которые имеют длительность, равную одному или нескольким галактическим годам. В частности, мезозойская эра по длительности соответствует одному галактическому циклу.

Рассмотрим шкалу геологического времени по Епифанову В.А.: <https://www.garshin.ru/evolution/biology/paleontology/galactic-periods.htm> (таблица 3, параграф 6.1).

Шкала имеет привязку к галактическим циклам. Например, мезозойская эра – это 23-й галактический цикл. В настоящее время длится 24-й галактический цикл. Предполагается, что кайнозой будет длиться около 200 млн лет, а в настоящее время прошло только 65-66 млн лет. В средней части таблицы вынесены основные геологические события:

- астрогеологические события, связанные с падениями крупных астероидов и метеоритов,
- события, связанные с массовыми вымираниями,
- основные тектонические события, связанные с распадом / возникновением суперматериков.

Сравнительный анализ и привязка шкалы времени к галактической циклическости интересны, потому что по ним видно, что основные рубежи галактических циклов совпадают с рубежами эр. В палеозойской эре было два галактических цикла, что дает возможность современным ученым совершенствовать и проверять представления о времени.

Палеозойский интервал имеет два галактических цикла, один из которых уходит в докембрий (венд). Некоторые геологи предлагают включать венд в состав палеозойской эры на основании существования вендо-эдиакарской фауны, которая является уникальной – бесскелетный комплекс, беспозвоночные. Отложения имеют хорошую сохранность и могут использоваться как палеонтологический метод при решении стратиграфических задач ниже границы докембрий – кембрий. На данный момент граница проведена по принципу: выше границы встречаются организмы со скелетом, который сохраняется в ископаемом состоянии. У организмов, живших в эпоху ниже границы, скелета либо не было, либо он не сохранился в ископаемом состоянии. Таким образом, в палеозое и в верхнем докембрии можно выделить еще два галактических цикла. Ниже по шкале можно выделить еще больше галактических

циклов: и в протерозое, и в архее. Началом первого галактического цикла считается момент образования планеты.

Рассмотрим стратиграфию спутника Земли – Луны, а также других планет земной группы. Для этих объектов также существует представление о геологической истории. Если сравнить шкалы времени для разных небесных тел, можно заметить общие границы, которые привязываются к границам галактических циклов. Галактические циклы в данном случае выступают как хорошие корреляционные уровни, потому что все эти тела находятся в Солнечной системе, которая находится в галактике Млечный путь.

Кроме того, обратим внимание на корреляционную схему: «Сравнение хронологических шкал Земли и ближайших космических объектов» (<https://www.garshin.ru/evolution/biology/paleontology/galactic-periods.htm>, таблица 5 параграф 6.3), которая пригодится в курсе «Сравнительная планетология». В будущем будет возможность коррелировать разрезы других планет с геологическими разрезами нашей планеты.

Помимо галактических циклов выделяются и *термоэры* (<https://www.garshin.ru/evolution/biology/paleontology/galactic-periods.htm>, таблица 6, параграф 9).

2.1. Циклостратиграфия. Необратимость

Рассмотрим две основные тенденции (закономерности) геологических процессов в истории Земли:

- 1) необратимость
- 2) цикличность

Интересно, что циклические и необратимые процессы – взаимосвязаны.

Например, существует цикличность массовых вымираний. Рассмотрим динамику разнообразия (рис. 2.1): по горизонтальной оси отмечено геологическое время. В целом, биоразнообразие (число видов, число отрядов, родов, семейств и т.д.) росло. На кривой видны минимумы (спады) – это те уровни биологического вымирания, которые в основном совпадают с границами периодов:

- 1) Вымирание в позднем кембрии (на рубеже кембрия и ордовика) синхронно с одной из фаз тектоно-магматической активизации в каледонском цикле (салаириды).
- 2) Небольшой спад на рубеже ордовика-силура – известное вымирание, связанное с гамма-всплеском.
- 3) Крупный провал на рубеже пермского и триасового периодов.
- 4) Спад на рубеже триасового и юрского периодов – время раскрытия молодых океанов (Северно-ледовитый, Индийский, Атлантический). На месте современных океанических хребтов были рифтовые долины и происходил интенсивный магматизм.
- 5) Вымирание на рубеже мелового и палеогенового периодов (граница мезозой – кайнозой) синхронно с крупными преобразованиями в палеогеографии:

распадом Гондваны, который произошел за мезозойскую эру, началом распада Лавразии, постепенным закрытием океана Тетис вследствие расширения Индийского и Атлантического океанов; падением астероида в Мексиканский залив; магматической деятельностью и многими другими процессами.

- б) Вымирание в настоящее время (потеря биоразнообразия) – это одна из глобальных проблем.

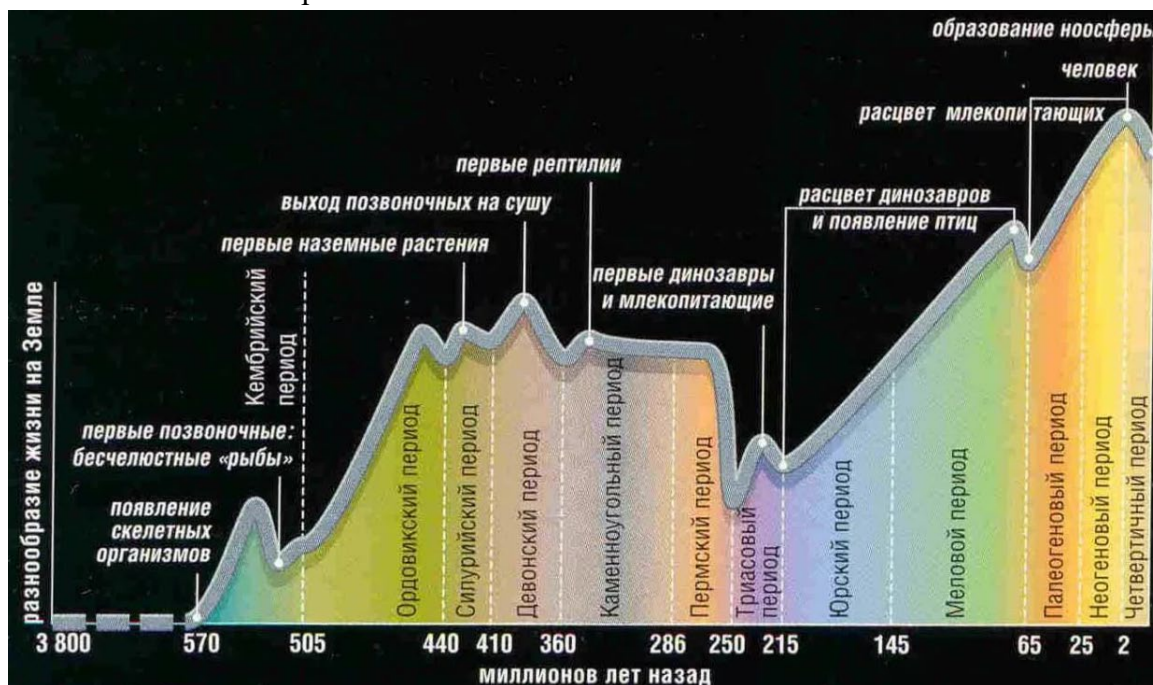


Рис. 2.1. Цикличность массовых вымираний

На рисунке 2.2 показана известная картина, где выстроены в ряд особи от более примитивных гоменид до кроманьонцев. Не все из них являются предками и потомками друг другу: в действительности было несколько параллельных эволюционных ветвей.

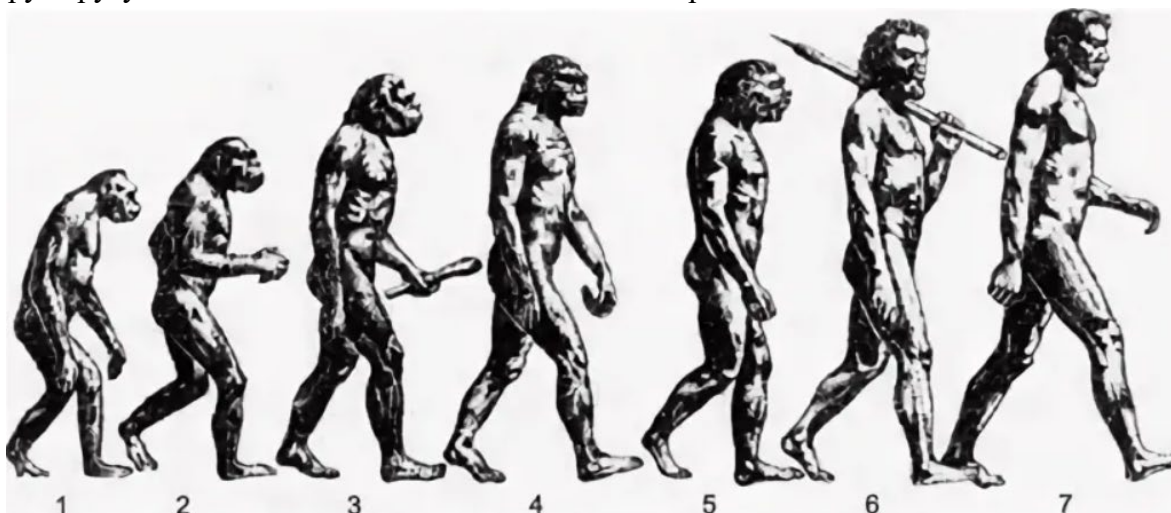


Рис. 2.2. Эволюция человека

Ранее считалось, что кроманьонец и неандерталец – это разные подвиды. Позже стало принято считать, что это различные виды. После ледникового периода неандертальцы жили в условиях низких температур, там, где были ледники. После отступления ледников пришли кроманьонцы. У двух разных биологических видов не могло быть потомков.

Необратимость эволюционного процесса заключается в том, что любой биологический вид единожды возникнув, живет отведенное ему время и вымирает. Обычно, это длится около 1 млн лет.

Еще одним примером необратимости является необратимость циклично-происходящих орогенических складкообразовательных движений. В определенные времена, которые называются фазами складчатости, происходит сокращение площади океанических бассейнов. В этот момент образуются деформированные слои (рис. 2.3), которые могут быть деформированы, например, в форме складок. Не существует ни одного случая в природе, когда слои распрямились и стали неповрежденными.

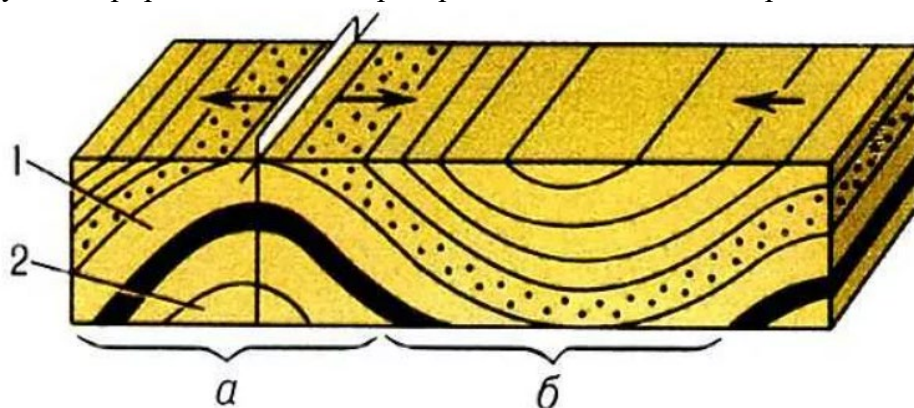


Рис. 2.3. Складка

Многократные циклические изменения климата

Изучая астрономо-климатическую цикличность и циклы Миланковича, ученые выяснили, что ранее Земля вращалась быстрее. Существуют несколько необратимых тенденций:

- необратимое замедление скорости вращения Земли;
- необратимое удаление Луны от Земли, которая «пытается» выйти из поля притяжения нашей планеты.

Цикличность осадконакопления связана с изменениями климата и процессами выветривания. В разных ландшафтно-климатических обстановках накапливаются разные осадки. Если будут меняться климатические и палеогеографические условия, тогда в конечном итоге будут накапливаться разные осадки. Если условия будут циклически повторяться, тогда в геологическом разрезе будут чередоваться слои, которые отвечают более засушливому, теплему климату и более влажному, прохладному климату.

Рассмотрим схему круговорота осадков (рис. 2.4): горные породы из магматического очага поступают на поверхность в виде расплава, изливаются в виде лавы и разрушаются под воздействием перепада температур, дождя, ветра, деятельности животных, растений. Далее в виде обломочных пород они достигают бассейна осадконакопления, накапливаются и затем могут быть затянуты в глубоководный желоб, в зону субдукции, где контактируют тектонические плиты. Рано или поздно их отдельные компоненты снова попадут в магматический очаг.



Рис. 2.4. Схема круговорота осадков

Рассмотрим схему на рисунке 2.5: от внешнего ядра отрываются капли мантийного вещества (плюмы). Они двигаются вверх и за несколько миллионов лет достигают земной поверхности.

Излияние траппов в Восточной Сибири на рубеже палеозоя-мезозоя – это отрыв большого плюма. По оценкам ученых, сотни тысяч лет из магматического очага поступал расплав, что в конечном итоге привело к глобальному потеплению климата, опустыниванию, превращению большей части материка Пангея-2 в засушливую полупустыню и массовому вымиранию. На схеме видно, что процессы происходят циклично.

На климатической кривой (рис.2.6А) видно, что в настоящее время мы живем в условиях относительно прохладного типа климата. Дальше климат будет становиться теплее в любом случае – это понятно по карте (рис. 2.6Б) показана площадь оледенения, которое было 18 000 лет назад. Середина климатической кривой – рубеж пермского и триасового периодов – максимально высокие значения средних планетарных температур, что говорит о том, что это реакция на плюмовое событие. В целом, этапы изменения климата можно разделить на термоэры и гляциоэры.

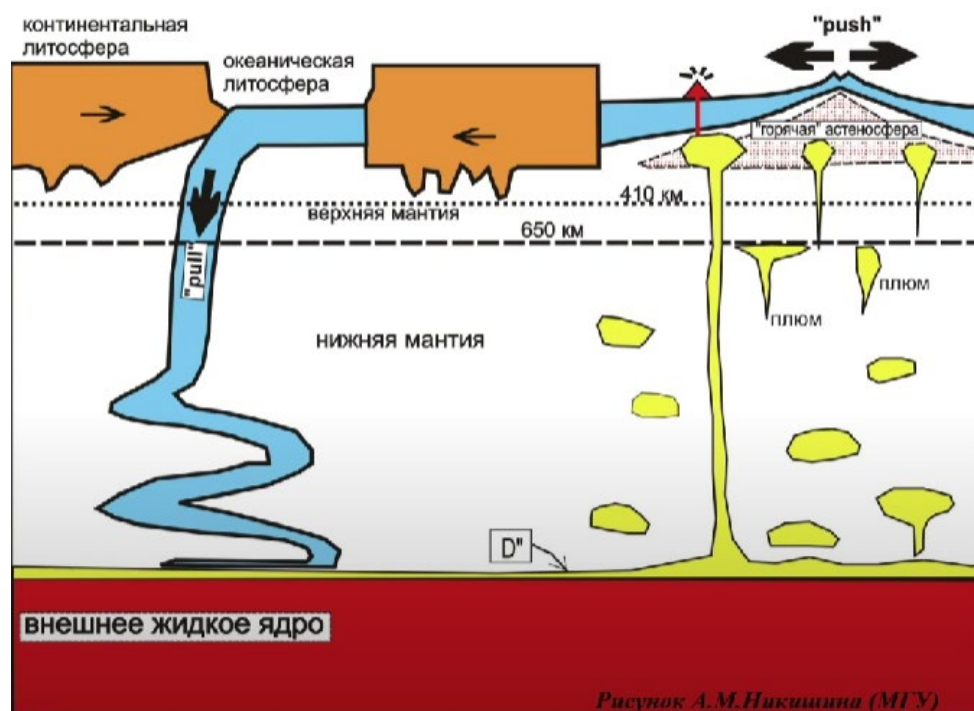


Рис. 2.5. Внемасштабная модель геодинамики

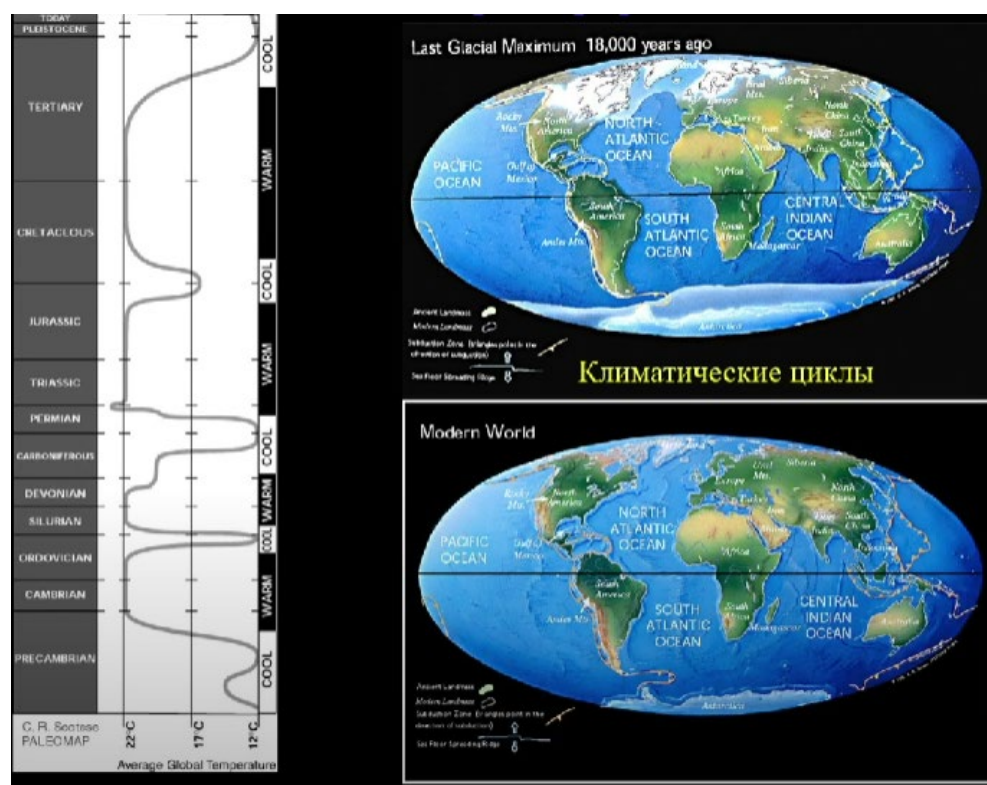


Рис. 2.6. А – климатическая кривая; Б – палеогеографическая реконструкция 18 000 лет назад; В – планета Земля в настоящее время

Цикличность изменения уровня Мирового океана

Рассмотрим кривую изменения уровня Мирового океана (рис. 2.7): по вертикали – шкала времени. В начале мелового периода уровень Мирового океана был на 200 м выше современного – это примерно уровень смотровой площадки Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Ближе к концу мелового периода, уровень был выше современного на 400 м, что практически соответствует высоте главного здания МГУ. В ордовикском периоде уровень Мирового океана был выше на 600 метров, чем современный уровень.

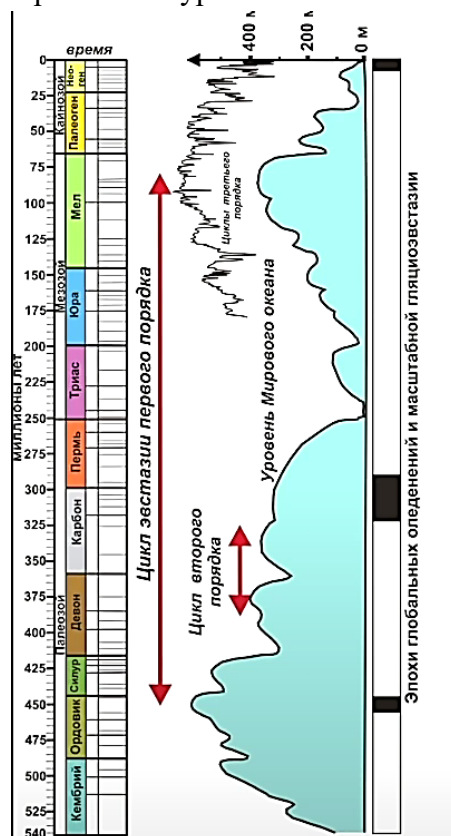


Рис. 2.7. Эвстатические циклы в фанерозое

Уровень Мирового океана менялся, меняется и будет меняться с момента образования гидросферы на нашей планете. Это происходит, например, в результате тектоноэвстазии (рис. 2.8). Основная причина тектоноэвстазии – изменение объема океанических ванн. На верхнем рисунке показано изначальное положение, вода находится в берегах. За счет поднятия срединно-океанического хребта происходит изменение емкости океанической ванны. Происходит трансгрессия и вода следует на сушу.

Другая причина изменения уровня Мирового океана – изменение климата – гляцио-эвстазия – таяние льдов приводит к добавлению новой воды в общий круговорот. При следующем изменении климата (похолодании) вода вновь замораживается и временно не участвует в круговороте.



Рис. 2.8. Тектоноэвстазия

Цикличность образования и распада суперматериков

Сравним три диаграммы, показывающие расположение материков, со шкалой времени и эвстатической кривой (рис. 2.9):

- 1) в конце палеозойской эры
- 2) в конце мелового периода;
- 3) в силурийском периоде.

Один цикл занимает около 375 млн лет (от времени образования одного суперматерика до времени образования другого, или от времени максимального рассеяния до времени другого максимального рассеяния).

Геократическая эпоха – время, когда уровень Мирового океана низкий и много суши.

Талассократическая эпоха – время, когда море господствует над сушей. Для современной Земли площадь гидросферы больше, чем площадь суши.

Рассмотрим всю историю с момента начала образования Земли: суперматериков было много (рис. 2.10), на рисунках 2.10Б и 2.10В показано, как Земля может выглядеть через 150 и 250 млн лет. Через 150 млн лет, как считают ученые, Средиземного моря не будет, Африка полностью столкнется с Евразией и два континента станут единым континентом, рядом с которым будет существовать Индо-Атлантический океан. Через 250 миллионов лет все материки снова соберутся вместе.

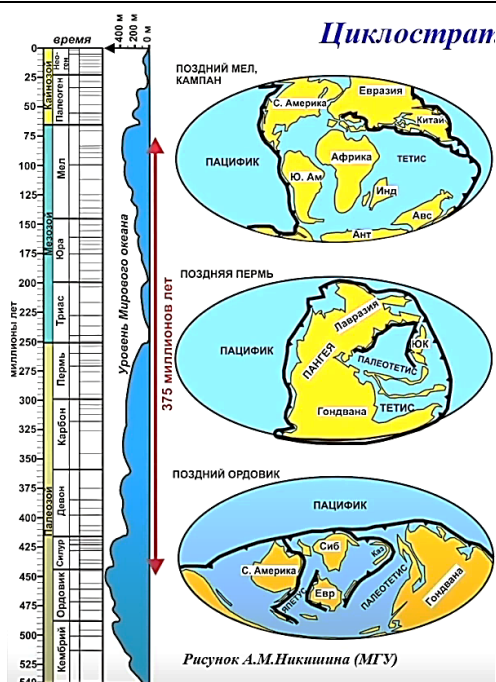


Рис. 2.9. Цикличность в возникновении и распаде суперконтинентов в истории Земли

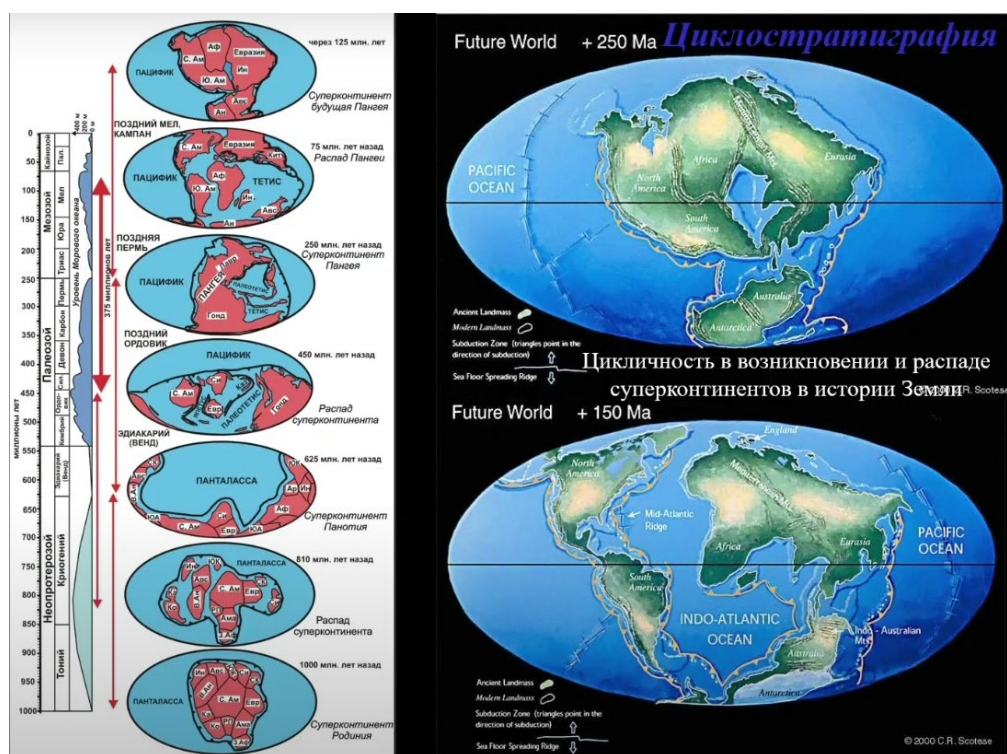


Рис. 2.10. А – Схема расположения суперматериков на протяжении всей истории; Б – палеогеографическая реконструкция Земли через 150 и 250 млн лет

Исследования показывают, что существует такой процесс, как необратимое изменение мощности земной коры. На схеме гипотетической модели эволюции мощности океанической коры (от архея до современного этапа) (рис. 2.11) видно, что мощность океанической коры уменьшается. Это, вероятно, связано с глубинными процессами, которые происходят в Земле с циркуляцией вещества и конвекцией.

