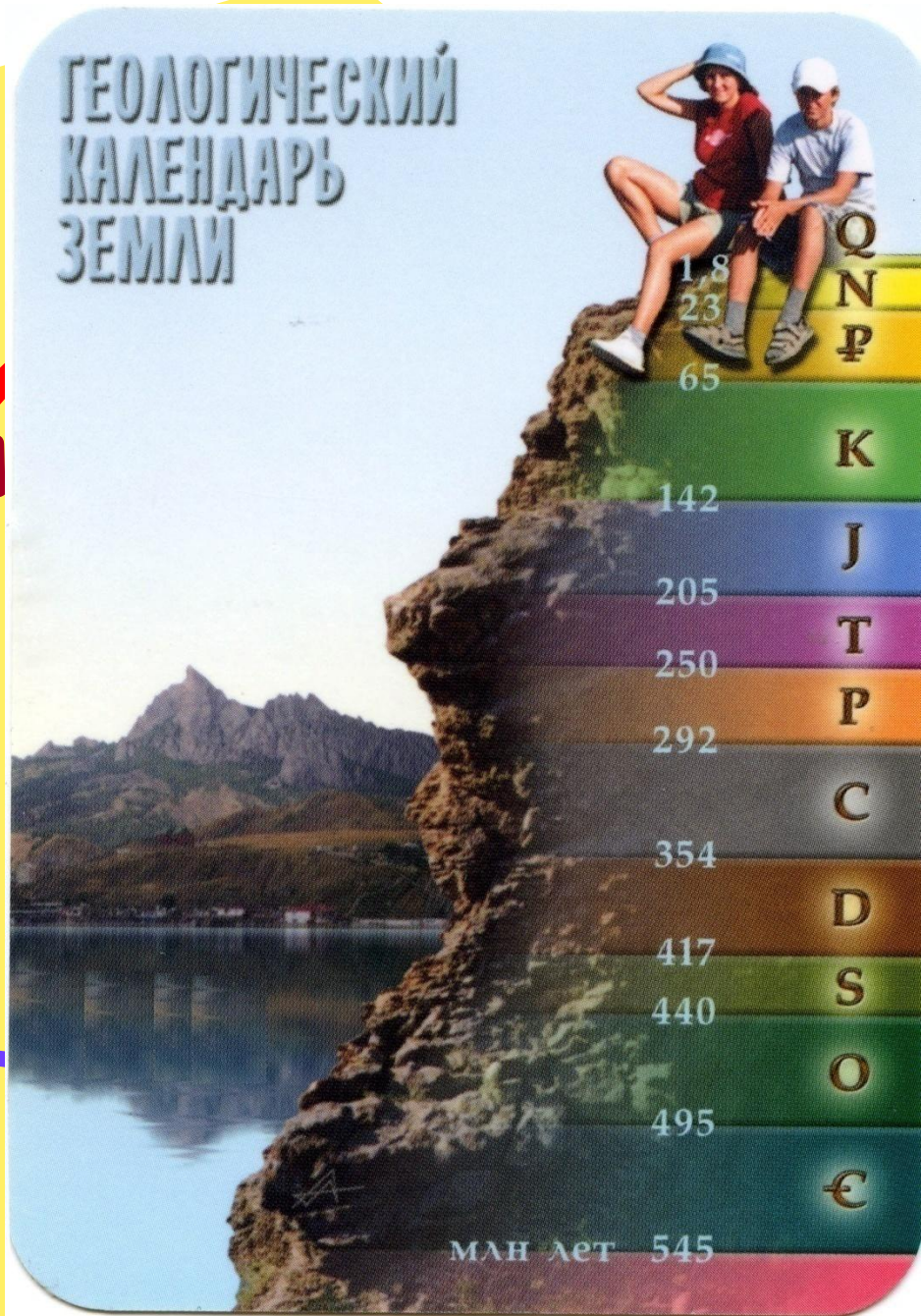




# Основные понятия и методы исторической геологии



# Геохронология и стратиграфия

# Самые длительные временные интервалы в геохронологии — эоны (от греч. *aion* - век, эпоха).

- Выделяют такие эоны, как:
- **криптозой** (от греч. **cryptos** - скрытый и **zoe** — жизнь), охватывающий весь докембрий, в отложениях которого нет остатков скелетной фауны; длился 3-5 млрд лет,
- **фанерозой** (от греч. **phaneros** - явный, **zoe** — жизнь) — от начала кембрия до нашего времени, с богатой органической жизнью, в том числе скелетной фауной. Длился 0,57 млрд лет.



## ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

ЭРА (группа)	Длительность (млн лет)	ПЕРИОД (система)	Длительность (млн лет)
КАЙНО- ЗОЙСКАЯ KZ	около 70	Четвертичный - Q	0.75
		Неогеновый - N	25
		Палеогеновый - P	41
МЕЗО- ЗОЙСКАЯ MZ	165	Меловой - K	70
		Юрский - J	55-58
		Триасовый - T	40-45
ПАЛЕО- ЗОЙСКАЯ PZ	330	Пермский - P	45
		Каменноугольный - C	65-70
		Девонский - D	55-60
		Силурийский - S	35
		Ордовикский - O	60-70
		Кембрийский - E	70-80
ПРОТЕРОЗОЙСКАЯ ЭРА - PR			2100 ± 100
АРХЕЙСКАЯ ЭРА - AR			более 1800

**1) Добиогенный этап – Ar-Pr**

Продолжительность около 3 млрд. лет

**2) Биогенный этап – Pz, Mz, Kz (кроме последних 50 тыс. лет)**

**3) Антропогеновый этап – 50-40 тыс. л.н.**

# Этапы развития географической

## оболочки

Этап	Геологические рамки	Длительность, лет	Основные события
Добиогенный	Архейская и протерозойская эры 3700-570 млн лет назад	3000 млн	Живые организмы принимали слабое участие в формировании географической оболочки
Биогенный	Фанерозойский зон (палеозойская, мезозойская и большая часть кайнозойской эры) 570 млн - 40 тыс. лет назад	Около 570 млн	Органическая жизнь - ведущий фактор в развитии географической оболочки. В конце периода появляется человек
Антропогенный	С конца кайнозойской эры до наших дней 40 тыс. лет назад - наши дни	40 тыс.	Начало этапа совпадает с появлением современного человека ( <i>Homo sapiens</i> ). Человек начинает играть ведущую роль в развитии географической оболочки

1. **Историко-геологическое направление** рассматривает развитие геологических событий во времени и в пространстве.
2. **Стратиграфия** - фундамент для всех геологических построений, решает вопросы эволюции органического мира, палеогеографических реконструкций и тектонического развития.
3. Для выяснения возраста в геологии существуют два различных направления: **относительное и абсолютное** геологическое летоисчисление (геохронология).

**Относительное** - определяет **возраст** геологических объектов и последовательность их образования стратиграфическими методами

**Абсолютное** - устанавливает **время** возникновения горных пород, проявления (и продолжительность) геологических процессов в астрономических единицах (годах) радиологическими методами

# Относительная геохронология

## Методы стратиграфии

**палеонтологические  
(биостратиграфические)**

1. руководящих ископаемых
2. комплексного анализа
3. количественный  
(процентно-статистический)
4. филогенетический
5. палеоэкологический.