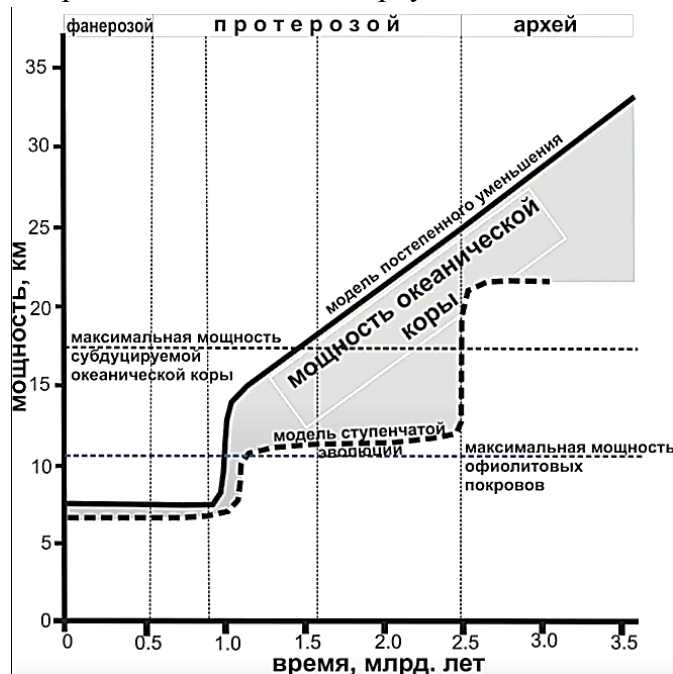


Рис. 2.11. Гипотетическая модель эволюции мощности океанической коры в геологической истории Земли

На модели современной Земли и на модели архейской Земли (рис. 2.12) видна разница в тех процессах, которые были в протогее (архей, ранний протерозой) и неогее (фанерозой).

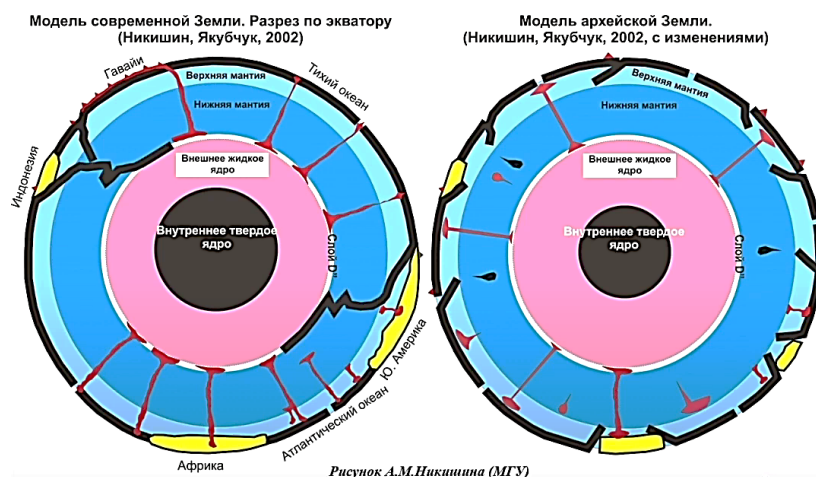


Рис. 2.12. Модель современной Земли (разрез по экватору) (Никишин, Якубчук, 2002), модель архейской Земли (Никишин, Якубчук, 2002, с изменениями)

В модели архейской Земли – тектоника литосферных плит: все процессы захватывают верхнюю мантию. В модели современной Земли видно, что процессы субдукции и вся тектоника плит затрагивает не только верхнюю мантию, но и нижнюю. Это пример необратимых процессов и разного характера течения процессов в целом.

Ниже показана схема геологической истории нашей планеты (рис. 2.13), в которой представлены разные примеры циклических и необратимых процессов:

- время образования Земли, как планеты;
- время ударной бомбардировки;
- образование Мирового океана и др.

В начале после образования нашей планеты гидросфера пока еще не существовала. Вся вода находилась в атмосфере в виде водяного пара, потому что поверхность Земли была настолько горячей, что вода не могла сконденсироваться. Когда поверхность Земли немного остыла (до температуры менее 100 градусов), шел горячий дождь, образовался Мировой океан. После этого стала возможна жизнь.

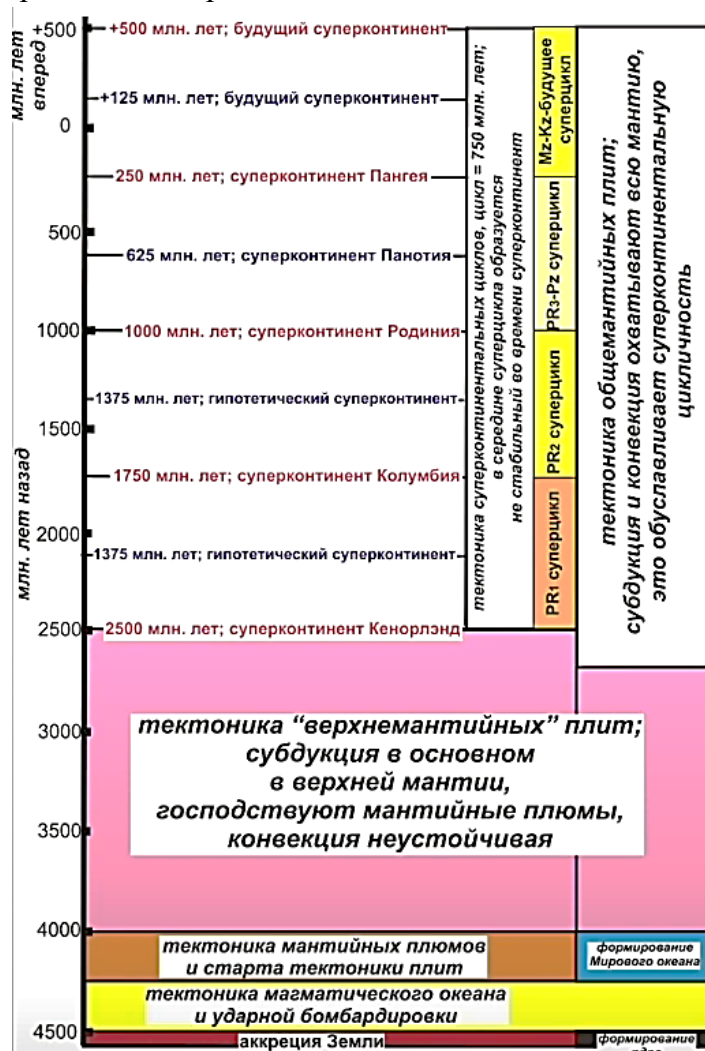


Рис. 2.13. Модель геологической истории Земли

Инверсии магнитного поля Земли

Магнито-стратиграфическая шкала – шкала, содержащая эпохи прямой и обратной полярности. Прямая полярность – северный магнитный полюс в северном полушарии.

В целом, магнитные полюса не стационарные и постоянно находятся в движении. Северный магнитный полюс расположен примерно рядом с осью вращения Земли, но не совпадает с ней.

Модель инверсии геомагнитного поля Земли показывает изменение поля с прямого на обратное, при котором южный и Северный магнитные полюса меняются местами. Желто-красные линии соответствуют исходящим линиям магнитного поля, сине-голубые – входящим. Изображение на рисунке 2.14 – компьютерная модель магнитного поля Земли перед инверсией. Смена полюсов не происходит через равные промежутки времени. Инверсии магнитного поля связаны с циклами эксцентриситета Земли, это реакция на гравитационное воздействие других небесных тел, которая приводит к изменению динамики процессов внутри планеты.

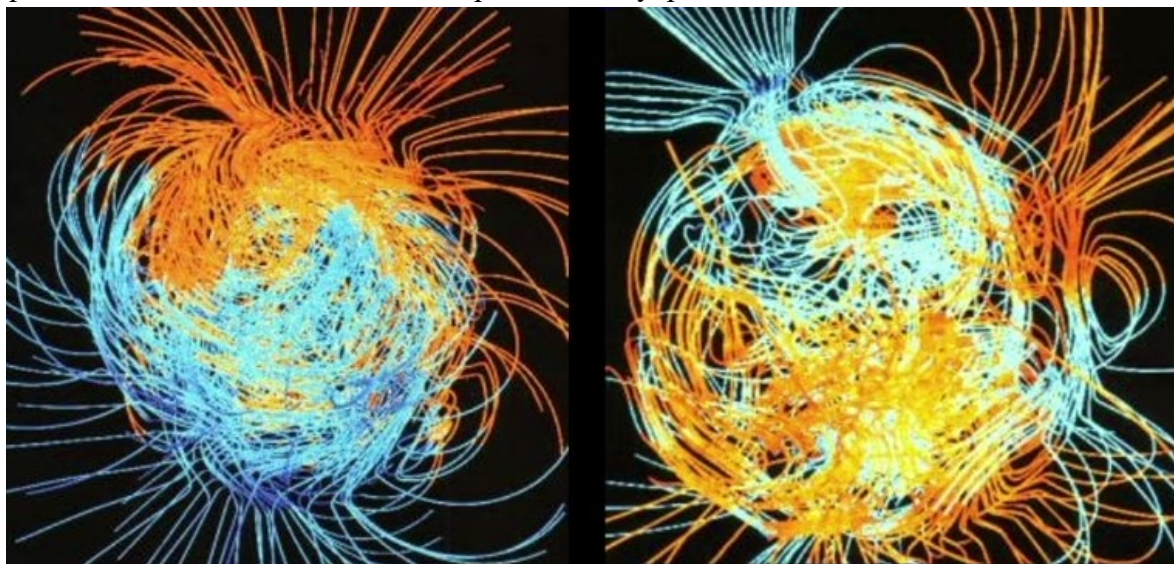


Рис. 2.14. Модель инверсии геомагнитного поля; переменное магнитное поле в процессе инверсии

Цикличность магматизма и рудообразования

В истории Земли многократно были эпохи, когда во многих местах усиливалась магматическая деятельность. С этим связано образование тех или иных групп полезных ископаемых. Многие извержения были катастрофичны. Например, извержения вулканов Кракатау и Анак-Кракатау. В 1883 г в Индонезии произошел взрыв вулкана, повлекший за собой 40-ка метровые волны цунами, обошедшие 4 раза вокруг Земли, что привело к гибели более 36000 человек.

Цикличность падения на Землю космических тел естественного происхождения

Одно из известных событий падения космических тел на Землю – это Тунгусское событие, произошедшее 30 июня 1908 года. Такие события также происходят циклично.

2.2. Гипотезы изменения климата Земли

Климат Земли тесно связан со всеми процессами, которые происходят как в космическом пространстве, так и внутри Земли.

Гипотезы изменения климата Земли можно объединить в две группы: *астрономо-физическую* и *геолого-географическую*. Все они обладают общепланетарным воздействием (Синицын, 1967).

Астрономо-физические гипотезы

К астрономо-физическим гипотезам относятся:

1. Парадигма М. Миланковича (изменение орбитальных параметров Земли)

Прецессионный цикл – ось вращения Земли испытывает флуктуации и вариации раз в 20 тысяч лет.

Цикл наклона эклиптики – фактор наклона оси вращения Земли к плоскости орбиты без учета фактора прецессии (около 40 тысяч лет).

Циклы эксцентриситета – изменение формы орбиты Земли.

Все эти три фактора работают одновременно. Когда все три фактора складываются, может наступить либо ледниковый период, либо межледниковье.

В основе парадигмы лежит принцип постоянства солнечной радиации и переменности положения поверхности Земли по отношению к потоку солнечных лучей.

2. Гипотеза Э. Эпика и др.

Циклы Солнечной активности: переход водорода в гелий в её недрах должен создавать зоны неустойчивости и перемешивания, что приводит к временному ослаблению солнечного излучения.

Гипотеза связана с процессами, происходящими на Солнце. Представим, что случилось изменение орбитальной конфигурации и изменение количества теплоты от Солнца. В некоторой ситуации, когда Солнце будет давать меньше тепла и Земля будет находиться далеко, наступит оледенение. Если Земля будет ближе к Солнцу и Солнце будет светить ярче, тогда на планете будет теплее.

3. Гипотеза Ф. Нолькен.

Солнечная система периодически встречает на своём пути туманности, за счет чего планета получает меньше тепла.

Существуют и другие гипотезы, но вышеперечисленные гипотезы наиболее популярные.

Геолого-географические гипотезы

К геолого-географическим гипотезам относятся:

1. Гипотеза о роли состава атмосферы.

Состав атмосферы определяет ее физические свойства.

Парниковый эффект. Парниковых газов в составе атмосферы не очень много. Среди них есть метан, углекислый газ и др.

2. Гипотеза о роли вулканизма

Значительное понижение солнечной радиации (на 10-20%) – следствие катастрофических извержений вулканов. Пример: Кракатау в 1883 г. (выброшено 18 м³ рыхлых вулканических продуктов) и Катмай в 1912 (выброшено 21 км³ рыхлых вулканических продуктов). Холодные годы; 1884-1885 гг. (после извержения 1883 г.) и 1913 г. (после извержения 1912 г.).

3. Гипотеза о роли рельефа Земли.

Отношение площади континентов и океанов отражается на общем типе климата и циркуляции атмосферы.

Если воды на нашей планете будут существенно больше, чем суши, климат будет более мягкий, перепады температур будут минимальными – сглаженная климатическая цикличность. Если на планете будет больше суши, тогда перепады температур могут достигать 20 – 30 градусов.

4. Гипотеза о роли Мирового океана.

Площадь, объем гидросферы, соленость вод и другие физические свойства. Разный состав воды определяет разные физические свойства.

2.3. Причины изменения уровня Мирового океана

Причины эвстазии:

1. Гляциоэвстазия.

При потеплении льды тают, добавляя в круговорот воды новые запасы, изъятые ранее. Уровень Мирового океана повышается. Происходят трансгрессии и регрессии.

2. Космоэвстазия

Незначительные запасы воды в виде льда поступают извне (кометы). В периоды интенсивной бомбардировки объем космической воды заметно увеличивается.

3. Вулканоэвстазия

Выброс водяного пара из недр Земли в результате магматической деятельности. В эпохи орогенеза, складчатости и массового проявления магматической деятельности объем воды, поступающей из недр заметно увеличивается.

4. Тектоноэвстазия.

Изменение объема площади бассейнов гидросферы вследствие тектонических движений.

2.4. Циклостратиграфия

Почти повсеместно в отложениях фанерозоя и докембрия встречены циклично построенные толщи пород, состоящие из набора элементарных пластовых циклитов – закономерно повторяющихся слов (рис. 2.15).

А. А. Трофимук Ю.Н Карагодин (1977) определяют элементарный *циклит* как простейшую слоевую систему, элементы (слои) которой, следуя друг за другом или чередуясь, связаны между собой (сонахождением или сопроисхождением), образуют единое целое, т. е. неделимое на более дробные целые части («циклиты»).

Другие определения циклита: цикл, ритм, ритмит.

Обратим внимание, что некоторые пластовые циклиты могут быть разными. Пластовые циклиты небольшой мощности чередуются с более мощными циклитами. Если рассматривать обнажение в целом, то можно выделить цикличность разных порядков.

Цикличность первого порядка (рис. 2.16) – чередование двух горных пород. Первый порядок – самый высокий. Иерархия цикличности: от очень крупной до менее мощной, элементарной.



Рис. 2.15. Долина реки Колорадо, сформировавшая Великий (Гранд) Каньон, США. Начало каньона



Рис. 2.16. Цикличность первого порядка: переслаивание яшм и известняков смагинской ассоциации мелового возраста на полуострове Камчатский мыс (Восточная Камчатка)

Если внимательно рассматривать обнажение, то можно увидеть, что изменяется мощность не всех элементов ритма, а отдельных (рис. 2.17, 2.18).



Рис. 2.17. Цикличность второго порядка: чередование мощных и маломощных пакетов переслаивания



Рис. 2.18. Цикличность второго порядка: чередование мощных и маломощных пакетов переслаивания

Анализ пластовой цикличности проводится с помощью ритмограмм. Ритмо(цикло)грамма разреза как метод анализа четко показывает цикличность 2-х

порядков (рис. 2.19). По вертикальной оси – мощность слоев, по горизонтальной оси – порядковый номер. На диаграмме видно, что чередуются интервалы разреза с малой мощностью пластовых циклитов с интервалами разреза, где их мощность больше.

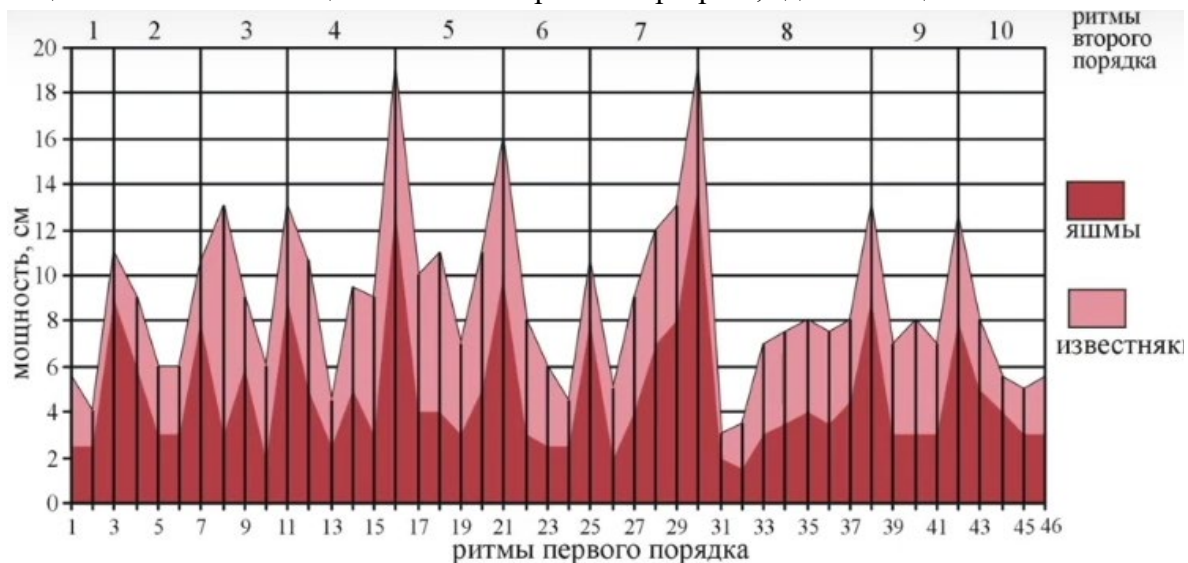


Рис. 2.19. Ритмо(цикло)грамма разреза

Лекция 3. Астрономо-климатическая цикличность

3.1. Теория космической цикличности

Представления о неравномерном распределении солнечной радиации по поверхности Земли в связи с изменениями элементов земной орбиты впервые были предложены английским астрономом Джеймсом Кроллом (1821-1890) в 1875 г.

Кролл высказал предположение о связи периодических изменений положения и объема полярных ледовых шапок, обусловленных колебаниями климата, с вариациями эксцентриситета земной орбиты и наклоном эклиптики планеты. Рассмотрим фотографии 1941 (рис. 3.1) и 2004 года (рис. 3.2). В 1941 году на изучаемой территории располагался ледник, а в 2004 году на его месте существует озеро. Объем полярных шапок изменяется (рис. 3.3): если Земля начинает получать меньше света, энергии и тепла, существует вероятность наступления ледникового периода.



Рис. 3.1. Горный участок в 1941 году

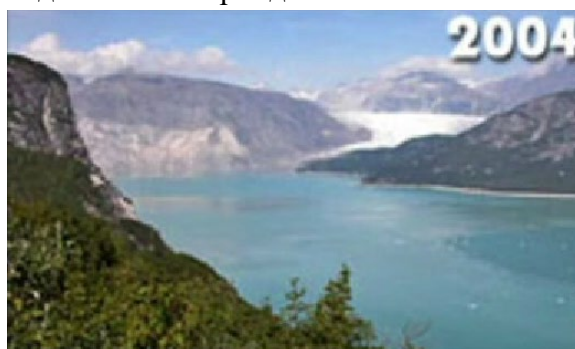


Рис. 3.2. Горный участок в 2004 году

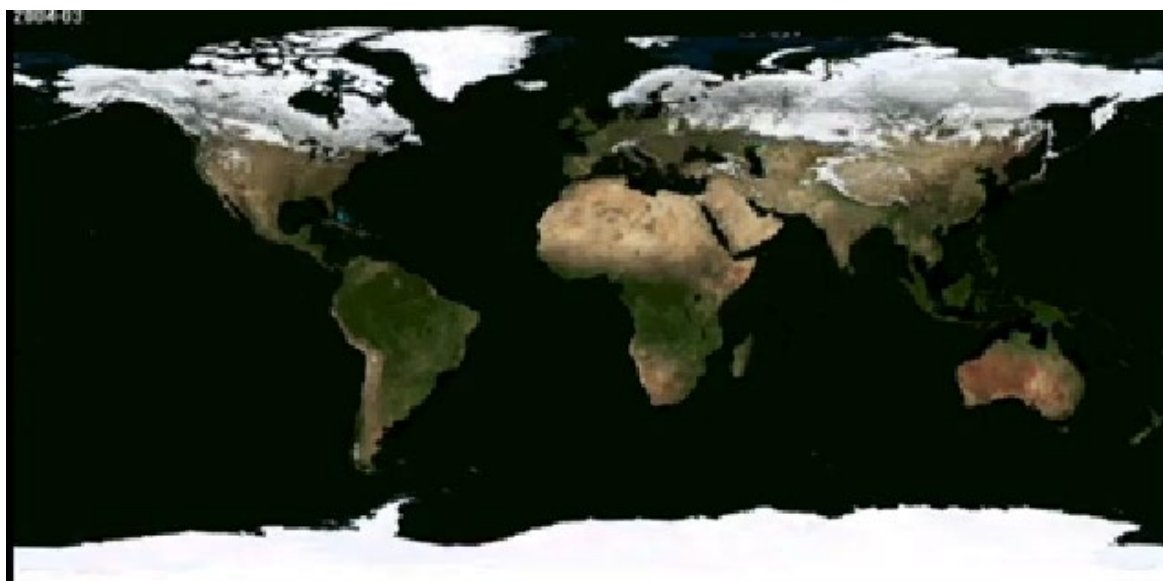


Рис. 3.3. Полярные шапки 2004 года

Широкую известность этой гипотезе придали труды М. Миланковича (Milutin Milankovic, 1879-1958).

М. Миланкович – сербский климатолог, родился в г. Даль (Dahl, ныне Хорватия), получил образование в Вене и работал инженером-строителем. В 1904 году он поступил в Белградский университет. Во время Первой мировой войны он служил в генеральном штабе сербской армии и был захвачен в плен австро-венгерскими войсками. Отбывая заключение в Будапеште, имел возможность продолжать свои исследования. Долгие годы Миланкович посвятил изучению связи между изменением орбитальных параметров Земли и влиянием этого на климатическую седиментационную систему. Т. о. Миланкович пытался восстановить историю климата Земли.

Циклы прецессии

В частности, М. Миланкович выделил циклы прецессии. Известно, что скорость вращения Земли постепенно замедляется.

Рассмотрим пример: имеем обычный волчок. При высокой скорости вращения ось вращения становится перпендикулярной поверхности, на которой это вращение происходит. Без учета фактора прецессии ось вращения Земли может изменять свое положение, угол относительно плоскости орбиты. Цикл прецессии (рис. 3.4А) – 20 тыс. лет, цикл наклона эклиптики (рис. 3.4Б) – 40 тыс. лет, цикл эксцентриситета (рис. 3.5) – 100 тыс. лет.

Все эти три фактора приводят к тому, что в какой-то момент времени планета начинает получать меньше солнечного тепла и климат начинает становиться более холодным – наступает ледниковый период. Если все эти факторы складываются в положительную сторону, тогда происходит потепление климата и планета выходит из ледникового периода. Если факторы работают друг против друга, тогда ничего не происходит и климат сохраняется.

Теория космической цикличности, вызывающей климатические флуктуации, была впервые обоснована в работе Миланковича (1939).

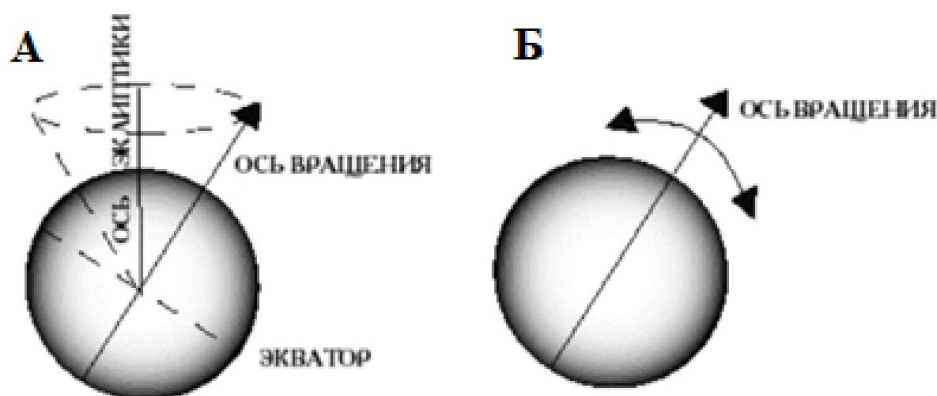


Рис. 3.4. А – прецессия оси вращения Земли, Б – наклонение оси вращения Земли относительно плоскости орбиты

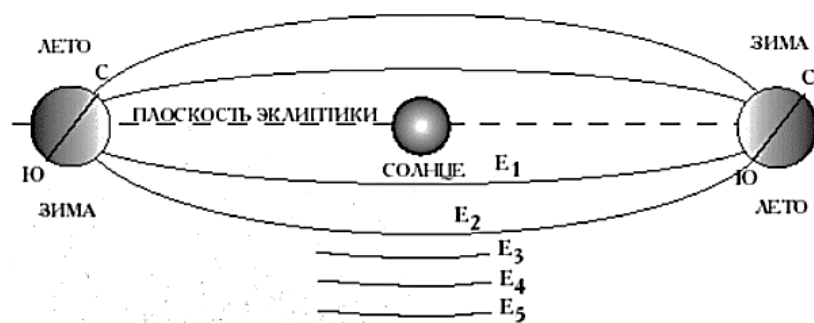


Рис. 3.5. Эксцентриситет: изменение формы земной орбиты

Через 10 – 13 тысяч лет ситуация изменится: в январе северное полушарие будет повернуто к Солнцу, и январь станет в северном полушарии серединой лета. В результате прецессионных циклов образуются слоистые последовательности циклитов. Мощность элементарных пластовых циклитов прецессии в разрезе обычно составляет 25-30 см.

На рисунке 3.6 показано, как в результате цикла прецессии изменяется положение полушарий: в одном случае больше света получает южное полушарие, а в другом случае – северное полушарие.

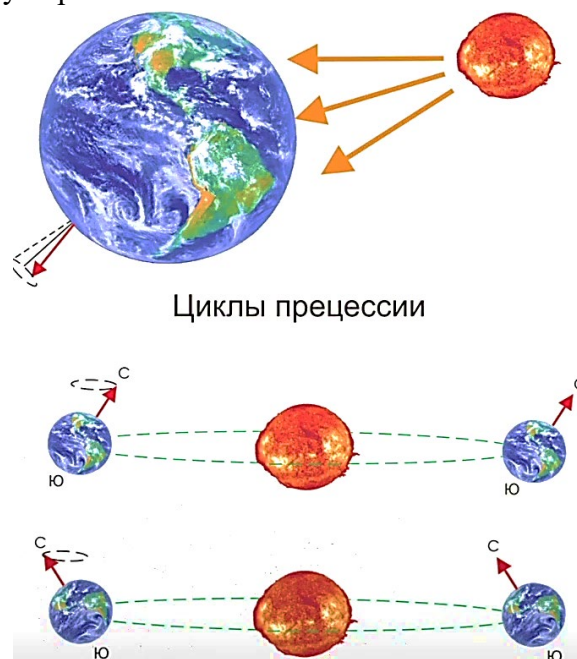


Рис. 3.6. Циклы прецессии

Пример двухэлементной параллельной цикличности напластования показан на рисунке 3.7: чередующиеся бело-серые слои – известняки. Одному такому циклиту – 20 000 лет. Посчитав количество циклитов на возраст каждого отдельного циклита можно получить геологическое время. Заметим, что некоторые циклиты имеют увеличенную мощность относительно остальных – это цикл наклонения эклиптики.