**непалеонтологические**

1. литологические
2. геофизические
3. палеомагнитный
4. общегеологические
5. ритмостратиграфический
6. экостратиграфический
7. климатостратиграфический





# Палеонтологические (биостратиграфические методы)



**В основе** палеонтологических методов лежит **закон Долло** о необратимости видов «Организм никогда не сможет вернуться к прежнему виду, даже если он окажется в обстановке, близкой к предковой»

**Ч. Дарвин** «Вид или другой таксон существует во времени непрерывно и раз исчезнув, не может появиться вновь»

Одинаковые условия могут привести к внешнему морфологическому сходству представителей разных типов или классов - явление **конвергенции**

**Рыбы** → **ихтиозавры** → **дельфины**

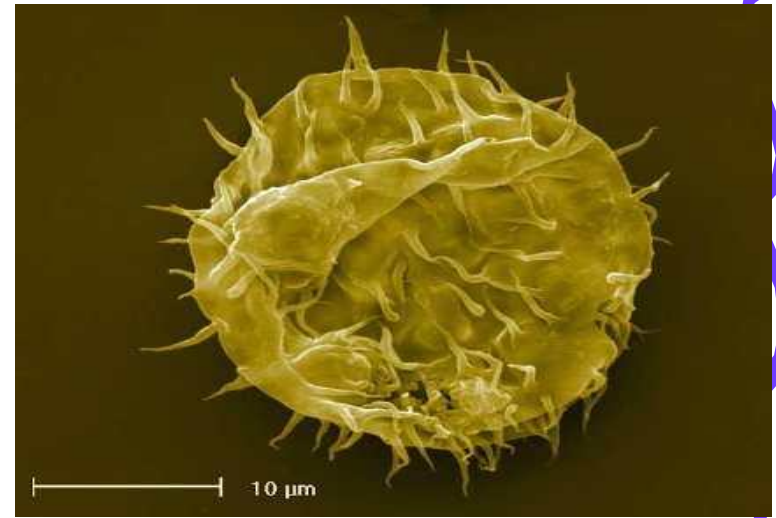
**Кораллы** (кишечнополостные) → **рудисты** (бивалвии-двустворки)



Огромное значение для биостратиграфических методов имеют микроскопические органические остатки (**микрофоссилии**) животного, растительного происхождения и даже неясного систематического положения. К микрофоссилиям относятся раковины и скелеты мелких животных (фораминиферы, радиолярии, остракоды), некоторые одноклеточные водоросли (кокколитофорида, диатомовые и др.), споры и пыльца растений, мелкие фрагменты скелета (конодонты, сколекодонты, чешуйки рыб), спороморфные и другие биогенные образования.



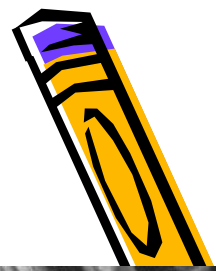
**Конодонт** - микроскопические (0.1 - 1 мм) остатки челюстного аппарата вымершей группы планктонных морских животных, родственных хордовым.



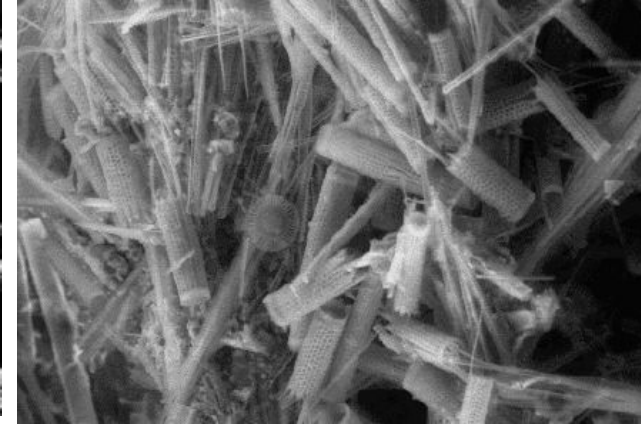
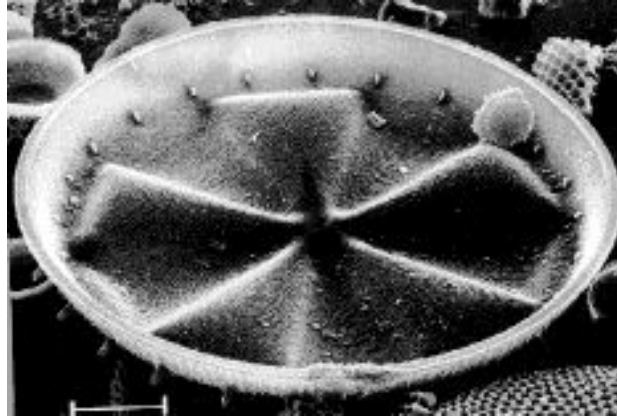
**Акритархи** - возможно, цисты жгутиконосцев - динофлагеллят. Встречаются с протерозоя по плейстоцен.



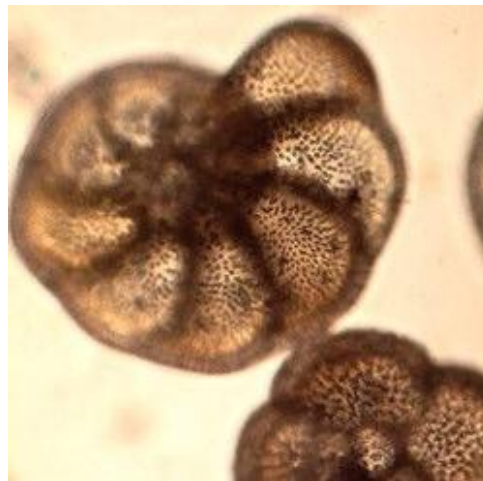
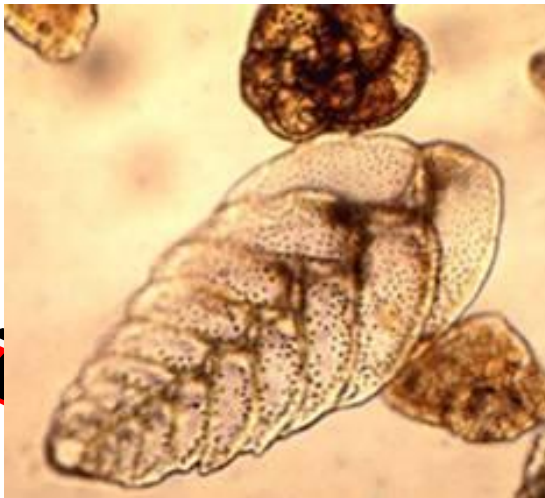
# Микрофоссилии



**Кокколитофориды** - планктонные жгутиконосцы. Из их скелетиков сделан писчий мел.



**Диатомеи** - одноклеточные водоросли с изящной двусторчатой раковинкой.



**Фораминиферы** - одни из самых массовых и разнообразных ископаемых простейших.

# Метод руководящих ископаемых (однообразными считаются отложения с одинаковыми руководящими ископаемыми организмами)



**Руководящие ископаемые** - это органические остатки, принадлежащие группам, существовавшим короткий промежуток времени и успевшим за этот срок расселиться на большой территории и в большом количестве.

**Для них характерно широкое горизонтальное и узкое вертикальное распространение, большая частота встречаемости и легкая распознаваемость.**

Так, брахиоподы *Proconchidium muensteri* характерны для ашгильского яруса верхнего ордовика, конодонты *Palmatolepis gigas* для франского яруса верхнего девона, аммонит *Cadoceras elatmae* характерен для келловейского яруса юры.

Руководящими могут быть **рода и некоторые крупные систематические группы (семейства, отряды, классы).**