Рис. 3.7. Южный склон г. Сельбухра, вблизи базы МГУ

Циклы нутации

Циклы нутации – углы наклонения эклиптики или О-циклы. Считается, что с циклами нутации связано изменение расположения ледяных шапок на Марсе (рис. 3.8). Известно, что у Марса есть спутники, но не они не такие большие, как спутник Земли. Преимуществом Земли является наличие одного крупного спутника, который стабилизирует ось вращения Земли. У марса другая ситуация. Ученые считают, что у Марса положение оси вращения изменялось. Это приводило к тому, что полюс и экваториальные области менялись местами. Поэтому жизнь, которая могла быть на Марсе, не закрепилась.

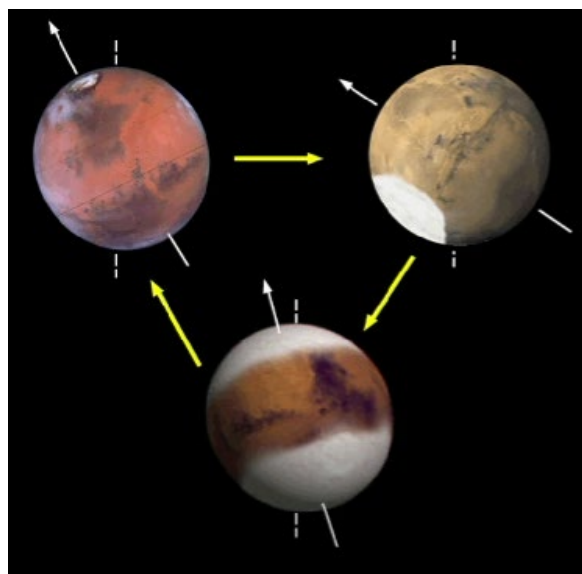


Рис. 3.8. Смена местоположения и объема ледников на Марсе из-за циклов эклиптики

В дополнение к медленной прецессии Земли незначительно колеблется и угол наклона земной оси (эти колебания и называются "нутацией"). Сейчас ось наклонена на 23° к плоскости земной орбиты. Каждые 39-41 тыс. лет под влиянием не только Луны, но Солнца и Юпитера (далекой, но массивной планеты), угол наклона

уменьшается до 22° и затем вновь возрастает до 23° . Мощность таких циклитов составляет 40 – 50 см.

Прецессия (P) – медленное движение земной оси вращения, которая для поддержания постоянного наклона по отношению к плоскости эклиптики (орбиты Земли) меняет свое направление в космосе, описывая при этом коническую поверхность. Вершина конуса совпадает с центром Земли.

За период 26 тыс. лет земная ось совершает один полный оборот (скорость этого движения составляет 1° за 72 года). В то же время угол наклона земной оси к плоскости эклиптики остается равным углу $\epsilon \sim 23^\circ 27'$ (рис. 3.9).

Нутация (N) – небольшие дополнительные колебания земной оси, накладывающиеся на прецессию из-за гравитационного воздействия на экваториальную часть земного шара Солнца и Луны.

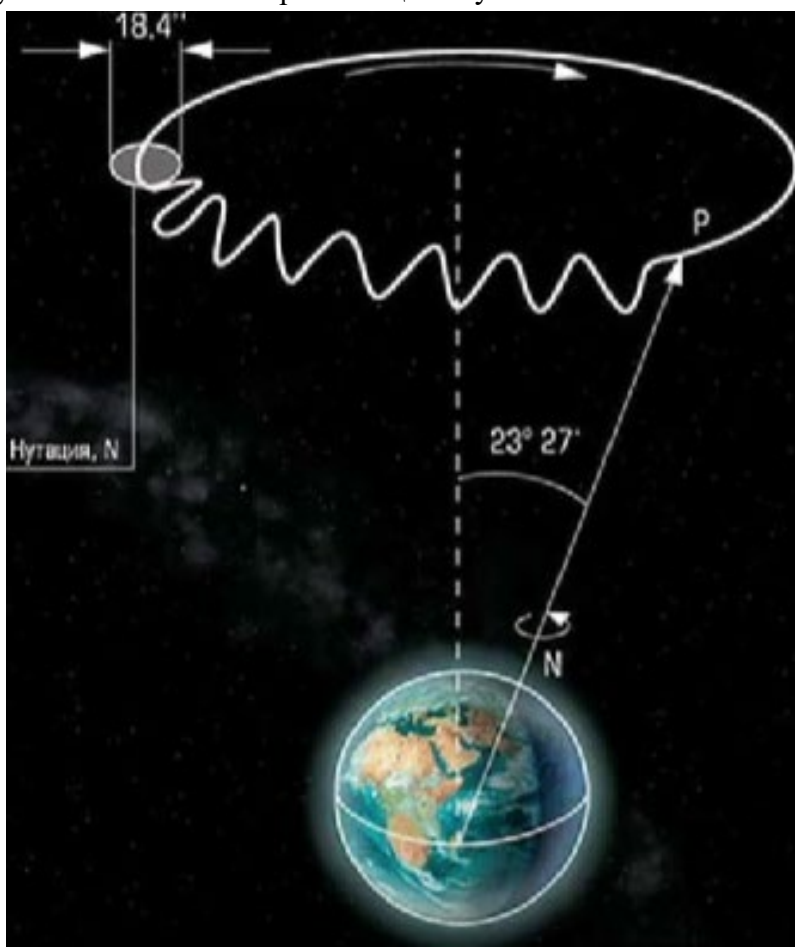


Рис. 3.9. Схема движения оси вращения Земли в пространстве для внеземного наблюдателя

Циклы эксцентриситета

Из-за притяжения других планет с течением времени меняется и форма земной орбиты (рис. 3.10). От эллипса, вытянутого в одном направлении, она превращается в круг, затем - в эллипс, вытянутый в направлении, перпендикулярном исходному, затем

- снова в круг и т. д. Этот цикл длится примерно 93 -106 тысяч лет, а также существуют циклы более крупного порядка 400 410 тыс. лет; 1 млн. 290 тыс. лет и т. д. Мощность циклитов - 1 м и более. До настоящего времени не существует общепринятых оценок продолжительности циклов Миланковича.

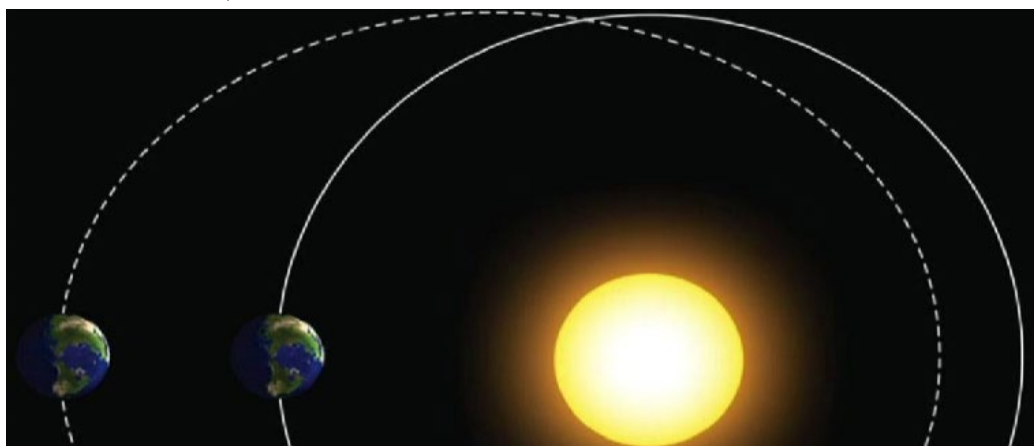


Рис. 3.10. Циклы изменения формы орбиты

Эксцентриситет – параметр, являющийся характеристикой вытянутости эллипса.

Эксцентриситет орбиты (e) – величина, показывающая, насколько сильно ее форма отличается от идеальной окружности. Он равен отношению расстояния от центра эллипса до его фокуса (c) к длине большой полуоси (a) (рис. 3.11):

$$e = \frac{c}{a}$$

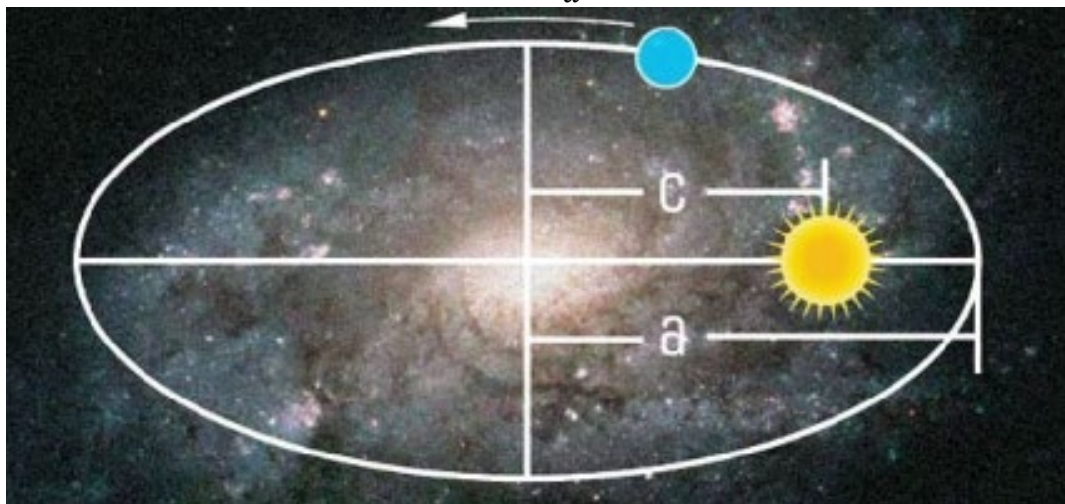


Рис. 3.11. Эксцентриситет орбиты

На рисунке 3.12 показан пример циклов эксцентриситета: прослой мела, которые разделяются тонкими прослойками глины. Мощность этих ритмов может достигать 1 м.

М. Миланкович пришел к выводу, что каждый из этих трех факторов влияет на количество солнечного света, полученного разными областями Земли. Например, прецессия земной оси влияет на характер зим и лет в северном полушарии (где расположена основная часть суши, и, следовательно – основная часть ледников (рис. 3.13)).



*Рис. 3.12. Полосчатость
мела гуронской части
разреза у с. Нижняя
Банновка (Саратовская
обл.) маркирует границы
циклитов
эксцентриситета*



Рис. 3.13. Ледники

Если количество солнечного света, которое получает северное полушарие, уменьшается, то снег с каждым годом будет все дольше оставаться на поверхности. Снег хорошо отражает свет, увеличившаяся снежная поверхность будет отражать больше солнечного света, и это приведет к дальнейшему охлаждению Земли. Значит, следующей зимой выпадет еще больше снега, еще больше увеличится площадь снежного покрова будет отражаться еще больше солнечного света и т. д. Земля вступит в ледниковый период. На рисунке 3.14 показано расположение фронта оледенения 18 000 лет назад: всё северное полушарие покрыто льдом. При такой ситуации нет теплого океанического течения, подобного Гольфстриму.

Оледенения были и в докембрийское время, и в палеозое, и позже (рис. 3.15). Следы оледенения – окаменевшие морены – называют *тиллитами*.

Длительные ледниковые периоды возникают, когда три орбитальных фактора действуют в одном направлении, их эффекты складываются и подталкивают климат Земли к похолоданию. Это явление не раз повторялось в истории планеты.

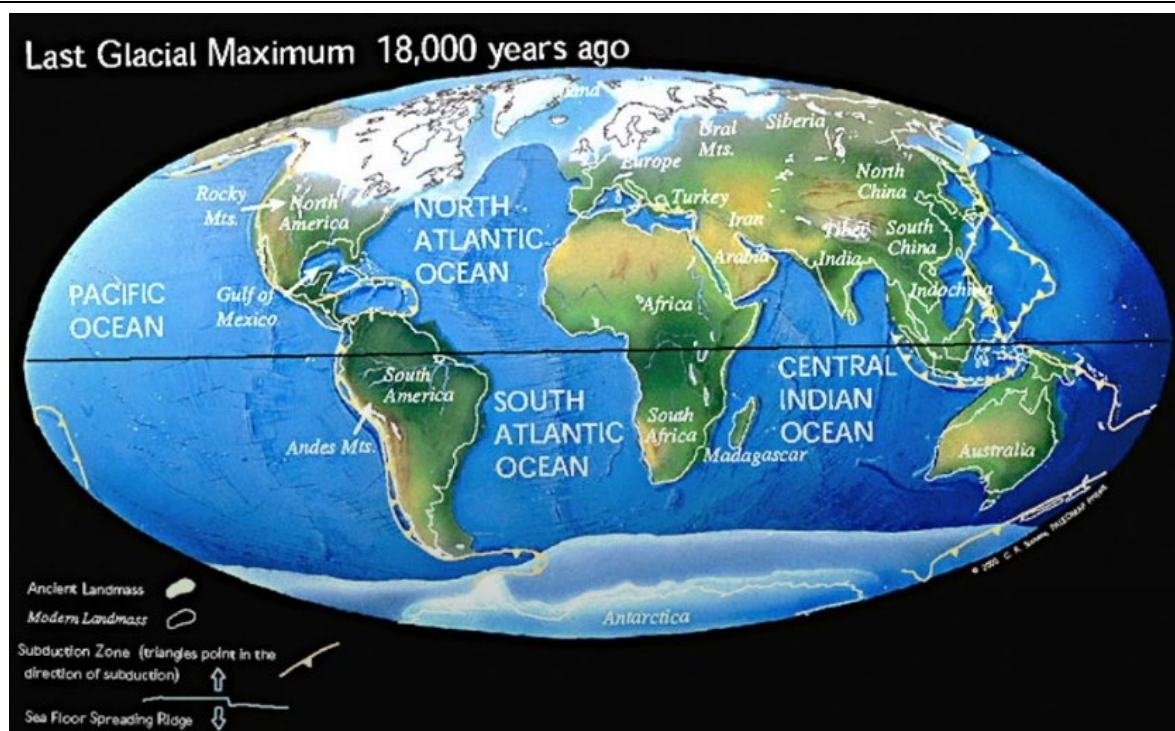


Рис. 3.14. Палеогеографическая реконструкция 18 000 лет назад

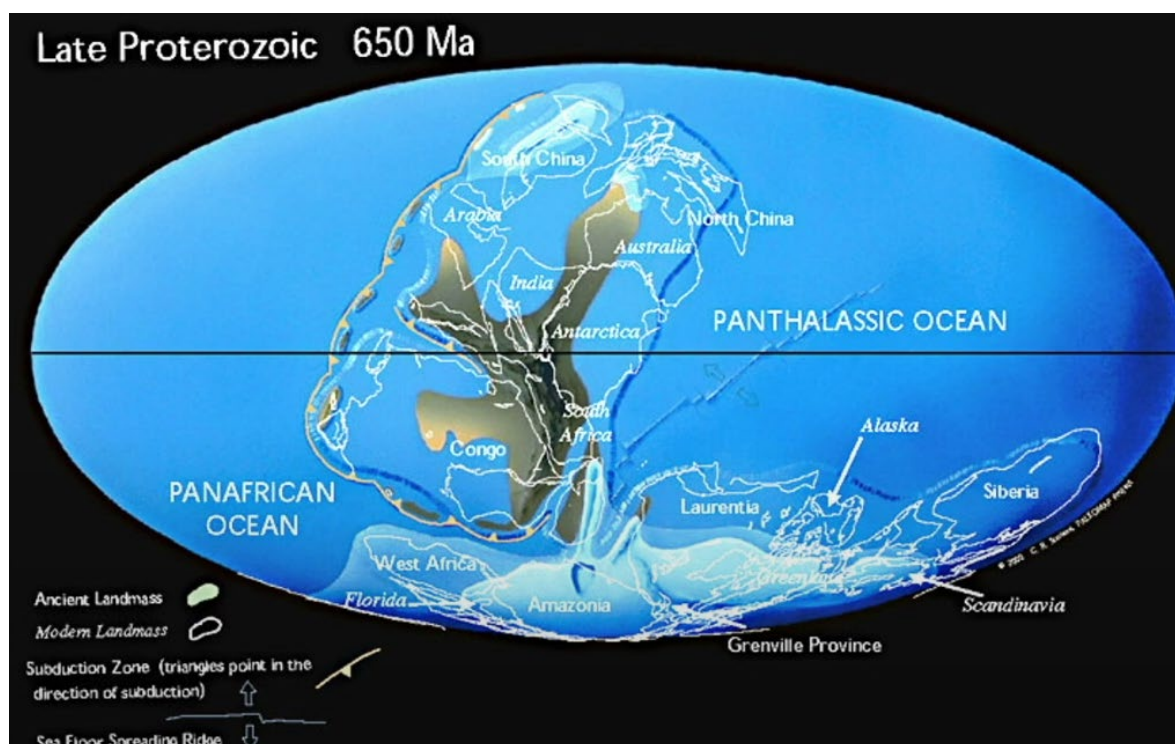


Рис. 3.15. Палеогеографическая реконструкция 650 млн лет назад

На рисунке 3.16 показана палеогеографическая реконструкция Земли 356 млн лет назад, когда господствовало Гондванское оледенение. В определенный момент растения и деревья стали потреблять углекислый газ и превращать его в кислород. Позже углерод забирался в древесину и консервировался в виде каменного угля. Постепенно парникового углекислого газа становилось меньше, что привело к тому, что на суперматерике Гондвана стало распространяться оледенение.

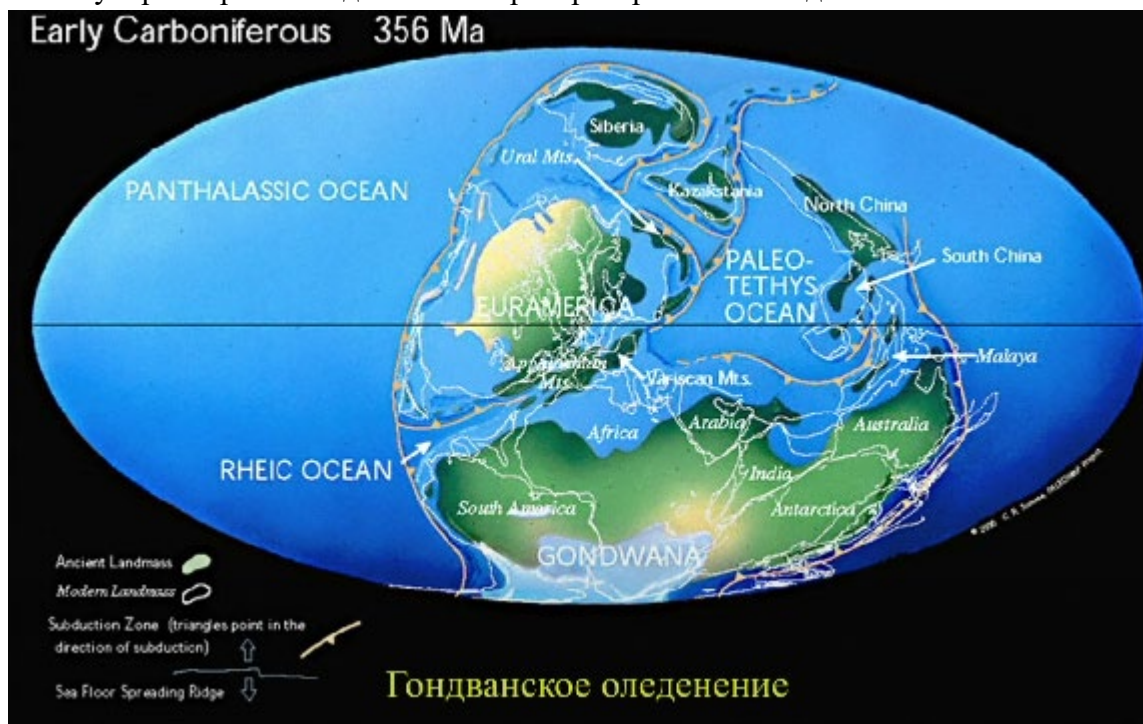


Рис. 3.16. Палеогеографическая реконструкция 356 млн лет назад. Гондванское оледенение

Флуктуации инсоляции, определяющей тепловое состояние земной поверхности, изменяют:

- 1) интенсивность испарения и конденсации атмосферной влаги;
- 2) силу и направление ветров и морских течений;
- 3) продолжительность зимы и лета;
- 4) положение зоны апвеллингов

Холодные воды, которые двигаются вдоль океанического бассейна (рис. 3.17), рядом с берегом поднимаются вверх по мере их нагрева и несут в себе различное количество минеральных и органических веществ из приполярных областей. Теплые потоки воды, наоборот, проникают за полярный круг и делают незамерзающими города (например, город-порт Мурманск) (рис. 3.18).

Таким образом, можно говорить о вариациях теплого и холодного, а также сухого и влажного климата.

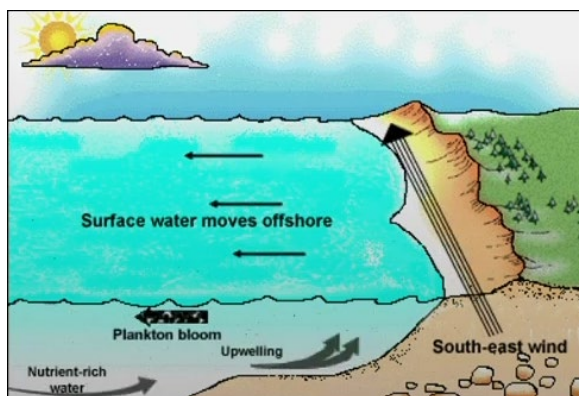


Рис. 3.17. Движение вод в океаническом бассейне

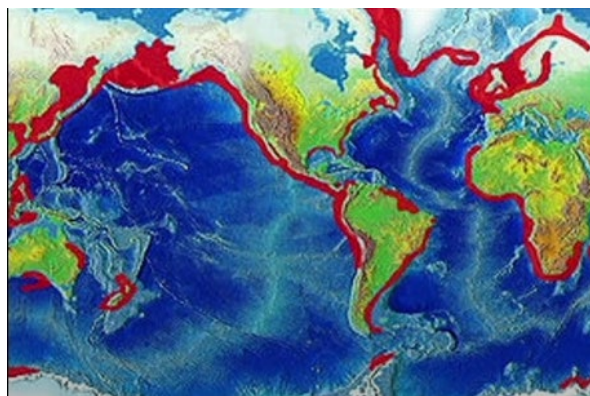


Рис. 3.18. Теплые потоки воды

Скорость вращения Земли и траектория орбиты не были постоянными в геологической летописи. А. Бергером в 1989 году были математически высчитаны величины продолжительности астрономических циклов с учётом уменьшения продолжительности дитя, постоянно возрастающего расстояния между Землёй и Луной, изменений инерции движения космических тел за последние 400 млн. лет.

Таблица 3.1. Эволюция продолжительности циклов прецессии и наклона эклиптики в фанерозое (Бергер, 1989). Прим.: Ма – миллионов лет назад

	Ма	Циклы прецессии (лет)		Циклы эклиптики (лет)	
Современность	0	19000	23000	41600	54000
Поздний мел	72	18641	22474	39328	51100
Ранняя пермь	270	17545	20868	34227	42250
Поздний карбон	298	17272	20468	32954	40403
Средний девон	380	16562	19428	29649	34309
Ранний силур	440	16014	18625	27097	29884

3.2. Циклы Солнечной активности

Циклы Солнечной активности: «мерцающая лампочка».

Солнечная активность – совокупность явлений, наблюдаемых на Солнце и связанных с образованием солнечных пятен, факелов, флоккулов, волокон, протуберанцев, возникновением солнечных вспышек, возмущений в солнечной короне, увеличением ультрафиолетового, рентгеновского и корпускулярного излучения и др.

Солнечная радиация – электромагнитное и корпускулярное излучение. Электромагнитная составляющая солнечной радиации распространяется со скоростью света и проникает в земную атмосферу. Диапазон электромагнитного излучения Солнца очень широк – от радиоволн до рентгеновских лучей.

Корпускулярная часть солнечной радиации, состоит преимущественно из протонов, движущихся от Солнца со скоростями 300-1500 км/с (Солнечный ветер).

Циклы Солнечной активности: переход водорода в гелий в звезде создает зоны неустойчивости и перемешивания (конвекции), что приводит к временному ослаблению солнечного излучения.

Строение Солнца

Рассмотри разрез Солнца (рис. 3.19). Его параметры:

- Средний диаметр Солнца $1,392 \times 10^9$ м (109 диаметров Земли).
- Площадь поверхности Солнца $6,088 \times 10^{18}$ м (11 900 площадей Земли).
- Объем составляет $1,4122 \times 10^{27}$ м (1 303 600 объёмов Земли).
- Масса - $1,9891 \times 10^{30}$ кг (332 946 масс Земли).
- Средняя плотность – 1409 кг/м.
- Температура поверхности 5778 К (5504,85 °С).

Справка: Солнечная радиация – электромагнитное и корпускулярное излучение. Электромагнитная составляющая солнечной радиации распространяется со скоростью света и проникает в земную атмосферу. Диапазон электромагнитного излучения Солнца очень широк – от радиоволн до рентгеновских лучей. Корпускулярная часть солнечной радиации, состоит преимущественно из протонов, движущихся от Солнца со скоростями 300-1500 км/с (Солнечный ветер). Полное количество солнечной радиации земной атмосферы, составляет в среднем $1\,366 \text{ Вт/м}^2$.

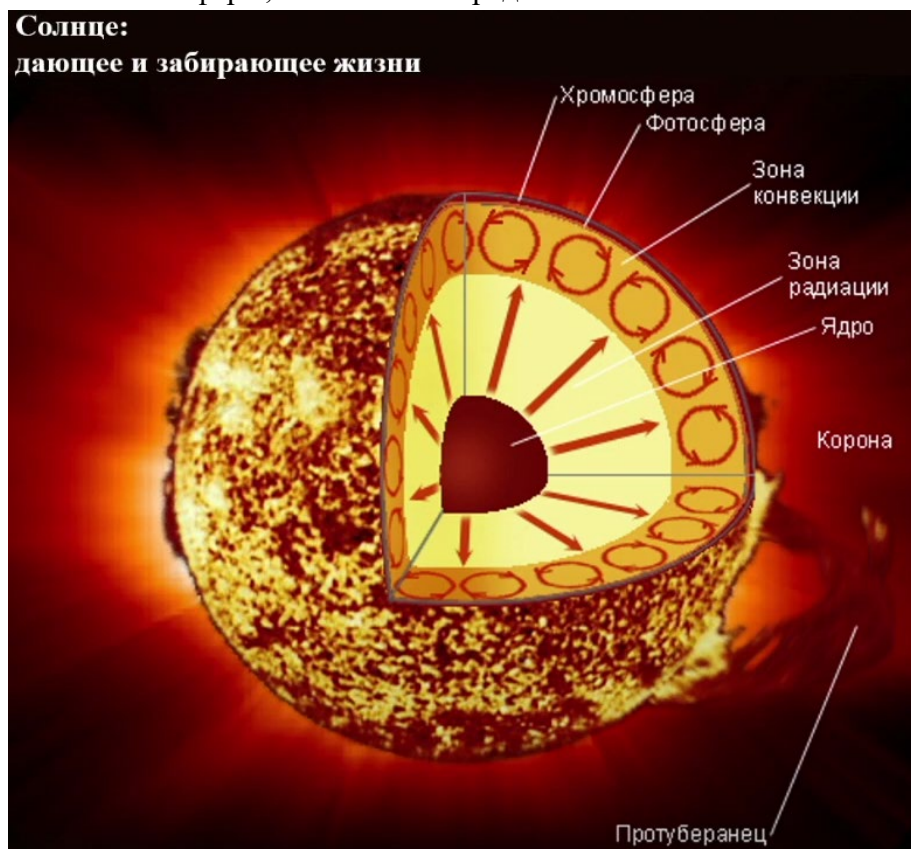


Рис. 3.19. Строение Солнца

Солнечно-земные связи

Солнечно-земные связи – новое междисциплинарное направление в науке, например – гелиогеофизика и гелиобиология. Рассмотрим рисунок 3.20. Ученые выяснили, что один цикл составляет около 11 лет: можно выделить пики солнечной активности (рис. 3.21) – максимумы и минимумы.

Идеи влияния Солнца на Землю оформлены в трудах Александра Леонидовича Чижевского: «Физические факторы исторического процесса», «Земное эхо солнечных бурь». В 1915 году он обратил внимание на связь образования пятен на Солнце с активизацией боевых действий.

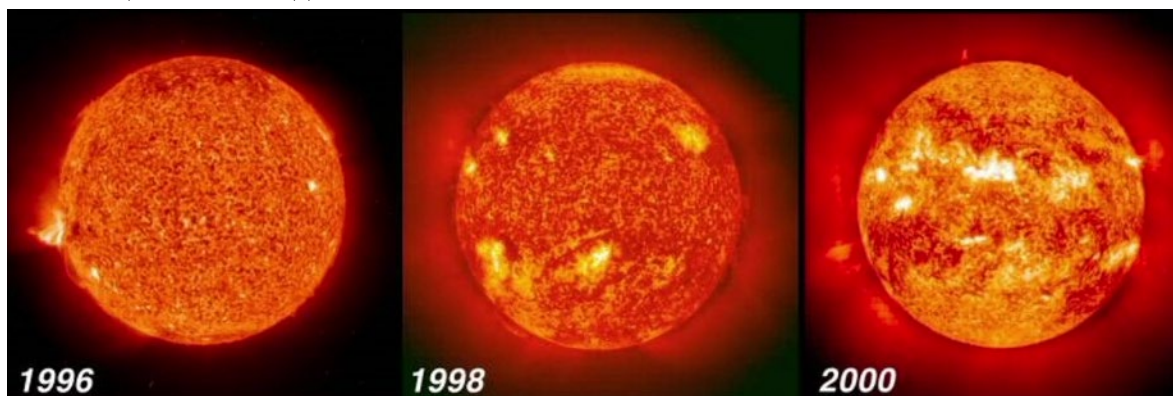


Рис. 3.20. Солнечная активность в период 1996-2000 годы.

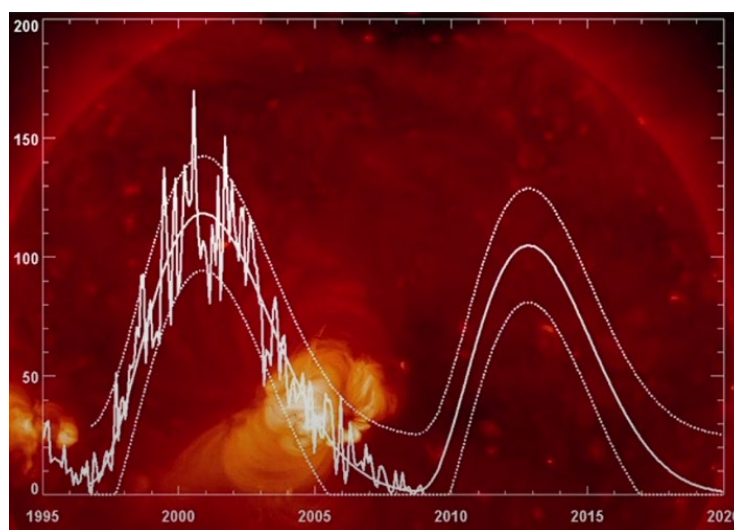


Рис. 3.21. График солнечной активности в период 1995-2020 годы

Историческая справка

Между революцией в России (1917 г.) и началом Второй Мировой войны прошло 22 года, т.е. два 11-ти летних цикла солнечной активности

Александр Леонидович Чижевский (26.01.1897 20.12.1964) – русский ученый, писатель. Чижевский рассмотрел начиная с IV века до н.э. случаи эпидемий и сопровождавших их, как правило, других стихийных бедствий (землетрясения, засухи, наводнения и т.д.), что позволило выявить корреляцию между периодическими изменениями количества излучаемой Солнцем энергии и геофизическими параметрами

(напряженность земного магнитного поля, колебания зарядов атмосферного электричества, колебания средней температуры и др.), а также явлениями в органическом мире (урожаи, болезни, средний вес младенцев и т.д.).

Александр Леонидович Чижевский построил графики (рис. 3.22) от современности до средних веков. Солнечная активность оказывает влияние на людские массы и на политиков, руководящих ими. Эпохи неурожая, голод, нищета приводят к социальным потрясениям, подготавливая почву для революций и войн. Т.е. эти циклы определяют процессы в обществе. Некоторые лидеры родились в «интересные года»:

- Наполеон Бонапарт (15.08.1769-05.05.1821);
- В.И. Ленин (22.04.1870-21.01.1924);
- Адольф Гитлер (20.04.1889-30.04.1945).

В качестве точки отсчёта знаков Зодиака используется точка весеннего равноденствия, когда Солнце в своём видимом годовом движении переходит из южного полушария небесной сферы в северное.

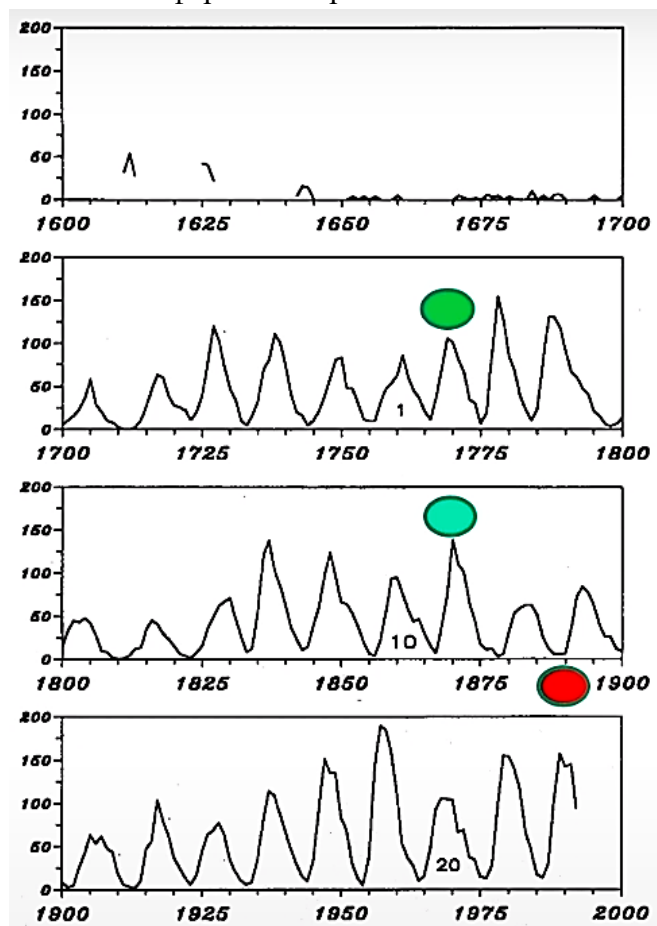


Рис. 3.22. Графики солнечной активности

Периодичность солнечной активности оценивается равной 70 лет (Buch, Bucha, 1998) или 200 лет (Kegian Zhou Rp, Butler, 1998), что находит отражение в

климатических флуктуациях, запечатленных в годовых кольцах современных и ископаемых деревьев.

Помимо одиннадцатилетнего цикла активности есть и другие циклы, а также циклы более крупного порядка, которые характеризуются в целом то усилением, то ослаблением активности (таблица 3.2) (рис. 3.23).

Таблица 3.2. Периоды Солнечной активности

Название периода	Начало	Завершение
Минимум Оорта	1040	1080
Средневековый Максимум	1100	1250
Минимум Вольфа	1280	1350
Минимум Сперера	1450	1550
Минимум Маундера	1645	1715
Минимум Дальтона	1790	1820
Современный Максимум	1950	2004
Современный Минимум	2004	Сейчас

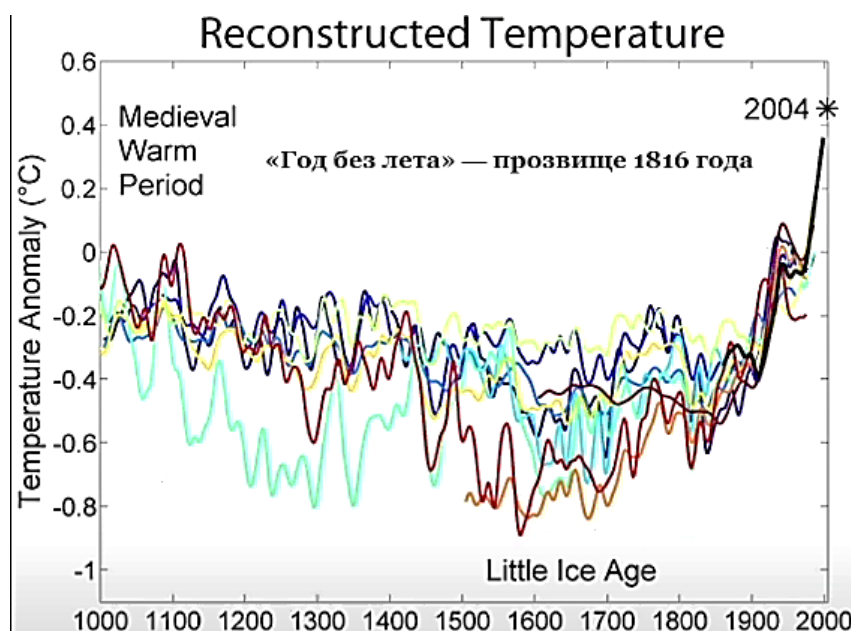


Рис. 3.23. Температурные кривые

Гамма-всплеск

В настоящее время на высоте 12 тысяч метров радиационный фон может достигать 200 микрорентген в час. Зарегистрированы случаи лучевого бесплодия у стюардесс.

Гамма-всплеск – масштабное космическое событие электромагнитной природы с выбросом энергии взрывного характера длительностью от миллисекунд до часа. За первоначальным всплеском следует «послесвечение», излучающее на более длинных волнах (рентген, ультрафиолет, оптическое, инфракрасное и радио). Причина:

трансформация сверхновой в черную дыру или слияние двух нейтронных звезд. За несколько секунд высвобождается объем энергии, эквивалентный 10 млрд лет «работы» Солнца.

Массовое вымирание организмов в конце ордовикского периода (443 млн. лет назад) может быть объяснено мощным гамма-всплеском, произошедшим в относительной близости от Солнечной системы. Вымерло 2/3 биологических видов и 85% живых существ, 60% морских организмов. Такой взрыв порождает два смертельных пучка гамма-лучей, направленных в противоположные стороны. Они движутся со скоростью света. Мощный поток гамма-излучения достиг атмосферы Земли и за 10 секунд наполовину разрушил озоновый слой, на восстановление которого потребовалось не менее 5 лет. Животные и растения сгорели, как долго загорающий на солнце человек. Возможные на тот момент примитивные жители суши (грибы, мхи, лишайники, черви) погибли за секунды, а обитатели мелководья и верхних слоев открытого океана (пелагиали) – за минуты. Смерть планктона (основы, или начала пищевой цепи), а также рифостроящих и сопряженных с ними существ вызвала коллапс всех пищевых связей. Таким образом, гамма-всплеск сделал обитателей Земли беззащитными перед ультрафиолетовой радиацией Солнца. Однако, это вымирание растянулось во времени.

Началась перестройка атмосферы (рис. 3.24). Высокоэнергетичные гамма-лучи разбивают молекулы атмосферного азота (N_2) на отдельные атомы, которые вступают в реакцию с молекулярным кислородом (O_2), в результате чего получается окись азота (NO), которая разрушает озон (O_3) и дает диоксид (двуокись) азота (NO_2) – бурый почти непрозрачный удушливый газ. NO_2 с атомарным кислородом опять же дает NO , разрушающую все больше озона. Небо затягивается тучами азотсодержащих газов, которые препятствуют проникновению солнечного света. Гамма-всплеск спровоцировал похолодание т.е. ледниковый период (animal.discovery.com).

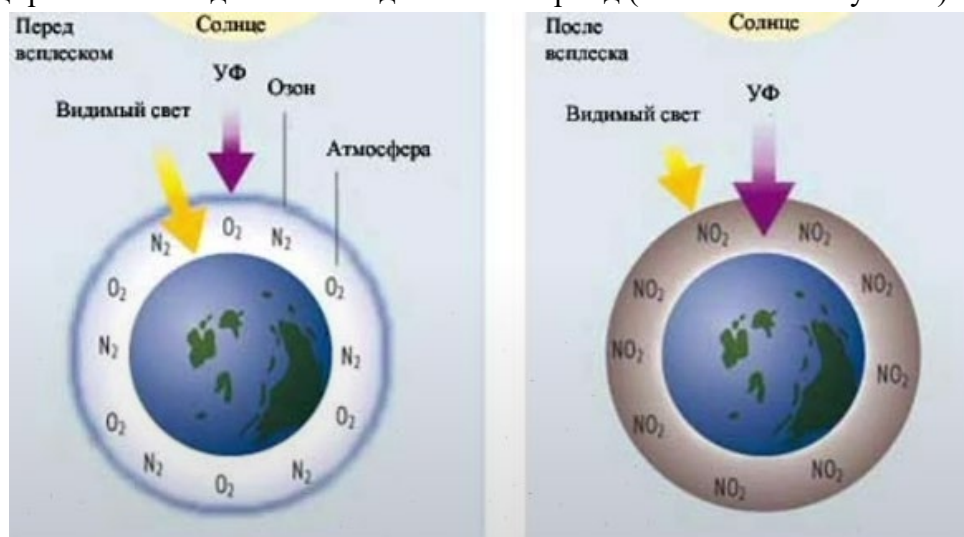


Рис. 3.24. Схематическое изображение планеты до и после гамма-всплеска

На рисунке 3.25 показана магнитосфера Земли, которая защищает планету от солнечного ветра. Осцилляции D (магнитного склонения) и I (магнитного наклонения) имеют циклическую природу и связаны с циклами эксцентриситета (Миланковича) длительностью 100 тыс лет. Последние приводят к изменениям внешнего гравитационного воздействия на Землю, на которое реагирует жидкое ядро Земли.

Земные полярные сияния являются видимым результатом взаимодействия солнечного ветра, солнечной и земной магнитосферы и атмосферы.

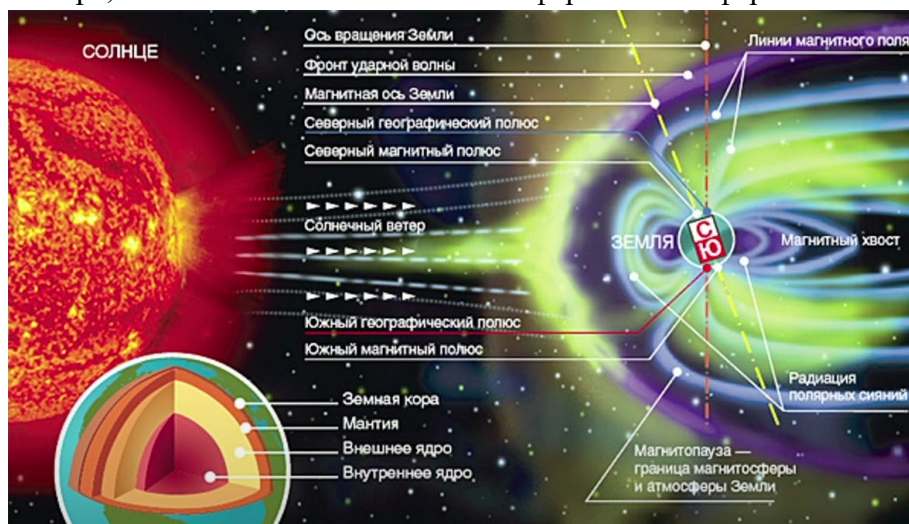


Рис. 3.25. Магнитосфера Земли

3.3. Планетарная корреляция

Климат Земли (рис. 3.26) определяется совместным влиянием циклов и периодов Солнечной активности и циклов Миланковича, воздействием Луны и Юпитера (рис. 3.27), рядом эндогенных процессов (тектоника плит, магматизм), и тесно связанных с ними экзогенных процессов - выветривание, речной сток и т.п. При возрастании активности в атмосфере Юпитера на Земле становится теплее. Еще одним из важных факторов, влияющих на климат, является Жизнь.

Все эти факторы определяют климатическую зональность Земли

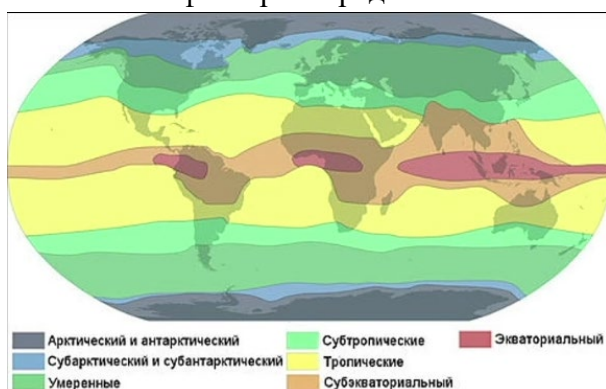


Рис. 3.26. Климатические пояса Земли

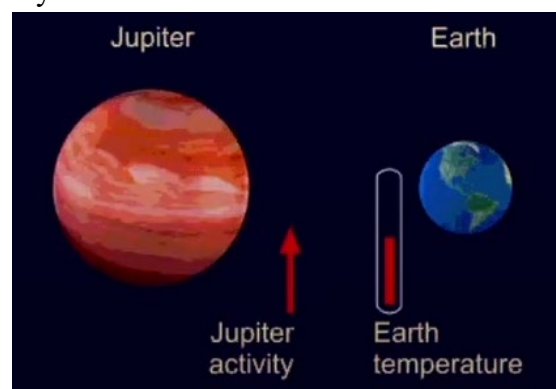


Рис. 3.27. Влияние Юпитера на температуру Земли

Следствием гравитационных возмущений помимо приливов и отливов являются трансгрессии и регрессии, а значит, это напрямую влияет на формирование секвенций (рис. 3.28).

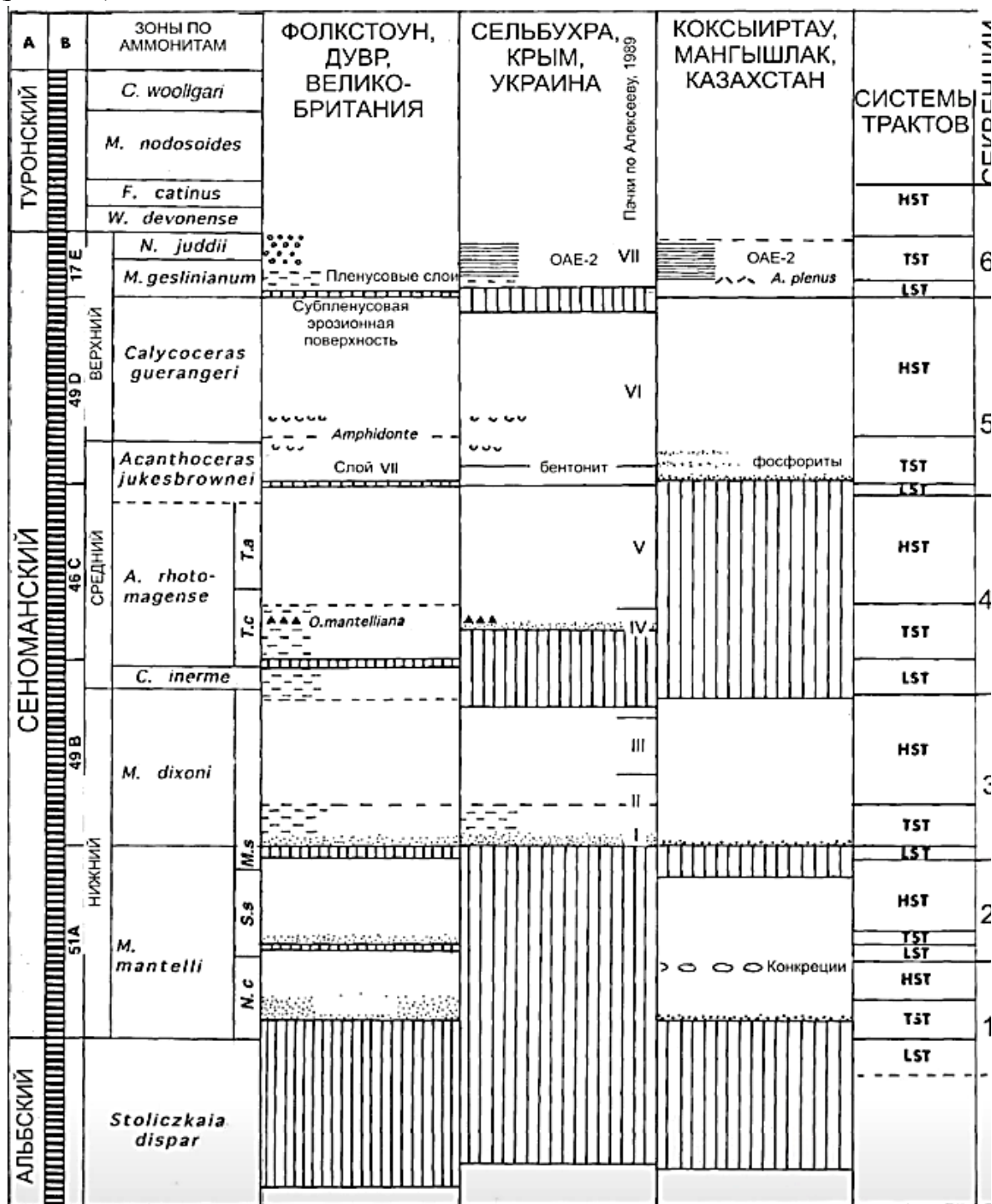


Рис. 3.28. Секвентно-хроностратиграфическая схема для Перитетиса. Полосатая шкала – прецессионные циклы, объединенные в пакеты по 1 млн. лет

Связь секвенций и изменение уровня Мирового океана находятся в тесной связи с астрономо-климатическими циклами. На границе тех или иных циклов происходит изменение уровня Мирового океана, формируются секвенции.

Все это позволяет выделять маркирующие горизонты по отдельным пластовым циклитам. Рассмотрим прецессионные циклы Миланковича на южной склоне горы Сельбухра (рис. 3.29): в верхней части присутствует толстый слой, что свидетельствует о возрастании мощности циклитов. Этот реперный уровень можно найти не только в Крыму, но и в Европе (в разрезе Блан-Не), и США (штат Колорадо, разрез Пуэбло) (рис. 3.30). Все они находились на одной палеошироте. Под номером 4 в Африке показан разрез Ашака. Сравнив 4 разреза, можно увидеть общую тенденцию:

- разрезы, которые располагаются на одной палеошироте имеют общую последовательность значений мощностей и мощность ритма;
- разрезы в разных полушариях будут иметь разные мощности, но общие тенденции будут сохранены.

Общепланетарный масштаб влияния циклических изменений климата дает возможность осуществить планетарную корреляцию на уровне пластов и «посчитать» длительность накопления толщи прямо «в поле», связав циклиты с одним из трех типов циклов Миланковича

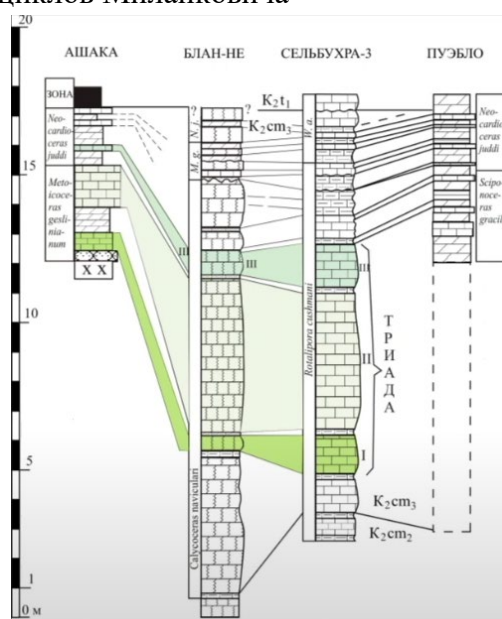


Рис. 3.29. Уровень циклитов в Крыму

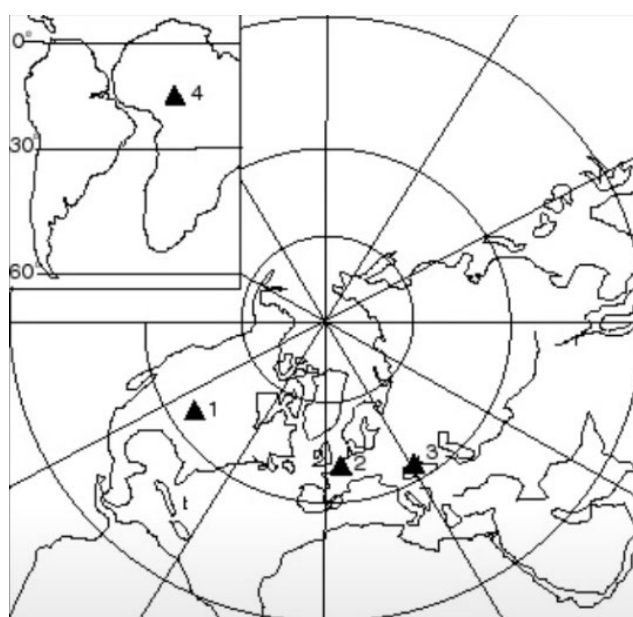


Рис. 3.30. Карта распространение циклитов реперного уровня

Далее можно сделать ритмо(цикло)календарь и присвоить каждому пластовому циклиту свой номер (рис. 3.31). Это приведет к экономии при стратиграфических расчленениях: общепланетарный масштаб послойной корреляции позволяет уменьшить количество проб на возраст, ускорить и удешевить стратиграфическую основу района работ.