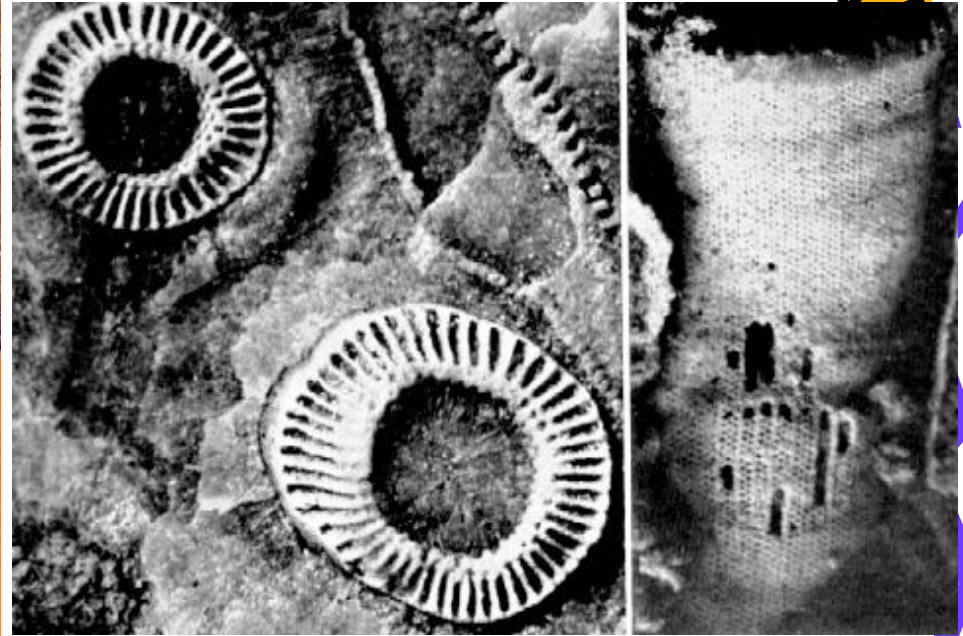
**Так, швагерини (фораминиферы) жили только в ранней перми, а цератиты (аммоноидеи) - только в конце перми и в триасе.**



**а археоциаты – только в раннем кембрии**

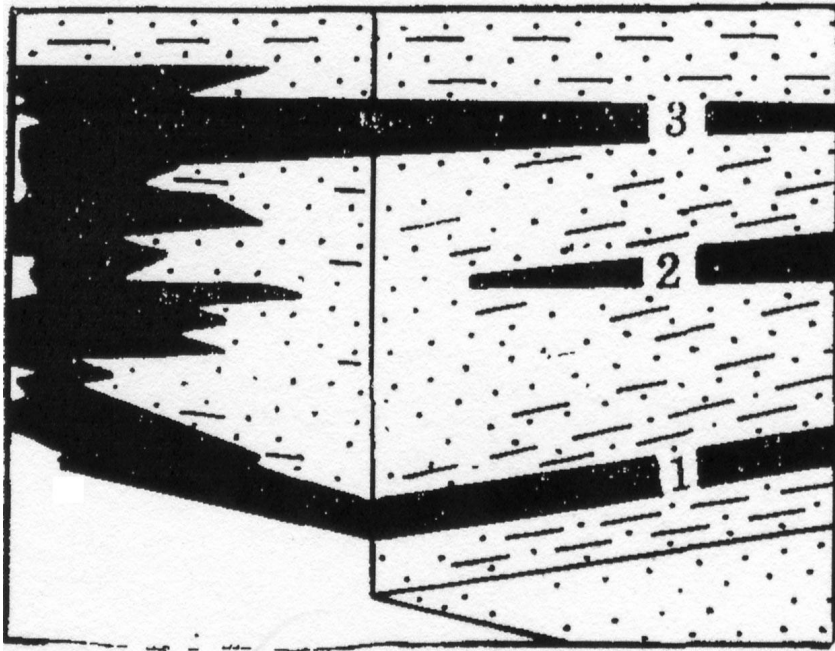


**Археоциатовый известняк из  
нижнего кембрия Сибири**



**Кубки археоциат в поперечном  
разрезе (слева) и сбоку**



**б****а**

Схема, отражающая появление **рекуррентных комплексов** фауны в разновозрастных, но литологических сходных отложениях

**а** - комплекс фауны в черных сланцах (слой 1), повторяющихся без существенных изменений в слоях 2 и 3;

**б** - непрерывное накопление черных сланцев в условиях многократного перемещения зоны седиментации.

Однако в методе руководящих организмов имеются особенности:

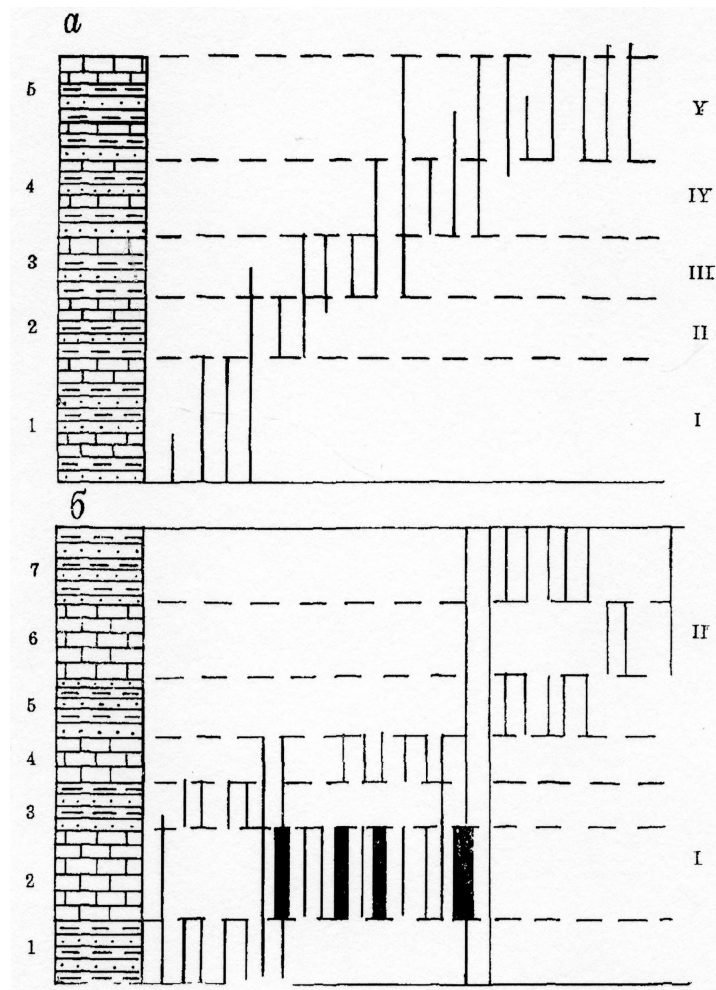
1. **Формы-космополиты** (наиболее широкое распространение) и **формы-эндемики** (локальное распространение)
2. Вид появляется в одном месте, затем расселяется (т.е. **миграция стратиграфического уровня**).
3. Явление **рекурренции** - нахождение одинаковых руководящих форм на разных стратиграфических уровнях (определяется миграцией организмов в благоприятные условия с ухудшением первоначальных).



# Метод комплексного анализа



1. Выяснение распределения всех окаменелостей в разрезах, установление смены комплексов и прослеживании выделенных комплексов от разреза к разрезу.
2. Метод хорошо иллюстрируется на графиках.
3. Комплекс называется по типичному виду (*вид-индекс*).
4. Этот метод позволяет установить естественные рубежи смены фауны и флоры.
5. При его применении также необходимо анализировать фациальные особенности разреза.



В единой толще **а** выделяют 5 палеокомплексов. В толще **б** - 7 пачек имеют собственный комплекс. Имеются повторения в пачках 1 и 3, 2 и 4, 5 и 7, связанные близостью фаций. В разрезе присутствуют 2 палеокомплекса. I, II и I-V - палеонтологические сообщества



# Количественные методы корреляции



Заключаются в использовании математического аппарата для анализа палеонтологических комплексов.