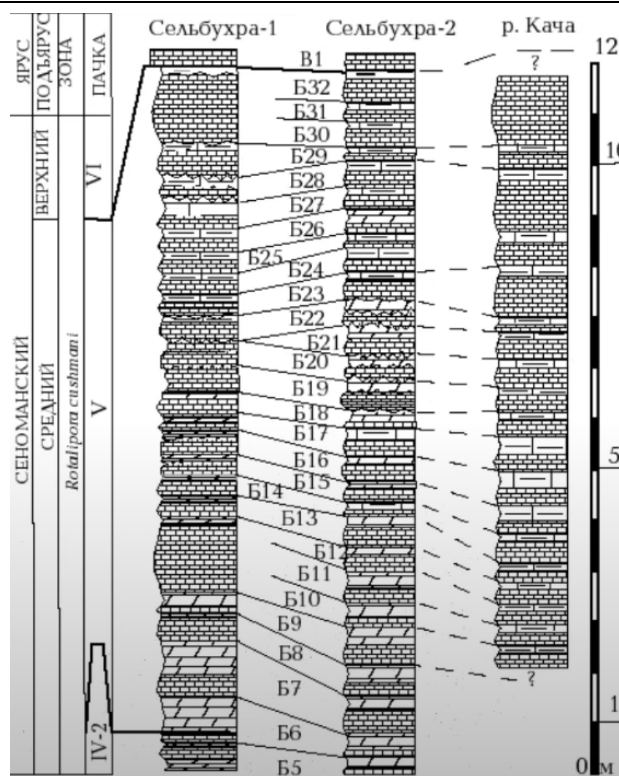


Рис. 3.31. Ритмокалендарь циклитов

Кроме того, с помощью циклостратиграфической корреляции можно показать геохронность биостратиграфических зон.

При использовании метода руководящих форм (ископаемых) необходимо понимать, что ни один биологический вид не может жить одновременно на всей планете Земля. Согласно теории Дарвина о происхождении видов путем естественного отбора биологический вид возникнет в одном месте благодаря определенному стечению обстоятельств. Уходит около 100 тыс. лет для того, чтобы вид распространился на какое-то расстояние. В момент этого распространения он будет встречать конкуренцию.

Зная, когда жил тот или иной вид, геолог может точно датировать разрезы большого ареала. На рисунке 3.32 показан сдвиг биозон в пространстве и времени. Слева показаны аммонитовые зоны Западной Европы, справа – зоны планктонных организмов (фораминиферы и радиолярии). В Западной Европе зона фораминифер условно отвечает одной аммонитовой зоне, а в районе Крыма, например, двум разным аммонитовым зонам, а на Восточно-Европейской платформе – трем. Информация позволяет составить модель расселения тех или иных зон в пространстве и во времени. Это показывает недостатки биостратиграфического метода: получить высокую точность (выше 100 млн лет) крайне тяжело. Проблему точности можно решить используя астрономо-климатические циклы, циклы инверсии магнитного поля, климатические циклы, которые имеют общепланетарное влияние.

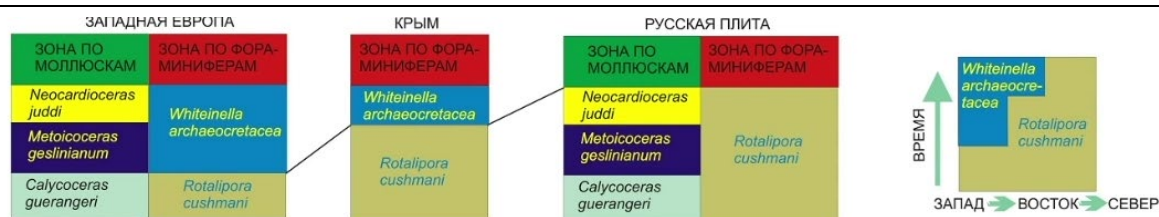


Рис. 3.32. Схема сопоставления биостратиграфических шкал терминального сеномана. Соотношение зон *Rotalipora cushmani* и *Whiteinella archaeocretacea* друг с другом и с аммонитовыми зонами в Западной Европе, Крыму и на Русской плите, а также предполагаемая пространственно-временная модель постепенного расселения и/или миграции популяции роталипор в конце сеноманского века

Секвентная стратиграфия

Секвентная стратиграфия занимается вопросами изменения уровня Мирового океана, изучает секвенции, секвентные тела. Многие границы секвенции синхронны со статическими циклами и с изменением климата и астрономо-климатическими циклами.

Секвенции, свиты, многие литологические пакеты – гео(диа)хронные геологические тела. Следовательно, для их корректного изучения необходимо оценивать сохранность их границ (рис. 3.33)

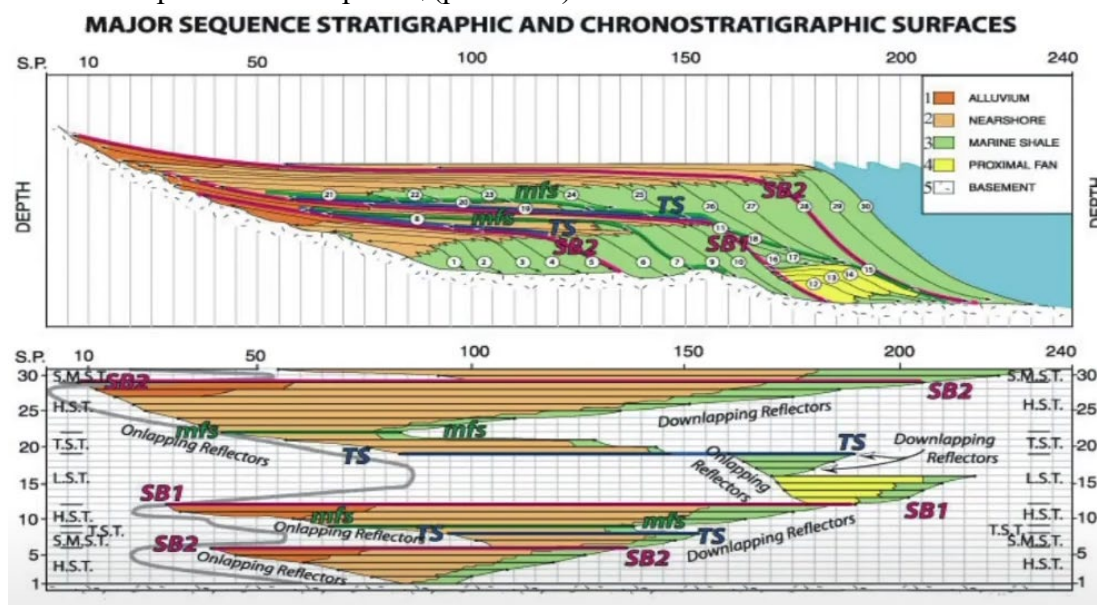


Рис. 3.33. Главные стратиграфические секвенции

Современный уровень исследования скважин (терминальный сеноман) позволяет на основе детального анализа цикличности уточнить границы секвенций и систем трактов, выделить корреляционные уровни (циклиты) (3.34). На любых параметрических кривых можно выделять тренды. на таких кривых можно выделить определенные пики и дать им собственные номера.

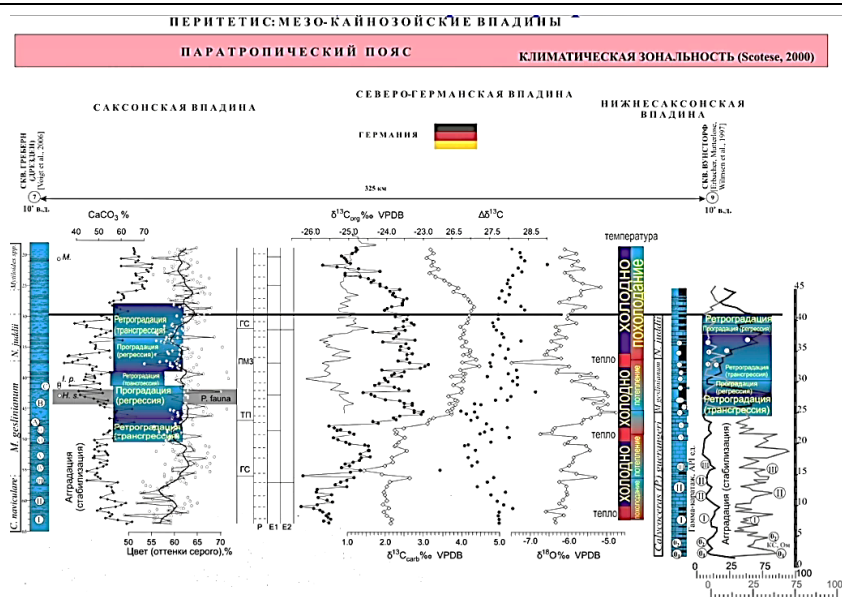


Рис. 3.34. Детальный анализ цикличности, параметрических кривых

Часто геолог имеет дело с фоновыми отчетами материалов производственных работ второй половины 20-го века.

Детальность расчленения скважин (сенон, неоком, мальм-берриас) и датировки границ по фауне в подавляющем большинстве случаев не отвечают современным представлениям и требованиям, керн и образцы недоступны, но исключать такой материал из работ было бы неверно.

Для решения этой проблемы можно использовать параметрические кривые и попытаться найти на них следы цикличности. Например, резкий перескок кривой обозначает перерыв в осадконакоплении. Кроме того, на кривых можно выделить реперные уровни (рис. 3.35) и использовать их как маркирующие горизонты при корреляции. По каротажу можно воссоздать разрез, сравнив его с эталонным разрезом, и получить более точное представление о датировке возраста.

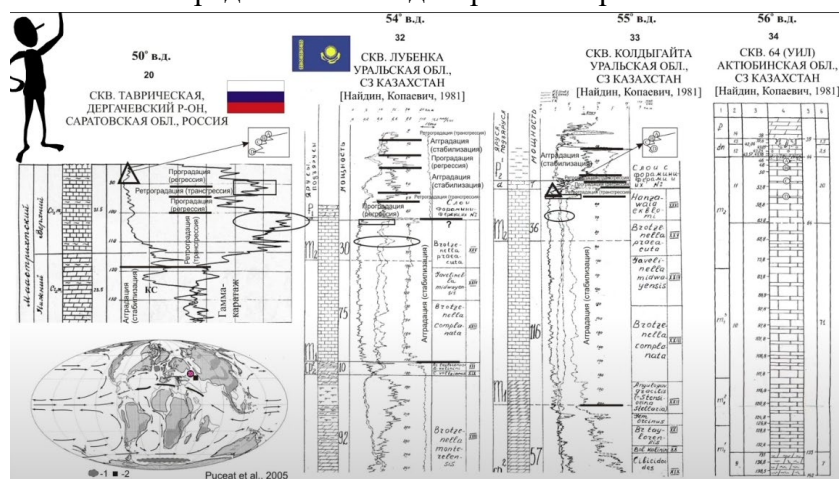


Рис. 3.35. Схема сопоставления пограничных маастрихт-датских отложений Южного Заволжья (Россия) и Мангышлака (Казахстан). На врезке внизу -

местоположение разрезов на палеогеографической схеме для конца мела: 1 - возможно глубоководные обстановки, 2 - места расположения разрезов №№32-34.

Примечание: на каротажных кривых треугольником выделены участки кривых, отвечающих маркерам AD, прямоугольником и овалом - корреляционные уровни

Использование цикло-стратиграфических подходов позволяет преодолеть проблему сопоставления морских и континентальных отложений. А также дает возможность «поймать» и оценить диапазон скрытых перерывов, т.е. решить одну из фундаментальных проблем геологии – проблему геологического времени.

Цикличность (например Миланковича) находит свое отражение в вариациях:

- 1) почти всех параметрических кривых (аналитика, каротаж);
- 2) кривых магнитного склонения и наклонения (инверсии магнитного поля), а следовательно решается вторая проблема - сопоставления морских и континентальных отложений тоже в планетарном масштабе.

Пластовые циклиты дают надежный стратиграфический «каркас» и определяют направление и скорость расселения (миграции) руководящих форм, а также решают проблему:

- 1) выхода керна (собственно выход и его вид), прогнозируя утраченные интервалы и уточняя положения секвентных и других геологических границ;
- 2) межскважинной корреляции («прыгающие», ступенчатые границы).

Все это позволяет получить более точную информацию о генезисе цикличности. Однако, генезис не всех элементарных пластовых циклитов на самом деле связан с астрономо-климатическими циклами. Одним из таких примеров являются отложения мутьевых потоков (турбидиты) с градационной слоистостью, которые характеризуются четкой цикличностью, но своим образованием обязаны эпизодическим процессом подводного оползания (рис. 3.36).



Рис. 3.36. Параллельная двухэлементная неравномерно ритмичная слоистость в толще флишевого переслаивания аргиллитов и песчаников нижней юры (таврическая серия) в овраге Яман к северу от базы МГУ в Бахчисарайском районе Юго-Западного Крыма

Обычно мощности пластов измеряют с помощью рулетки. Но кроме этого, необходимо их сгруппировать: можно выделить цикличность двух порядков:

- 1) Цикличность второго порядка – более мелкая цикличность – чередование более и менее карбонатных элементов циклов. Цикличность можно выделить не везде.
- 2) Цикличность первого порядка – объединение в пласты циклитов второго порядка. В этой цикличности можно выделить чередование менее плотных более песчаных отложений и более карбонатных отложений. В таком масштабе слои, для которых затруднительно было выделить цикличность на более детальном уровне, становятся более очевидными.

Примечание. Существуют скрыто-циклические толщи – визуально такие толщи напоминают единый пласт и хаотичная цикличность (чередование пластов есть, но закономерностей этого чередования не наблюдается).

4.2. Интерпретация аналитических данных

Для того, чтобы проверить первичные представления о цикличности необходимо провести анализы: отбираются пробы горных пород и проводятся геохимические, петрографические и другие виды исследований. Цель анализа: узнать распределение параметров и понять, насколько эти параметры сбиваются с первоначальной цикличностью. Если они совпадают, это значит, что понимание цикличности – верное. Если распределения не бьются между собой, тогда необходимо проводить дополнительный анализ, так как нельзя игнорировать первичные данные о слое (литологический состав, окраску).

Далее рассмотрим исследование пород в шлифах (рис. 4.2).

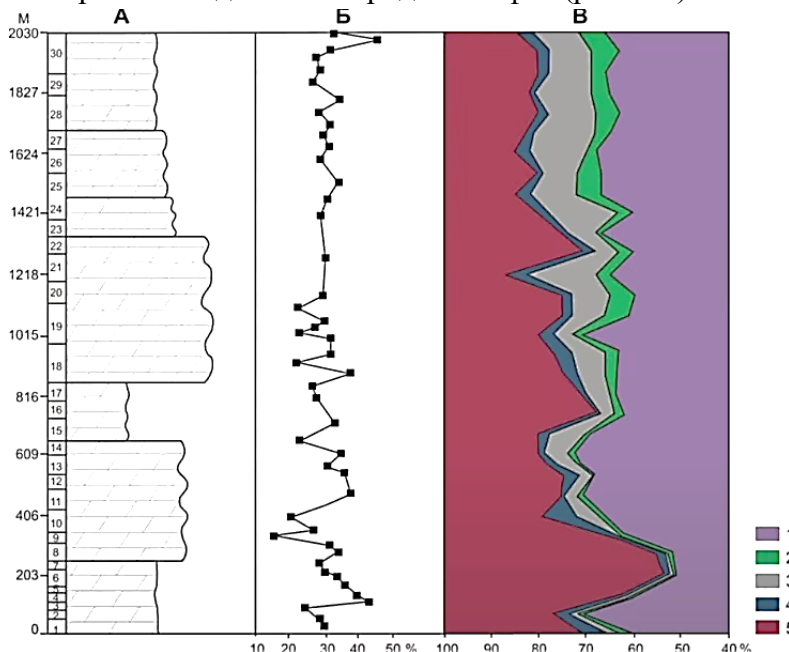


Рис. 4.2. Циклическое распределение данных химического и петрографического исследования разреза нижнемаастрихтских отложений оврага Токма

(Бахчисарайский район Крыма): А – геологический профиль; Б – содержание карбонатной составляющей в породах; В – диаграмма взаимоотношения основных компонентов в породе по петрографическому описанию шлифов: 1 – перлит, 2 – рудный минерал, 3 – кварц, 4 – глауконит, 5 – кальцит

За 100% принимается весь минеральный состав породы: фиолетовым цветом показано глинистое вещество, красным цветом показан карбонат кальция, другими цветами обозначены разные акцессорные минералы: кварц, глауконит и др. Серым цветом обозначен кварц. Выше по разрезу его количество увеличивается – это значит, что происходит увеличение песчаности разреза. График магнитной восприимчивости (график в центре) – это данные магнитных исследований. Если в породе присутствуют минералы-ферромагнетики, тогда на кривой эти минералы проявятся ярко. В целом, можно заметить, что небольшое увеличение концентрации магнитных минералов совпадает с увеличением терригенной примеси (в частности, кварца). В то же время, значения магнитной восприимчивости постоянны, что, вероятно, говорит о том, что существовал источник сноса. Понимание условий образования пластов дает возможность подбирать корректные седиментационные модели.

По циклическому распределению становится понятно, что некоторые из пиков (циклов) совпадают и имеют высокую корреляцию. Некоторые области на графике показывают, что присутствуют слои цикличности второго / третьего порядка, которые изначально не были обнаружены.

Таким образом, в результате анализа кривой магнитной восприимчивости (рис. 4.3) можно выделить цикличность третьего порядка, которую можно объединить в более крупную цикличность второго порядка и затем объединить в цикличность первого порядка. Такую иерархию можно объяснить тем, что некоторые процессы в седиментационной системе, связанной с цикличностью первого порядка, проходили редко, смена условий цикличности второго порядка проходила более часто, смена условий цикличности третьего порядка проходила еще более часто. Третий порядок можно выделять, например, по местным / фоновым условиям седиментации, второй порядок – по региональным условиям, первый порядок – планетарные условия.

Аналогичным образом можно выделить циклы нескольких порядков по результатам исследования шлифов (рис. 4.4).

Сравним результаты интерпретации данных разных исследований (рис. 4.5). Сравнительный анализ можно провести двумя способами:

- 1) Поставить рядом результаты интерпретации по результатам петрографических исследований, магнитных исследований и геологическую колонку, полученную при полевых исследованиях.
- 2) Произвести сравнение по порядкам.

При сопоставлении всех данных циклы, в большей степени, не коррелируются между собой. Необходимо этому найти объяснение.

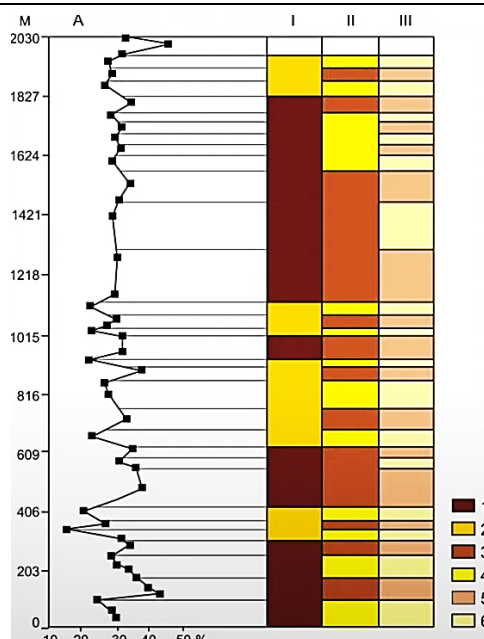


Рис. 4.3. Интерпретация распределения данных химического исследования разреза для разреза нижнемаастрихтских отложений оврага Токма (Бахчисарайский район Крыма): А – содержание карбонатной составляющей в породе; I, II, III – ритмы разных порядков: I – первого, II – второго, III – третьего; 1, 3, 5 – менее карбонатные элементы; 2, 4, 6 – более карбонатные элементы

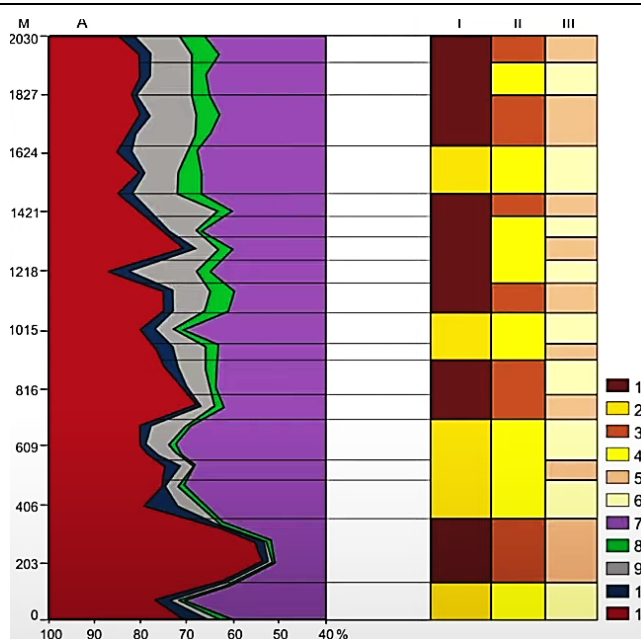


Рис. 4.4. Интерпретация распределения данных петрографического исследования разреза для разреза нижнемаастрихтских отложений оврага Токма (Бахчисарайский район Крыма): А – диаграмма взаимоотношения основных компонентов в породе по петрографическому описанию шлифовальные 7 – кальцит, 8 – глауконит, 9 – кварц, 10 – рудный минерал, 11 – пеллит; I, II, III – ритмы разных порядков: I – первого, II – второго, III – третьего; 1, 3, 5 – менее карбонатные элементы; 2, 4, 6 – более карбонатные элементы

Истолкование данных аналитических и полевых исследований с позиций циклов Миланковича возможно выполнять:

- 1) Статистическими методами при помощи ЭВМ (вышеизложенную интерпретацию делает компьютер).
- 2) Седиментометрическими методами (оценка значений скорости седиментации). Используя этот метод, можно подбирать разные значения скорости или зафиксировать одну скорость. Выбрав какое-нибудь значение скорости можно получить представление о времени (длительности) осадконакопления.
- 3) Подсчетом «вручную» по шкале времени.

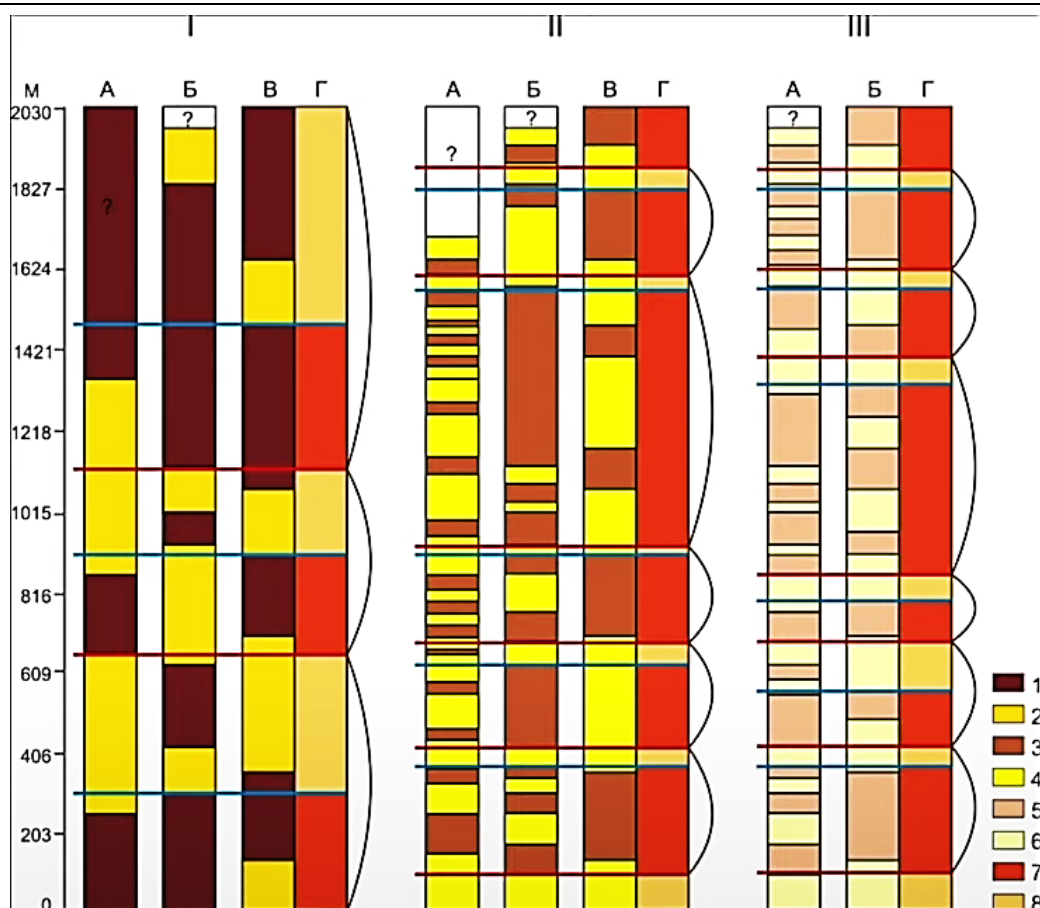


Рис. 4.5. Сравнение результатов интерпретации данных разных исследований (слева и в центре) и попытка моделирования обобщенного варианта универсальной цикличности (справа) для разреза нижнемаастрихтских отложений оврага Такма (Бахчисарайский район Крыма): I, II, III – ритмы разных порядков: I – первого, II – второго, III – третьего; А-Г – ритмы, выделенные разными методами: А – на стадии описания разреза, Б – по данным химического исследования, В – по данным петрографического исследования, Г – по комплексу признаков предыдущих ритмов; 1, 3, 5 – менее карбонатные элементы; 2, 4, 6 – более карбонатные элементы

Существует несколько параметров (рис. 4.6), которые оказывают влияние на седиментационные системы и вариации климата:

- циклы прецессии;
- наклонение эклиптики;
- эксцентриситет;
- солнечная активность.

Под влиянием этих факторов в той или иной степени складываются климатические вариации. Любую периодическую функцию можно представить в виде набора других периодических функций (синусоид, косинусоид и т.д.), т.е. разложить в ряд Фурье.

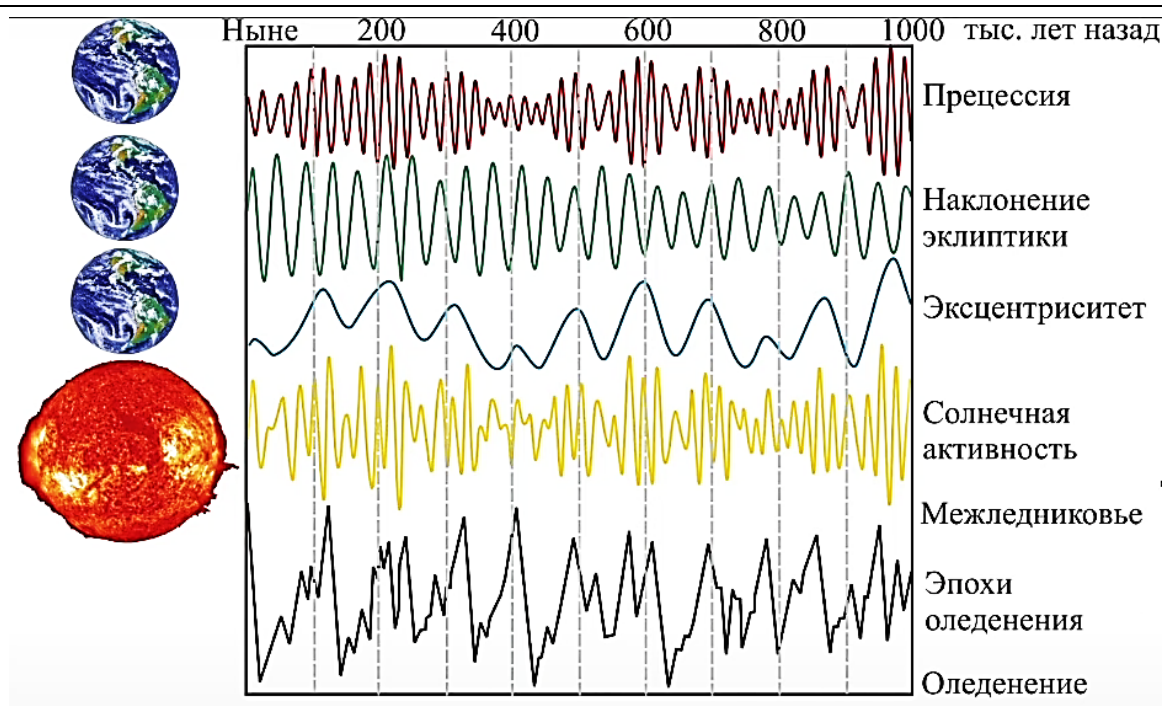


Рис. 4.6. Астрономо-климатические циклы Миланковича и циклы солнечной активности, имеющие циклическую природу, вызывают циклическую смену фаз межледниковья и оледенения

Интересно, что длительность века может различаться в разы или на порядок. Это значит, что по разным школам можно получать разные результаты (таблица 4.1).

Если единого взгляда на модель времени нет, тогда становится очевидно, что некоторые вещи, в частности, длительность тех или иных циклитов сложно определить.

Таблица 4.1. Схема сопоставления геохронологических шкал

Век	Продолжительность, МА (по данным разных авторов)									
	V. Hinte, 1975	Harland, 1982	Palmer, 1983	Haq, 1987	Harland, 1989	Cowie, 1989	Odin, 1990	Obradovich, 1993	Giradstein & Ogg, 1994	Hardenbol, et. al., 1998
Маастрихский	5	8	8.5	7	9	10	7	6	6.3	6.3
Кампанский	8	10	9.5	10	9	8	10	12	12.2	12.2
Сантонский	4	5	3	4	4	3	5	3	2.3	2.3
Коньякский	4	1	2	1	2	2	1	3	3.2	4.5
Туронский	6	2	3	3	3	3	3	4	4.5	4.5
Серонманский	8	6	6	4	5.5	4	5	5	5.4	5.4

Габдуллин Р.Р., Иванов А. В.. Ритмичность карбонатных толщ – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2002, стр.9, таб.1.

С другой стороны, можно использовать значения скоростей осадконакопления. Например, известно, что для кремнистых (карбонатных) осадков средняя скорость осадконакопления составляет 1-3 см/тыс. лет (рис. 4.7), для терригенных компонент средняя скорость осадконакопления составляет 200 – 500 см/тыс. лет. Тогда шкалу времени можно составить исходя из полученных значений скоростей. После этого можно посчитать статистическое распределение

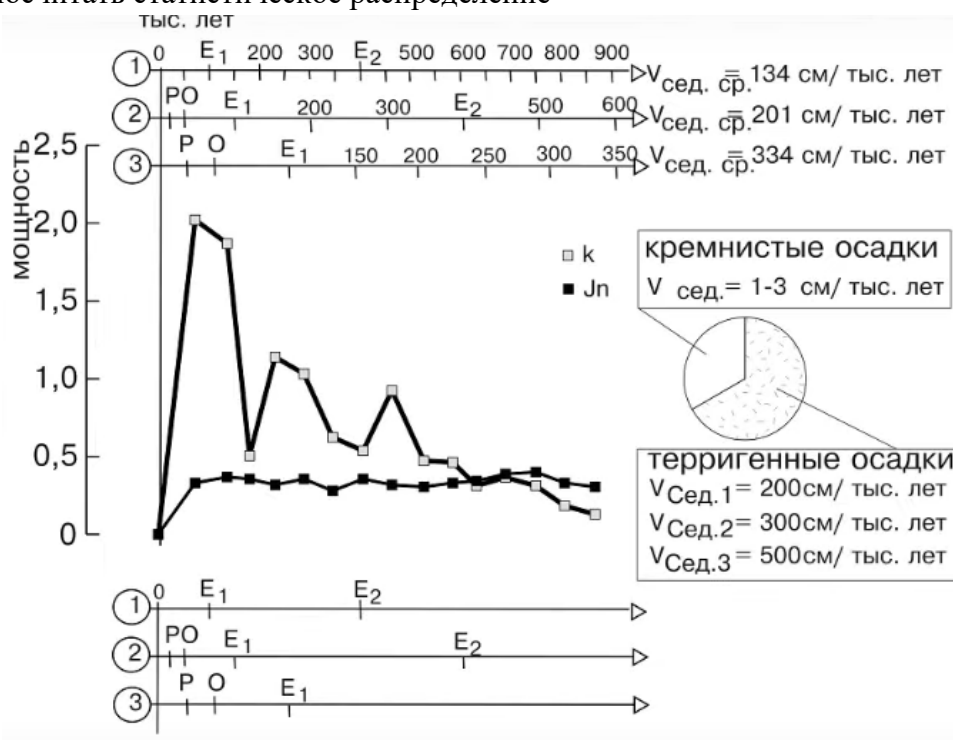


Рис. 4.7. Результат спектрального исследования распределения магнитной восприимчивости (k) и естественной остаточной намагниченности (J_n) в трех временных координатах, рассчитанных седиментометрическим методом для смешанной кремнисто-терригенной толщи сантон-нижнемаастрихтских отложений разреза Нижняя Банновка (Саратовская область)

Для унификации и нумерации циклитов, связанных с циклами Миланковича и их дальнейшем использовании для циклостратиграфической корреляции можно использовать своеобразный «цикл календарь» – циклостратиграфическую шкалу (ЦШ), например для позднего мела. Рассмотрим фрагмент геологической истории, которая захватывает вторую половину мелового периода (рис. 4.8):

- 1) За точку отсчета условно примем начало позднего мела (хотя в глобальном масштабе надо брать момент начала вращения Земли).
- 2) Расположим циклы Миланковича (ЦМ) по рангу и присвоим им порядковые номера журнала.
- 3) Скоррелируем с другими шкалами (магнито-, эвстатической).

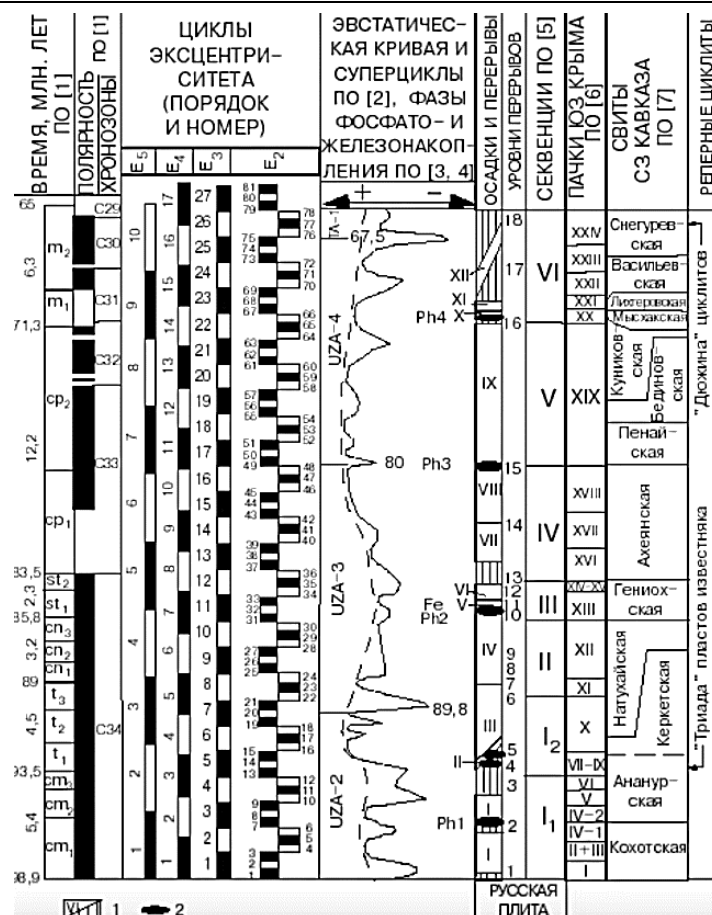


Рис. 4.8. Циклостратиграфическая шкала

По шкале можно найти эпохи совпадения циклов. Сравнив их с эвстатической кривой, можно увидеть сильные перепады уровня моря совпадают с 3-4 циклами разных порядков.

Выводы

Выводы:

1. Существуют разные механизмы реализации циклических и направленных (ациклических) геологических процессов Земного и космического происхождения, генерирующие циклично построенные седиментационные системы (включая секвенции).

2. Циклический анализ седиментационных систем и циклический подход в секвентной стратиграфии позволяют решить проблемы:

1) определения геологического времени;

2) планетарной корреляции морских и континентальных отложений на уровне элементарных пластовых циклитов.

3. В итоге, это ускоряет, удешевляет и упрощает проведение всех видов разведочных и поисковых работ, поднимая их на уровень высокоточной стратиграфии.

Лекция 5. Седиментационные модели цикличности осадочных толщ

5.1. Седиментационные модели цикличности осадочных толщ

Любое моделирование – это упрощение. Ярким примером является наше представление о форме Земли (геоид, эллипсоид). Многие ошибки в навигации связаны с тем, что существует небольшая погрешность в математическом представлении модели.

Подбор седиментационных моделей, которые объясняют цикличность, является упрощением.

Модель 1 (Эйнзеле, Зейлахер, 1985). Циклы разбавления (ЦР).

Циклические изменения климата (влажный / сухой) приводят к циклическим флуктуациям в объёме силикатного классического материала (соответственно больше/меньше), поступающего с реками в бассейн седиментации. В условиях сухого климата (стадия А) формируется более карбонатный элемент ритма (БКЭР), а в условиях влажного (стадия Б) – менее карбонатный (МКЭР). В настоящее время эту модель можно применить к седиментации в одном из районов Чили (Lamy, Hebbeln, Wefer, 1998).

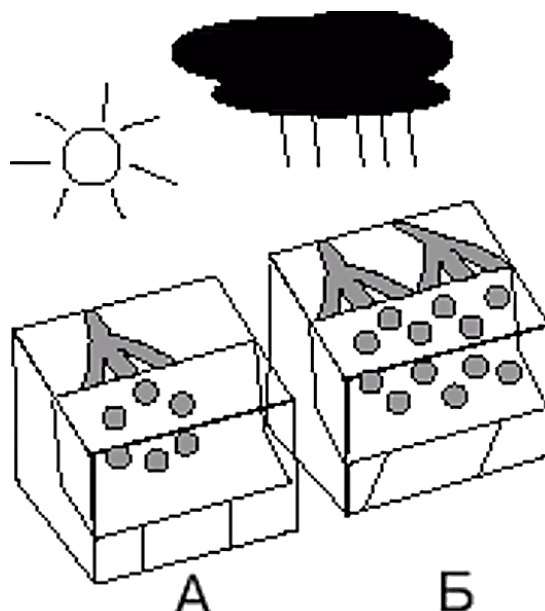


Рис. 5.1. Модель 1

Цикличность заключается в том, что с суши периодически сносится то больше, то меньше материала.

Математическое описание:

- 1) Скорость осадконакопления карбонатных осадков – постоянная:

$$V_{\text{седим.карб.осадков}} = \text{const.}$$

- 2) Скорость осадконакопления терригенных осадков – не постоянная:

$$V_{\text{седим.терриг.осадков}} \neq \text{const.}$$

В одном случае влажность будет меньше, в другом больше:

$$C_{\text{карб.осадков}} = \text{const.}$$

$$C_{\text{терриг.осадков}} = \text{const.}$$

↓ Влажность → МКЭР.

↑ Влажность → БКЭР.

Примечание. При моделировании закладываются граничные условия. При изменении граничных условий результат моделирования также будет меняться.

Условные обозначения

Далее будут использоваться различные условные обозначения, которые представлены на рисунке 5.2.

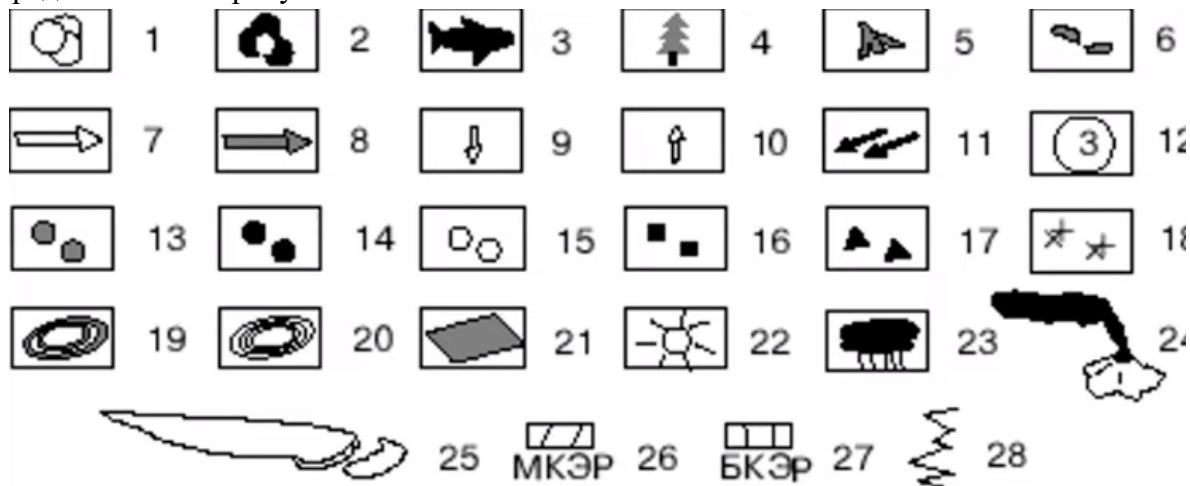


Рис. 5.2. Условные обозначения к этой и нижеследующим блок - диаграммам: 1 – планктон с карбонатным скелетом; 2 – планктон с органическим скелетом; 3 – позвоночные; 4 – растительность; 5 – реки; 6 – озера, болота; 7 – эоловый привнос; 8 – гляциальный привнос; 9 – регрессия; 10 – трансгрессия; 11 – морские течения; 12 – номер модели; 13 – биогенный материал карбонатного состава; 14 – терригенный (органический) материал; 15 – терригенный (неорганический) материал; 16 – вулканогенный материал; 17 – гляциальный материал; 18 – снег; 19 – конденсация осадка; 20 – стратифицированные водные массы; 21 – критическая глубина карбонатонакопления; 22 – сухой тип климата; 23 – влажный тип климата; 24 – вулканогенный привнос; 25 – ледники; 26 – менее карбонатный элемент ритма; 27 – более карбонатный элемент ритма; 28 – фациальный переход

Модель 2 (Ruffel, Spaeth, Mutterlose, 1996). Циклы разбавления.

Циклическое изменение климата (влажный / сухой) приводит к циклическому изменению в характере выветривания (физическое / химическое) при постоянном речном стоке. Следовательно, имеет место циклический привнос различных компонент: обильных органикой соединений во влажный сезон (стадия А, МКЭР) и бикарбонатов в сухой сезон (стадия Б, БКЭР). Другие исследователи (Полтариус, Кислой, 1986) отмечают связь между типом климата, типом выветривания и минералами, сносимыми с суши в бассейн седиментации. Например, индикаторами холодного сухого климата с преобладанием физического типа выветривания могут

служить находки в разрезе легко выветриваемых минералов (полевые шпаты, роговая обманка и др.), а индикатором теплого влажного климата может быть каолинит.

Если объем терригенной примеси по результатам изучения пород в шлифах – постоянный, а состав изменяется, тогда можно использовать вторую модель. Если объем терригенной примеси в разрезе изменяется, тогда логичнее использовать модель 1.

Модель 3 (Морозов, 1952). Циклы разбавления.

Трансгрессия (регрессия) в условиях тектоноэвстатии (стадия Б) приводит к поступлению большого объема терригенного материала в бассейн седиментации с формированием МКЭР. Регрессия (стадия А), уменьшение объема терригенного материала – время формирования БКЭР.

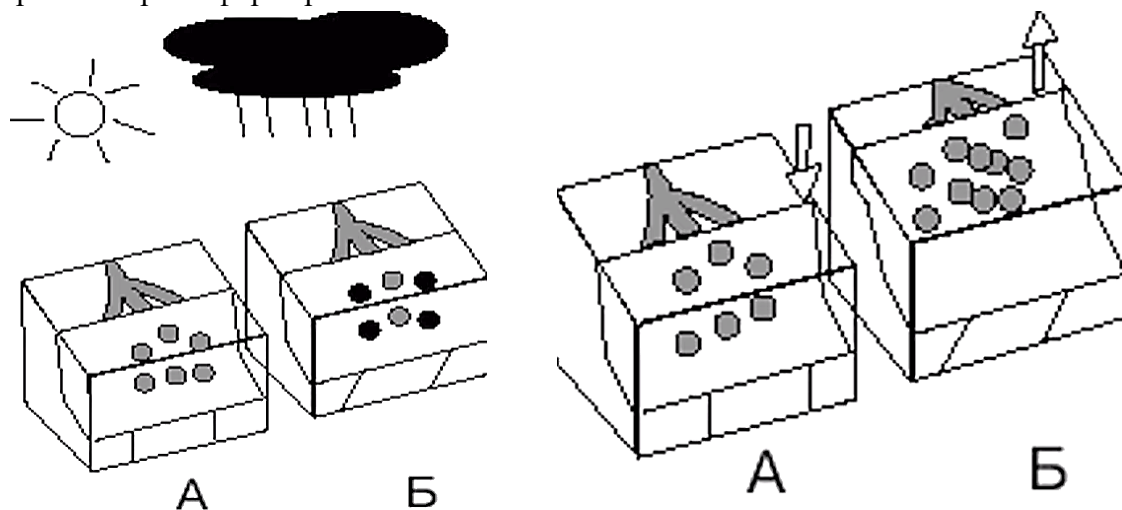


Рис. 5.3. Модель 2

Рис. 5.4. Модель 3

Ключевым фактором образования цикличности выступает изменение уровня Мирового океана.

Модель 4 (Гаврилов, Копаевич, 1996). Циклы разбавления (ЦР) и биопродуктивности (ЦБ)

Ранее рассматривались модели, состоящие из двух стадий. Существуют и более сложно построенные модели – например, модель Гаврилова и Копаевич, которая имеет 3 стадии.

Флуктуации климата вызывают эвстатические колебания уровня океана. Данная модель предполагает наличие трех фаз. Первая фаза – стадия А (до регрессии) отвечает высокому уровню стояния моря. Вторая фаза (стадия Б) связана с регрессией. Во время низкого стояния уровня моря прибрежные районы превращаются в заболоченную местность. Происходит накопление органических соединений. Во время третьей фазы (стадия В) при трансгрессии происходит смыв этих отложений. Часть их тут же захороняется, а часть возвращается в биологический цикл, приводя к резкому всплеску биопродуктивности. Это приводит к анорексии, накоплению и захоронению органики, формированию чёрных сланцев.

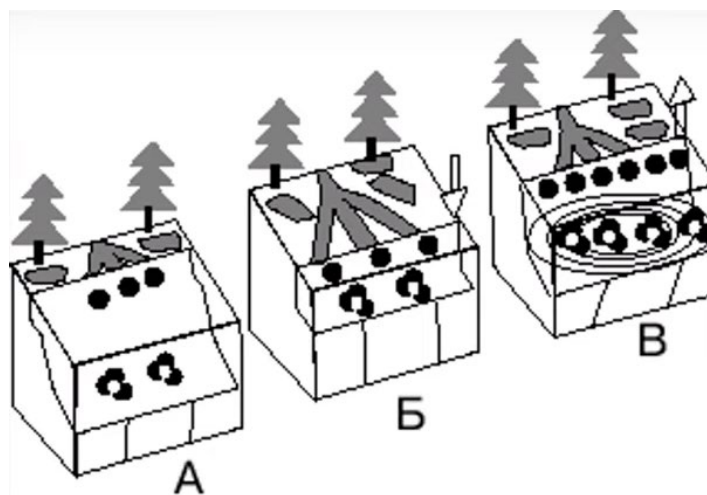


Рис. 5.4. Модель 4

Модель 5 (Gabdullin, Varaboshkin, 1997). Циклы растворения (ЦРС)

Описывает формирование ритмичных толщ, содержащих глинистые прослои и закономерно повторяющиеся в разрезе поверхности типа «твердое дно», разделяющие пласты мергеля (известняка и глины. Данная модель характеризует процесс, включающий три стадии. Пласт мергеля, известняка соответствует процессу седиментации (стадия А), слой глины – процессу конденсации (растворение накопившегося пласта мергеля) – стадии Б, а поверхность типа «твердое дно» отвечает режиму ненакопления и подводного выветривания (стадия В). Примерами таких ритмичных толщ могут служить разрезы нижнего баррема и дания юго-западного Крыма (Габдуллин, 1996; Габдуллин, Выдрик, 1998).

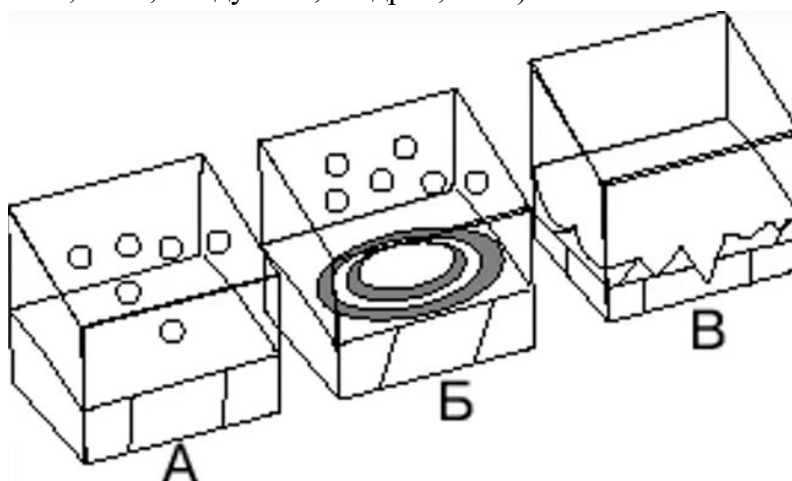


Рис. 5.5. Модель 5

Модель 6 (Эйнзеле, Зейлахер, 1985). Циклы растворения

Вариации климата сказываются на изменении уровня моря и, соответственно, изменении глубины ГKK. БКЭР соответствует фазе низкого стояния уровня моря (стадия А). Поднятие уровня моря (стадия Б) отвечает времени аккумуляции МКЭР.

Модель 7 (Ricken, 1994). Циклы растворения

Изменение климата влечёт за собой изменение уровня моря. При эвстазии в придонных водах могут формироваться области с дефицитом кислорода. При опускании уровня моря образуется БЕЭР (стадия А), а при поднятии – МКЭР (стадия Б).

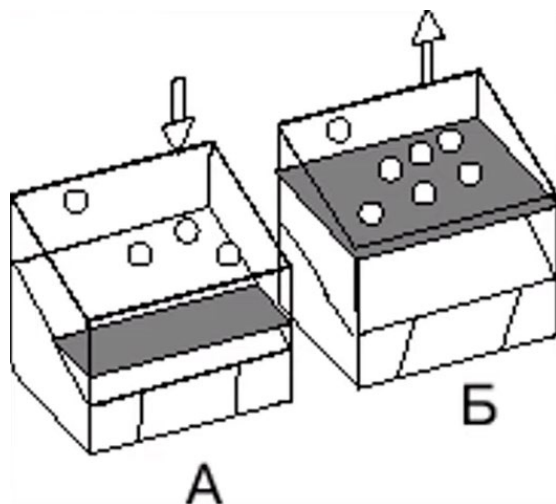


Рис. 5.6. Модель 6

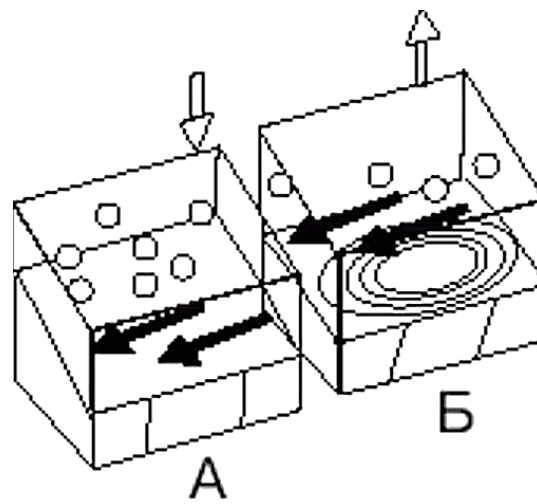


Рис. 5.7. Модель 7

Модель 8 (Savrdá, Bottjer, 1994). Циклы растворения

Изменение климата вызывает изменение циркуляции водных масс в бассейне (переориентировку направления течений). В зависимости от рельефа дна бассейна при переориентации течений могут формироваться области с застойными водами. Таким образом, происходит периодическая смена кислородного режима. В аэробных условиях формируется БКЭР (стадия А), в анаэробных – МКЭР (стадия Б).

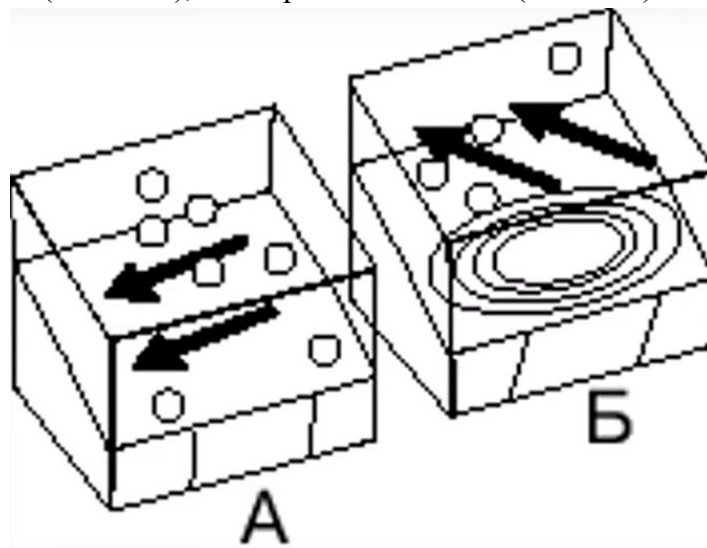


Рис. 5.8. Модель 8

Модель 9 (Nau, 1996). Циклы разбавления и растворения

В зависимости от силы извержения, объёма вулканического материала и широты на которой расположен вулкан, возможны разные виды воздействия на атмо- и гидросферу. Даже при постоянной вулканической активности, но при разных значениях силы извержения и объёма вулканического материала, происходит:

1) быстрое выпадение вулканического пепла (разбавление) и кислотных дождей (растворение), если пепел находится в пределах тропосферы;

2) превращение смеси водяного пара и газов в аэрозоль H_2SO_4 с последующим медленной диффузией в тропосферу, разрушением озона и медленным выпадением частиц пепла (последние, вместе с аэрозолями отражают большое количество солнечных лучей) при достижении изверженным материалом стратосферы.

Граница стратосферы с тропосферой (тропопауза) расположена на высоте 10 км в полярных областях и 20 км в тропиках. Воздействие изверженного материала на режим седиментации и климат очень многогранно и представляется сложным однозначно связать формирование чередующихся слоев с режимом извержения (модель 9 А).

Следует отметить, что возможен и механизм циклической вулканической деятельности (модель 9 Б) с простым изменением объёма материала, поступающего в седиментационную систему. Иными словами, имеет место простое количественное разбавление, стадии А (МЭР) и Б (БКЭР). Новейшие исследования (Адмакин, 1998) показали не только многопорядковую периодичность вулканической активности в истории Земли (65, 250, 575, 850, 1300, 1800, 2200, 5000-7000 лет и др.), но и связь циклов вулканической активности с циклами Миланковича (22000 лет)

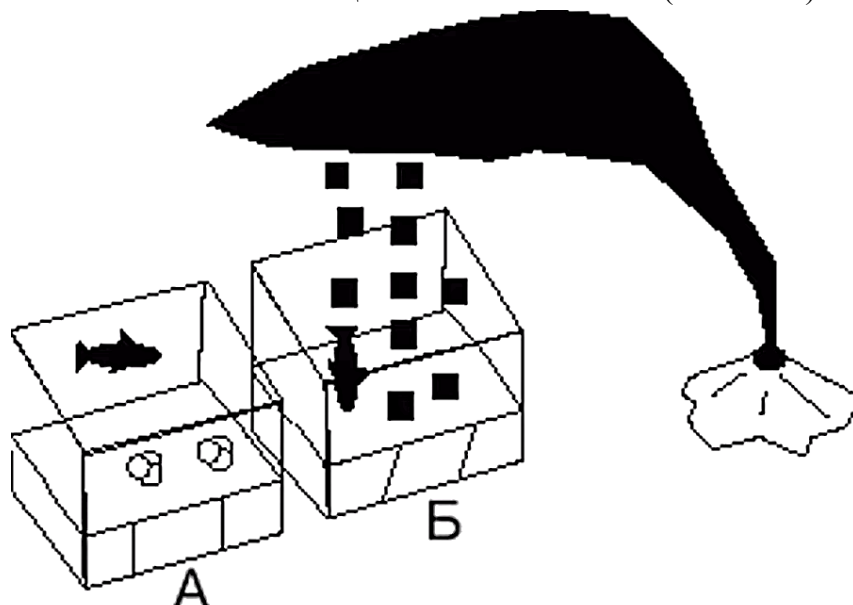


Рис. 5.9. Модель 9

Модель 10 (Fisher, Arthur, 1977). Циклы биопродуктивности

В геологической летописи наблюдается циклическое чередование политаксонных (при относительном потеплении – стадия А) и олиготаксонных (в случае относительного похолодания – стадия Б) интервалов. Природу большей части

ритмичных карбонатных толщ верхнего мела Европы и Северной Америки связывают с циклами биопродуктивности. Следует отметить, что потепление океанских вод по типу «Эль Ниньо» у берегов Чили и Перу приводит к смерти ряда морских организмов и миграции других, а также влечет бурный всплеск цветения водорослей («красные приливы») с последующим массовым замором водных организмов (Сывороткин, 1999). Последующее похолодание океанических вод, следующее за потеплением – «Ла Нинья» также существенно воздействует на органический мир океана. Таким образом, нельзя однозначно установить прямую зависимость между относительным потеплением вод и появлением сравнительно большего числа таксонов. Можно предполагать, что такие явления могли иметь место и в геологическом прошлом. Ряд моделей возникновения Эль Ниньо приведены в работе В.Л. Сывороткина (1999).

Модель 11 (Эйнзеле, Зейлахер, 1985). Циклы растворения

В основе лежат глобальные циклы углерода – изменение соотношения кислород/углекислый газ в атмо- и гидросфере, связанное с изменением площади растительного покрова и его поглощательной способности. Больше лесов – больше поглощается углекислого газа и выделяется кислорода, формируется БКЭР (стадия А), наоборот, при уменьшении площади лесов высвобождается большой объем углекислого газа, и формируется МКЭР (стадия Б). Циклы углерода характеризуются глобальным общепланетарным воздействием на атмо-, гидро-, страти- и биосферы. Уменьшение отношения кислород/углекислый газ вызывает повышение температуры (Tajika, 1998; Voss, Mikolajewicz, 2001), потепление тропосферы и охлаждение стратосферы, возрастание количества высокоуровневых облаков и уменьшение количества низкоуровневых (Ramstein et al., 1998). При увеличении баланса кислород/углекислый газ происходит относительное похолодание, охлаждение тропосферы и потепление стратосферы, возрастание количества низкоуровневых облаков и уменьшение количества высокоуровневых. Возможно, из-за общепланетарного масштаба этой модели пока нет примеров конкретных ритмичных толщ, для которых она была бы предложена.

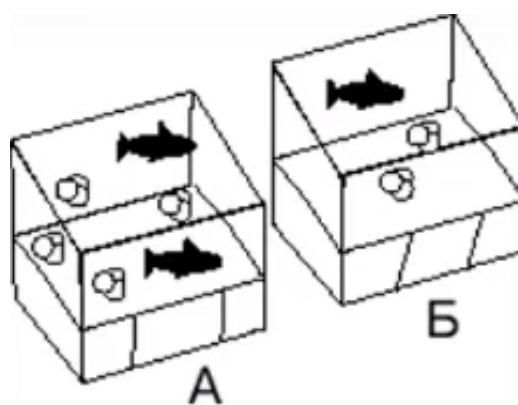


Рис. 5.10. Модель 10

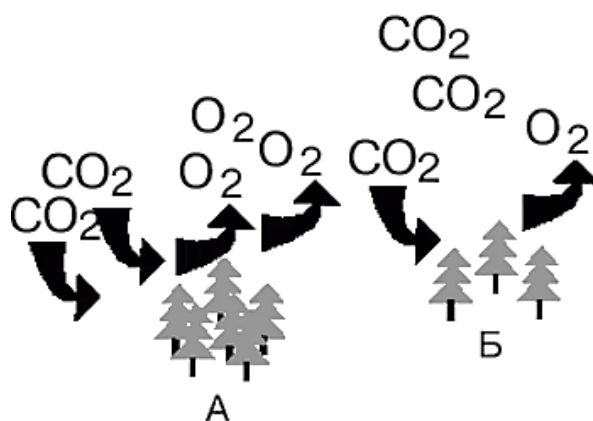


Рис. 5.11. Модель 11

5.2. Группировка моделей по признакам

Все вышеперечисленные модели можно объединить в большие модели (рис. 5.12). Одни модели будут связаны с вариациями климата, другие – с изменением глубины. На климатической диаграмме видно, что в условиях изменяющегося типа климата частные модели «находят» своё место. В отдельных местах может быть большая биопродуктивность, в других – нет. Такая закономерность важна, так как для одного разреза можно подобрать несколько моделей.

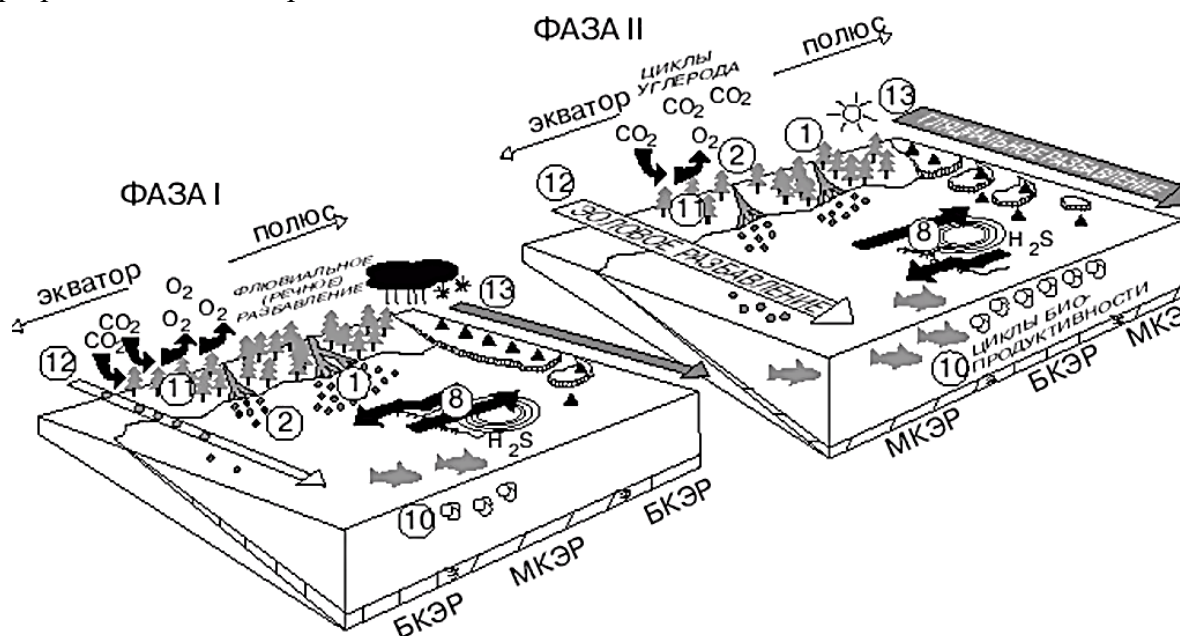


Рис. 5.12. Климатическая модель формирования карбонатных периодитов.

Условные обозначения приведены выше

На рисунке 5.13 показана эвстатическая модель, где на первой фазе уровень Мирового океана – ниже, на второй – выше.

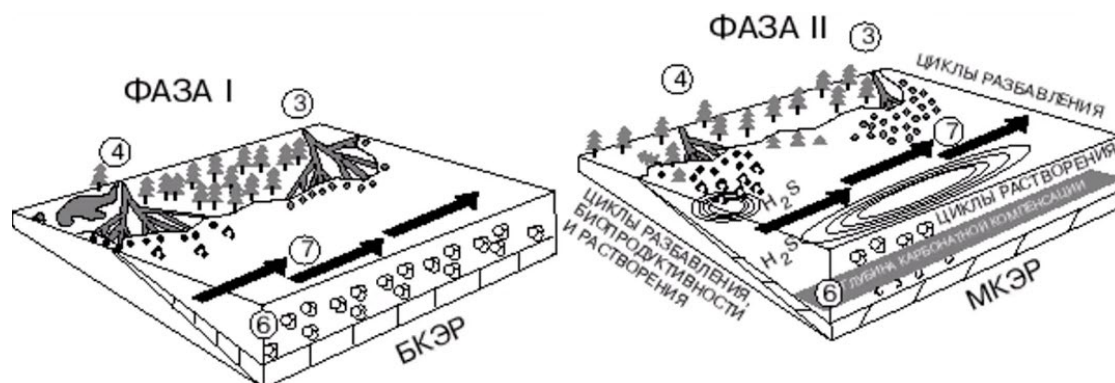


Рис. 5.13. Эвстатическая модель формирования карбонатных периодитов.

Условные обозначения приведены выше

Рассмотрим разрез верхнемеловых отложений карьера цементного завода «Большевик» г. Вольска Саратовской области (рис. 5.14). На рисунке 5.15 показаны различные петромагнитные анализы, проведенные по данному разрезу.

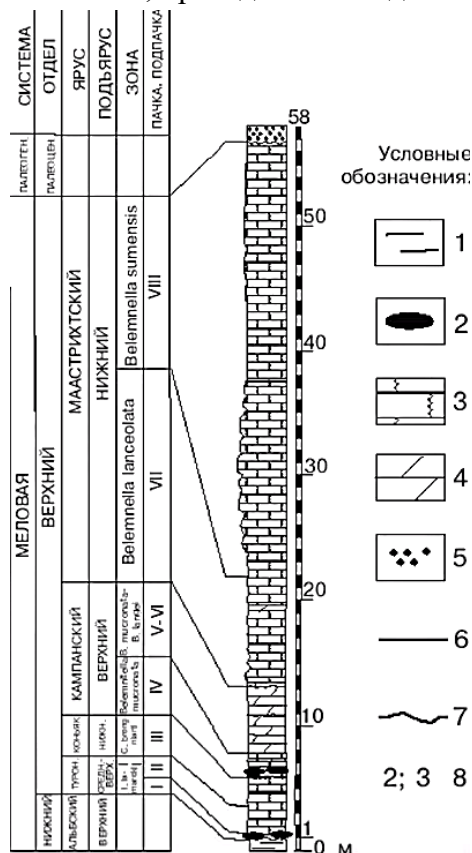


Рис. 5.14. Разрез верхнемеловых отложений карьера цементного завода «Большевик» г. Вольска Саратовской области. Условные обозначения: 1 – глины; 2 – фосфориты; 3 – писчий мел; 4 – мергели; 5 – пески; 6 – согласные стратиграфические границы; 7 – несогласные стратиграфические границы; 8 – тип ритмов, число ритмов

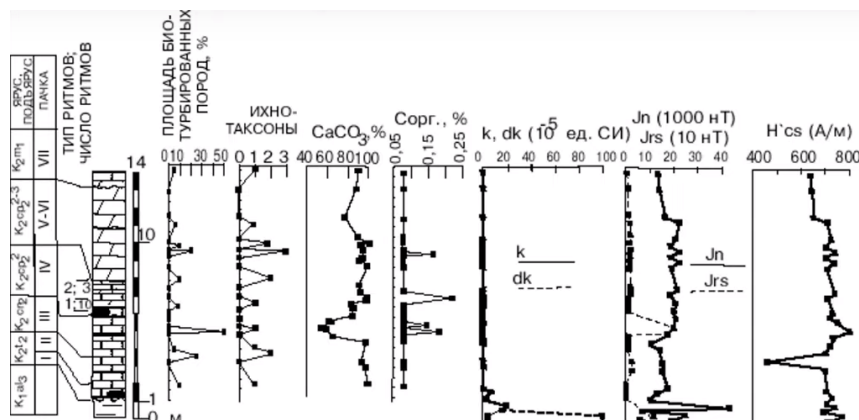


Рис. 5.15. Распределение площади биотурбированных пород, ихнотаксонов, карбоната кальция, органического углерода, магнитной восприимчивости и ее

прироста, естественной остаточной намагниченности, остаточной намагниченности насыщения и разрушающего поля остаточной намагниченности в альб-нижнемаастрихтских отложениях карьера цементного завода «Большевик» Вольска Саратовской области. Условные обозначения приведены выше

В некоторых местах наблюдается цикличность, в некоторых – нет. Необходимо проследить, как найденная цикличность проявляется в разрезе. Верхняя часть разреза визуально выглядит слабо цикличной (рис. 5.16), однако можно выделить отдельные пластовые циклиты. По некоторым параметрам изменений не наблюдается.

Вероятно, в верхней части разреза, где преобладают карбонаты, в большей степени влияли циклы биопродуктивности и вариации климата. Ниже по разрезу, вероятно, могли иметь свое влияние циклы разбавления и эвстатические вариации.

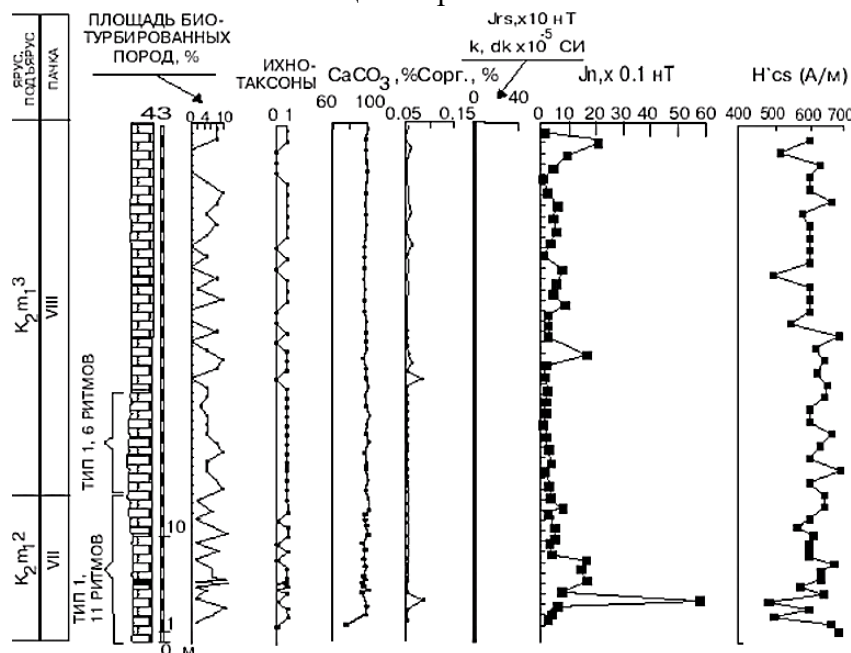


Рис. 5.16. Распределение площади биотурбированных пород, ихнотаксонов, карбоната кальция, органического углерода, магнитной восприимчивости и ее прироста, естественной остаточной намагниченности, остаточной намагниченности насыщения и разрушающего поля остаточной намагниченности в нижнемаастрихтских отложениях карьера цементного завода "Большевик" г. Вольска Саратовской области. Условные обозначения приведены выше

Лекция 6. Методика изучения керн и скважин с позиций секвентной стратиграфии

6.1. Методика анализа керн с позиций секвентной стратиграфии

Одна из основных проблем изучения скважин связана с неполным выходом керн. Применение циклического анализа осадочных толщ помогает достигать более точной корреляции. Кроме того, циклический анализ с позиции эвстатического изменения уровня Мирового океана помогает преодолеть такие проблемы.

На рисунке 6.1 показаны параметрические кривые, которые соответствуют кривым гамма-каротажа, собственного потенциала и кажущегося сопротивления. Различные отрезки этих кривых соответствуют трендам проградации, ретроградации, агградации, совместной проградации и ретроградации.

Методика исторического (секвентного) анализа керн скважин:

- 1) расчленение разреза на части и определение их условий накопления (анализа палеонтологических, седиментологических данных) с позиции трансгрессивно-регрессивных циклов;
- 2) корреляция данных п. 1 с результатами каротажа;
- 3) корреляция и анализ всех видов данных по всем скважинам.

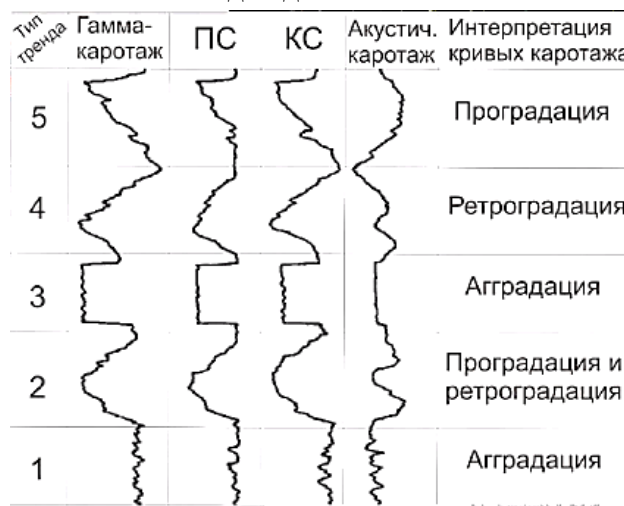


Рис. 6.1. Параметрические кривые

В работе 1993 года Ф. Робашински для разных системных трактов (трактов низкого стояния, трансгрессивной системы трактов, трактов высокого стояния) выделил ряд признаков (таблица 6.1), которые могут указывать на принадлежность данного интервала разреза к тому или иному системному тракту. Так, существуют некоторые признаки, которые характерны только для одного тракта: например, мощные пласты доминирующих мергелей на фоне подчиненных слоев глинистого известняка характерны для трактов высокого стояния; а редкие слои известняков присущи трансгрессивной системе трактов и др. Т.е. каждая обстановка осадконакопления характеризуется своим набором литологических, минералогических, структурно-текстурных признаков.

Таблица 6.1. Признаки для характеристики системы трактов (по Robaszynski et al., 1993 с изменениями)

Признак	Характеристика	THC	TCT	TBC
Особенности строения разреза	Множество пластов переслаивающихся известняков, редкие септарии	+++		
	Редкие слои известняков, часто с кальцисферами		+++	
	Мощные пласты доминирующих мергелей на фоне подчиненных слоев глинистого известняка			+++
Структура	Заполнение каналов и консендиментационное оползание	+++	+	+
	Биотурбация, «хардграунды»	++	++++	+
Литология	Детритовые биокластические известняки	++++	++	+
	Пелагические высоко карбонатные, глинистые, известняки и известковистые мергели, мергели	+	+++	+
	Глинистые мергели, глины	+	++	+++++
Цвет	Черный (аноксия, пирит, высокое содержание C_{org})		++	
	Охра (измененный микритовый доломит)	+	++	+
Фауна	Аммониты, иноцерамы, планктонные фораминиферы, выполнение вышележащими осадками ходов	++	++++	++
	Пелециподы, иглокожие, гастроподы в танатоценозе	+	+	+++
	Перемещенные рудисты	++		+
	Уровни вымирания	++		+
	Уровни эволюционного появления	+++	++	
	Миграция	+	++	+
	Частые кальцисферы	++		
	Биокласты и кальцисферы	++	+	+
	Частые плактонные фораминиферы		++	+
	Бентосные фораминиферы с карбонатным скелетом	++	+	+
	Агглютинирующие бентосные фораминиферы	++		
Минералы	Глауконит		++	

	Фосфорит		++	
Закономерности распределения обломочной части	Огрубление вверх по разрезу		++	
Текстура	Мадстоун-Вакстоун	++	+	+
	Пакстоун-Грейнстоун	++	+	+
Микрофауна (наннофоссилии)	Наннофоссилии с карбонатным скелетом	++	+	+

Примечание: крестами показана частота встречаемости признака; при работе на обнажении изучаются признаки №1-5, признаки №5-9 исследуются на обнажении при помощи лупы и в камеральных условиях при помощи микроскопа и бинокюля.

На рисунке 6.2 Ф. Робашински изобразил геологический разрез в Тунисе, рядом он показал кривую эвстатического уровня и выделил секвенции (1-6) и тракты. Разрез – циклический.

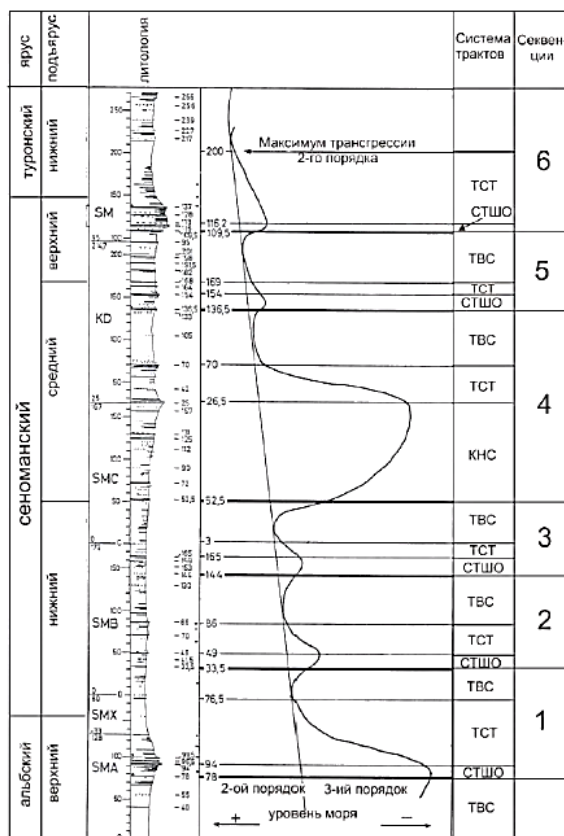


Рис. 6.2. Геологический разрез, кривая изменения эвстатического уровня, секвенции

Анализ состава палеоценоза

Очень важно анализировать состав фауны, флоры, ископаемых организмов, беспозвоночных (рис. 6.3), так как их образ жизни может показать в каких условиях они существовали:

- головоногие моллюски обитали в пределах шельфа, крайнего мелководья;
- морские ежи, иглокожие – наиболее глубоководные.

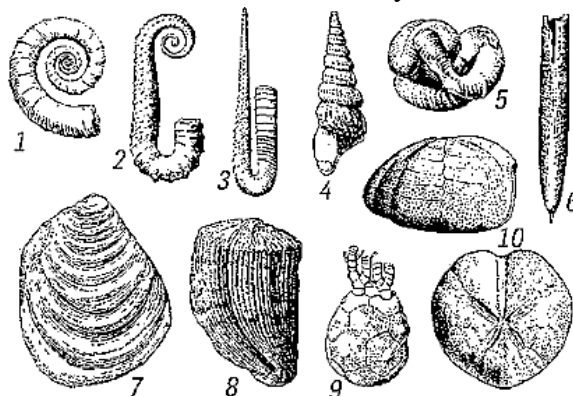


Рис. 6.3. Примеры некоторых руководящих форм верхнего мела: 1-5 – аммониты, 6 – белемнит; 7 – иноцерам; 8 – радист; 9 – планктонная лилия; 10 – морской еж

Использование таких признаков помогает ученому понять обстановку осадконакопления (мелководные или более глубоководные отложения). Например, ряд признаков помог реконструировать облик позднемеловых бассейнов.

Пример: применение биостратиграфического событийно-палеонтологического метода позволяет выделить в разрезе Нижнесаксонской впадины (рис. 6.4) отдельные уровни распространения мелководных и более глубоководных форм. Далее при анализе разреза можно выделить секвенции и системные тракты.

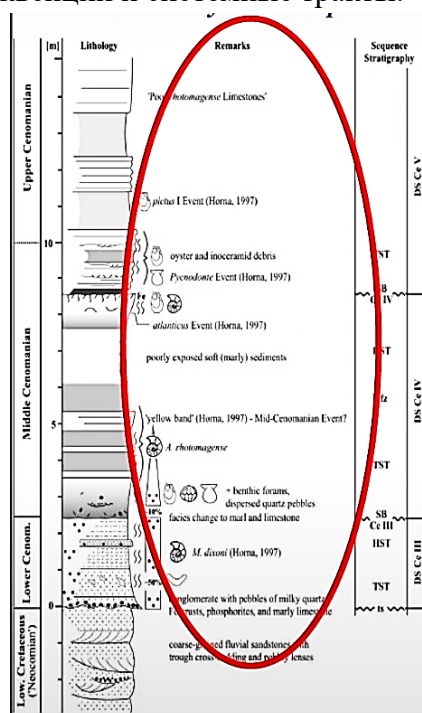


Рис. 6.4. Пример биостратиграфическо-событийно-палеоэкологического подхода к интерпретации разреза нижнесаксонской впадины

Анализ керна

При анализе керна скважин важно использовать комплексный подход. Не всегда тот керн, который наблюдает геолог, является отражением первичных структурных, текстурных признаков (минерального состава и др.). Работа с керном предполагает три этапа:

- 1) Детальное седиментологическое описание керна + «геофизика».
- 2) Анализ: вид, выход.
- 3) Обратит внимание: «мастерство» буровой бригады, палеооползни, элювий, карст.

В зависимости от способа бурения и квалификации буровой бригады облик керна может меняться: массив крепких, прочных известняков может быть поднят в виде щебня без заполнителя или в муке, что ошибочно может быть проинтерпретировано как результат карста (рис. 6.5). В результате, одно и то же в нескольких скважинах может выглядеть по-разному.

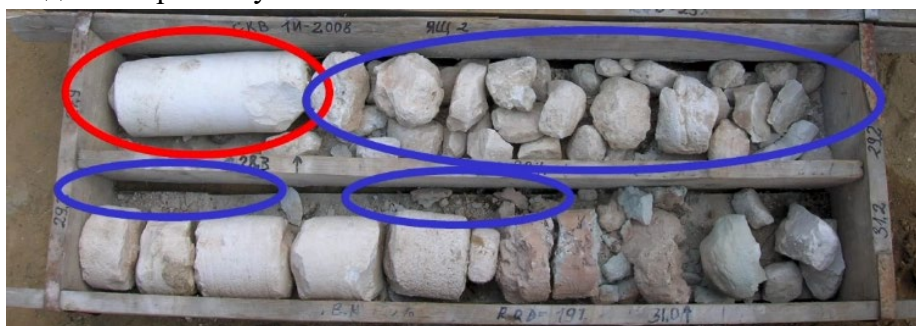


Рис. 6.5. Керн

Пример (рис.6.6): суглинок (выделен синим кругом) – в одном случае он в нормальном состоянии, в другом случае – растерт в пыль; глинистый мергель (выделен красным кругом) может быть растерт или представлять собой мелкие части, или быть полноценным плотным образцом. Так происходит из-за неправильного бурения.



Рис. 6.6. Пример суглинка и глинистого мергеля в разных формах

При периодическом подергивании буровым мастером коронки происходит заполнение межзернового пространства буровым раствором, шламом, что приводит к образованию ложной цикличной толщи чередования коренной породы с тонкими глинистыми прослоями искусственного происхождения (рис. 6.7). Черным показаны интервалы доломитизированной глины (первичная цикличность).



Рис. 6.7. Керн. Воскресенская свита

Ложную цикличность часто необходимо отличать от первичной цикличности, имеющей природное происхождение. Первичная цикличность может быть связана с накоплением разных слоев, которые чередуются в разрезе. Цикличность может быть и дигенетической: изначально осадок не цикличный, но по мере накопления осадков происходило давление на нижележащие, вода отжималась и поднималась наверх: когда концентрация растворенных минералов достигала критических значений, они выпадали, раствор становился слабоминерализованным. Далее процесс повторялся.

На рисунке 6.8 показан пример керна, полученного при некорректном способе бурения. При описании разреза необходимо исключать смесь бурового раствора.



Рис. 6.8. Смесь бурового раствора в керне

Современный уровень изучения скважин – высокий: по скважинам делается большое количество каротажных, аналитических исследований. В результате можно получать циклические кривые (рис. 6.9), выделять реперные уровни и использовать в циклостратиграфической корреляции. Анализ кривых может производиться и с позиции секвентной стратиграфии.

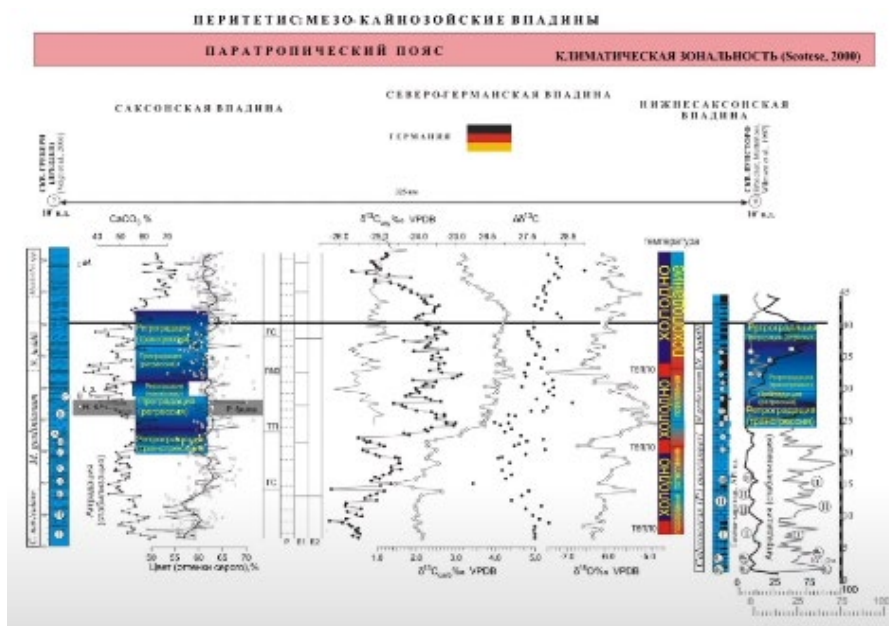


Рис. 6.9. Циклические кривые

На рисунке 6.10 показан пример секвенций для скважин, расположенных в разных местах. Разрезы представлены по-разному и вещественно, и по каротажным кривым. Поэтому важно понимать, в какой части структуры пробурена скважина и проведены анализы.

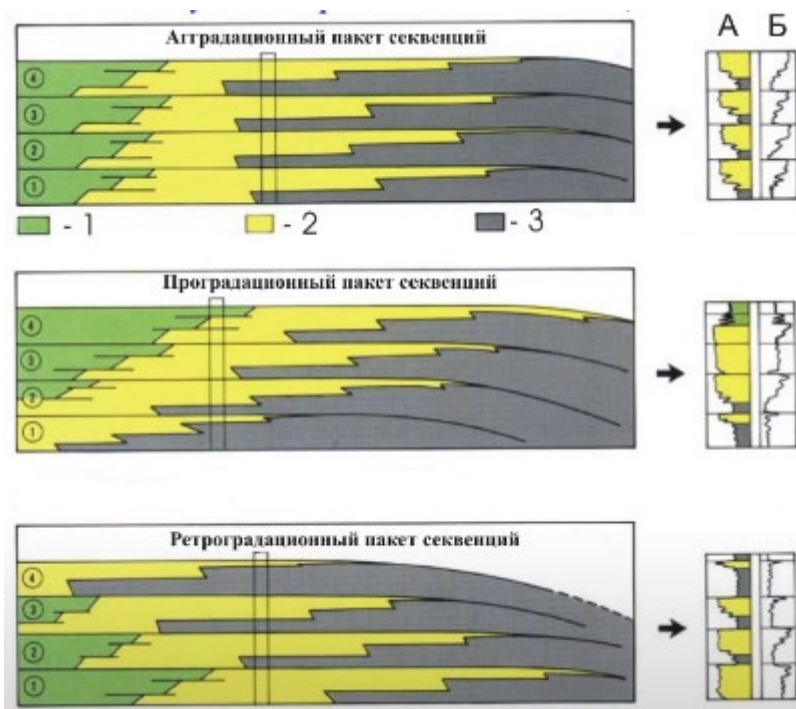


Рис. 6.10. 1 – мелководные песчаники, 2 – песчаники и мадстоуны переходной зоны, 3 – мадстоуны переходного моря, а - ПС; б - КС

Иногда при анализе каротажных кривых (рис. 6.10) можно выделить общие уровни, отдельные минимумы и максимумы. Циклические вариации можно использовать при циклостратиграфическом расчленении / корреляции. В центре можно выделить врезанную долину – комплекс отложений, который формировался в условиях тракта низкого стояния. Причем, ТНС наблюдается только в двух скважинах в центре, в остальных – нет. Поэтому при анализе каротажных диаграмм необходимо учитывать перерывы в осадконакоплении или иную палеогеографическую (седиментационную) обстановку.

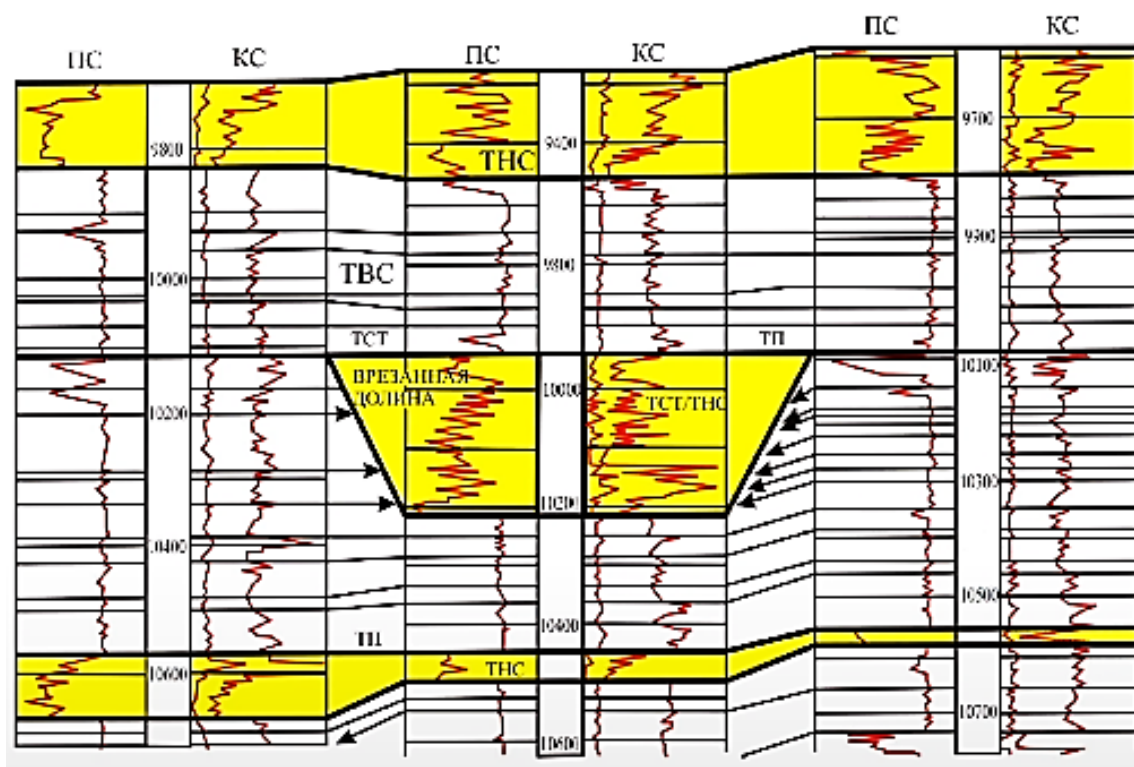
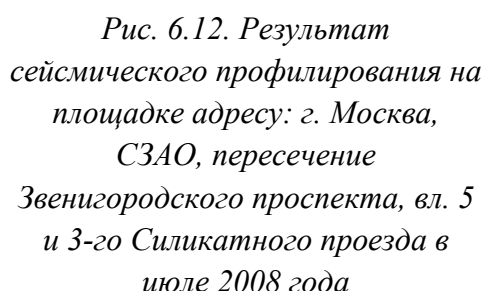


Рис. 6.11. Анализ трендов на профиле по ряду скважин

Существуют разные комплексы каротажных и геофизических исследований, которые помогают определить геологическую картину межскважинного пространства (рис. 6.12):

- 1) Обводненность толщи: «исчезновение» интервалов разреза, плывуны, выход «керна» = 0.
- 2) Одни и те же пески выше и ниже УГВ будут иметь разные скорости.

Для проведения границ пластов между скважинами необходимо проводить дополнительные исследования. Так по электроразведке (рис. 6.13) и опесчаненные глины, и глины выделяются одним горизонтом, поскольку характеризуются сопоставимыми удельными сопротивлениями (Ом·м).



В одиночной скважине или в небольшой группе скважин возможно лишь выделить системы трактов и приблизительно подсчитать секвенции (рис 6.14).



Пример 1

91

каменноугольных отложений (рис. 6.15). На разрез наложена серия скважин: синим цветом показаны водоносные уровни. Сверху – мощный чехол четвертичных отложений, аллювий, ниже – юрские отложения, еще ниже – каменноугольные отложения. В отложениях каменноугольного возраста наблюдается чередование известняков и глин.

В целом, в разрезе наблюдается цикличность на уровне отдельных свит и подсвит. Внутри каждой свиты можно выделить цикличность более мелкого порядка, секвентные тракты, циклиты.

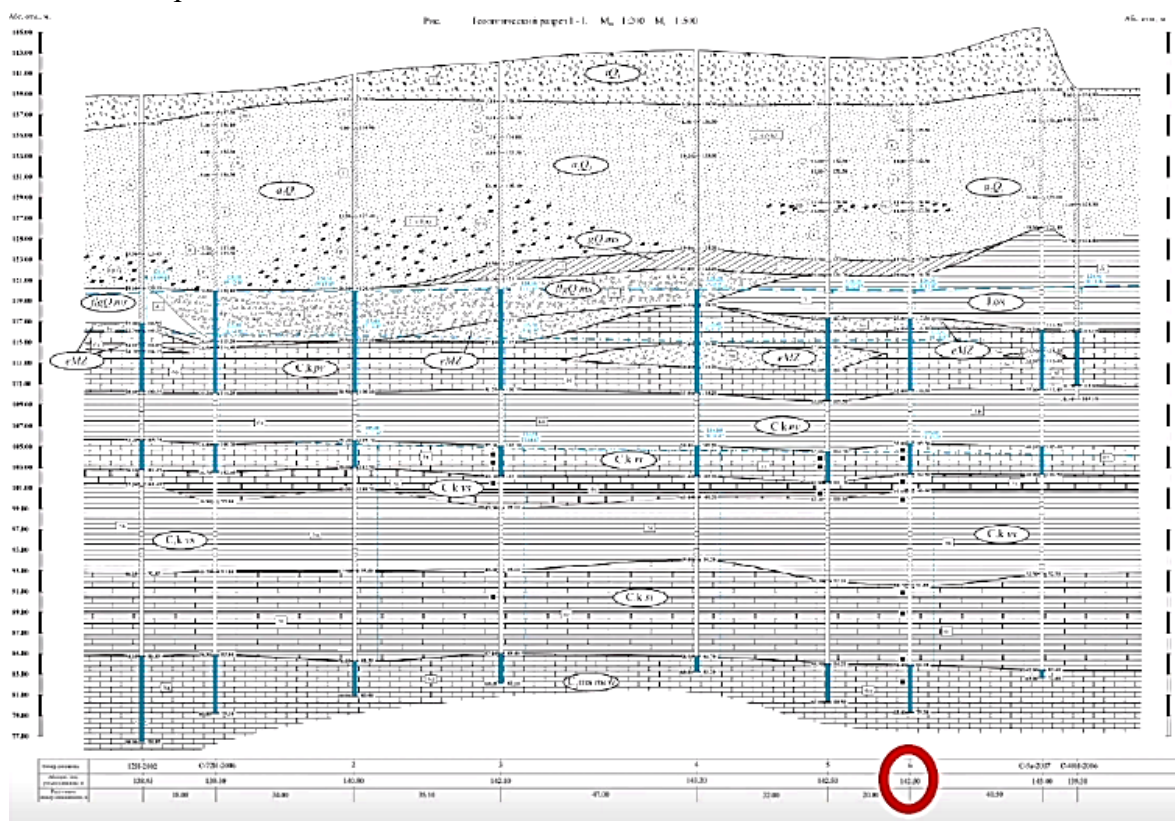


Рис. 6.15. Геологический разрез на ул. Кульнева, 2

На рисунке 6.16 показана глинисто-доломит-известковая пачка. Нож протыкает глину и царапает доломит (помечен крестом).

Анализ трансгрессивного – регрессивного тренда (мощность и доля составных элементов) показал, что в данном случае тренд – *Sea Level Change* (эвстатика): тренды видны на уровне подсвит и внутри подсвит (рис 6.17). Каждая свита – это секвенция.

Важно понимать, что если не хранить керн в специальных условиях, то он может замерзать и покрываться «зеленой глазурью».



Рис. 6.16. Глинисто-доломит-известковая пачка
воскресенской свиты $C_3 k sv$ –
ТСТ и ТВС-2



Рис. 6.17. Глинисто-доломит-известковая пачка
воскресенской подсвиты $C_3 k sv$ – ТСТ и ТВС-2,
суворовская подсвита

Пример 2

Рассмотрим пример №2: ул. Зорге, вл.9. По результатам исследований был получен разрез юрских и верхнекаменноугольных отложений (рис. 6.18).



Рис. 6.18. Геологический разрез по адресу: ул. Зорге, вл. 9

В разрезе присутствуют:

- мощные четвертичные отложения;

- юрская палеодолина, представленная глинами и песками москворецкой толщи;
- элювий, палеооползень – комплекс отложений, которые в результате древнего оползня, предположительно, в поздне-каменноугольное / триасовое время были деформированы и съехали;
- массив коренных пород (выявлены карстовые зоны).

Черным цветом отмечены места провала бурового инструмента.

Примечание. Глубина «проникновения» ингрессионных юрских кудиновских глин может быть существенно глубже границы юрских отложений. Отложения юрских глин в каменноугольном известняке могли появиться в результате карстовых процессов.

По данным гамма-каротажа глина характеризуется максимальными значениями. Глина имеет большую радиоактивность, так как ее кристаллическая структура позволяет встраиваться другим компонентам. Рассмотрим керн, полученные в результате бурения (рис 6.19 – 6.23):

- верхняя часть – кудиновские глины;
- отложения палеооползня;
- эллювиальный горизонт;
- массив коренных пород.

Следует отличать результат бурения и первично цикличную толщу от действительно первично дезинтегрированных пород!

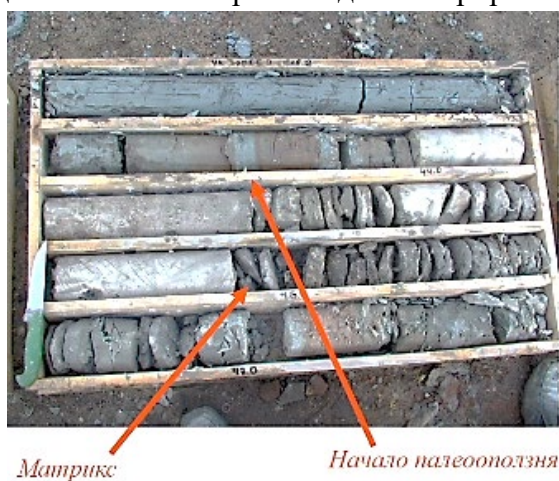


Рис. 6.19. Керн. Карбонатный разрез, (ул. Зорге, вл. 9)



Рис. 6.20. Керн. Карбонатный разрез, (ул. Зорге, вл. 9)

Сильно закарстованный карбонатный массив напоминает собой сыр. Полости могут быть пустыми или быть заполнены. Карст – это риск аварийной скважины, провала колонны и бурового инструмента.

В некоторых частях разреза (рис. 6.22) можно заметить крайне низкий выход керна. Иногда в карстовых полостях можно проследить ураниит. Максимумы на кривой гамма-каротажа могут совпадать с карстовыми полостями.



Рис. 6.21. Керн. Карбонатный разрез,
(ул. Зорге, вл. 9)

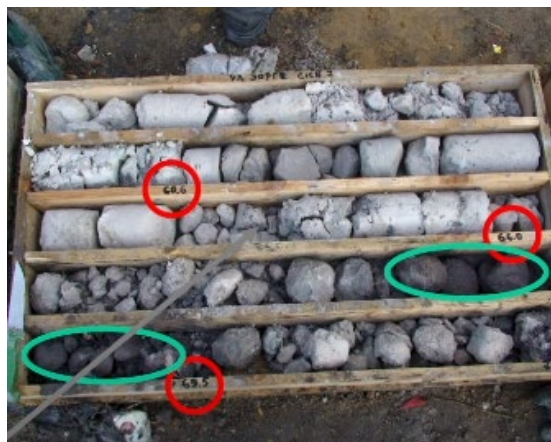


Рис. 6.22. Керн. Карбонатный разрез,
(ул. Зорге, вл. 9)

На рисунке 6.23 показан пример заполнения карстовых полостей.

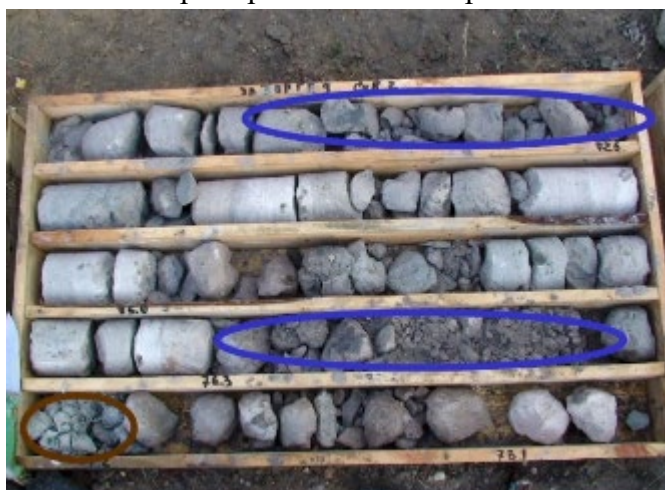


Рис. 6.23. Керн. Карбонатный разрез, (ул. Зорге, вл. 9)

Каждая порода характеризуется своим набором минералов. В свою очередь, минералы имеют разные физические свойства. Все свойства отражаются на каротажной кривой, которая позволяет поднять / опустить границы.

Для того, чтобы получить данные между скважинами, используется межскважинное просвечивание (рис. 6.24, 6.25). В карстовых полостях наблюдаются пониженные значения скоростей. Отдельные полости прослеживаются между скважинами и их можно объединить. Исходя из наличия и границ зон пониженных скоростей корректируются уровни.

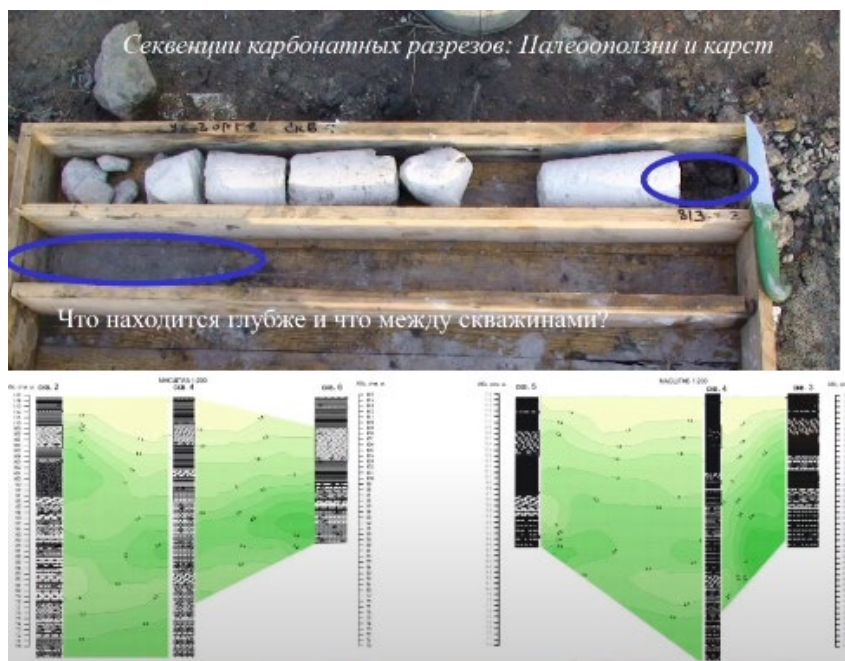


Рис. 6.24. Межскважинное сейсмоакустическое просвечивание

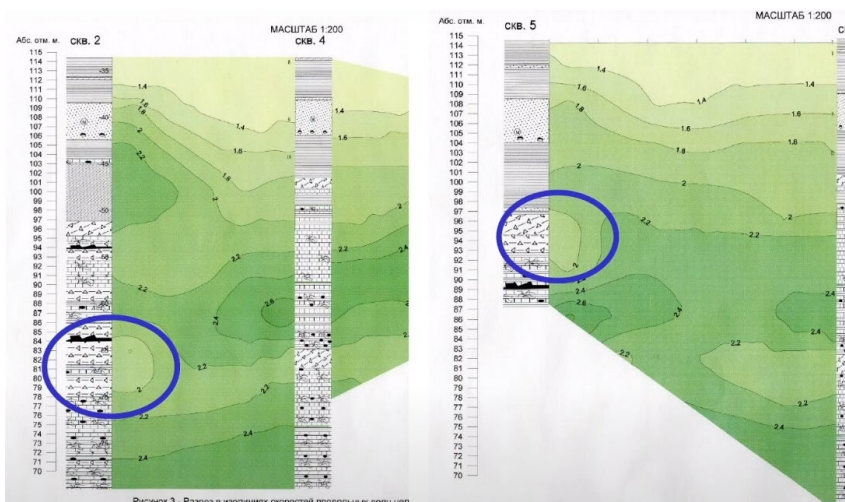


Рис. 6.25. Межскважинное сейсмоакустическое просвечивание

Выводы

Выводы:

1. При интерпретации керна с позиций секвентной стратиграфии необходимо внимательно оценивать трансгрессивно-регрессивные тренды и типы границ (несогласий).
2. Одни и те же породы могут характеризовать разные системы трактов.
3. Необходимо отличать «истинную» геологию от ошибок буровой бригады и карст, (палео)оползни, элювий – от систем трактов.
4. Не всегда геофизические или иные виды исследования могут дать однозначный ответ на возникший вопрос.



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
Л Е К Ц И И У Ч Е Н Ы Х М Г У