**Процентно-статистический метод** был введен в стратиграфию Ч.Лайелем.

*В наипростейшей форме метод состоит в сравнении изучаемого слоя со слоями опорного разреза по содержанию общих окаменелостей.*

*Сопоставляют слои по наибольшему содержанию общих видов (по специально разработанным коэффициентам сходства).*

Количественные методы носят формальный характер; они применяются в комплексе с другими методами, так как одновозрастные, но разнофациальные комплексы могут иметь мало общих форм.

Эталонный  
разрез



Изученный  
разрез



5% видов  
слоя А;  
15% видов  
слоя Б;  
**50% видов  
слоя В**  
18% видов  
слоя Г

# Филогенетический метод (на основании смены во времени родственных организмов по принципу эволюционного развития).



1. Основывается на принципах эволюционного развития (так в истории развития аммоноидей - Pz гониатиты с простой перегородочной линией сменяются в Mz аммонитами с очень сложной лопастной линией).
2. Важно выяснение филогенеза конкретной родственной группы, т.е. установление момента появления данных организмов, сколько времени они существовали, кто и какие были их предки, кто стали потомками и как они в свою очередь развивались.
3. Родственные связи можно изобразить в виде схемы филогенетических взаимоотношений.
4. При расчленении разрезов особое внимание следует обратить на момент появления новых видов, что позволяет определять границы выделяемых стратиграфических подразделений.

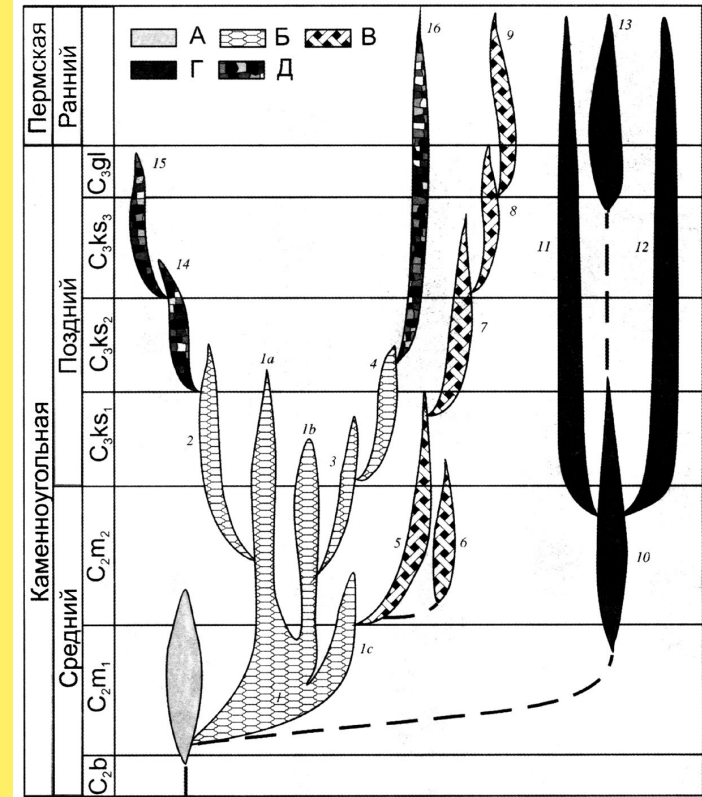


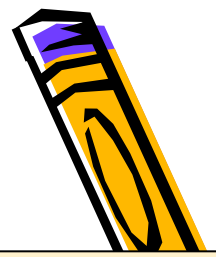
Схема филогенетического развития некоторых фузулиноид (по Ремизова, 2004)

A-Г - отряд *Fusulimda*: A — семейство *Profusulinellidae*; Б, В, Г - семейство *Fusulinellidae* (Б - подсемейство *Fusulinellinae*, В - подсемейство *Wedekindellininae*, Г - подсемейство *Pulchrellinae*); Д - отряд *Schwagerinidcr*, 1-16 - роды: 1 - *Fusulinella* (1a - группа *F. bocki*; 1b - группа *F. schwagerinoides*; 1c - группа *F. colania*); 2 - *Protriticites*; 3 - *Praeobsoletes*; 4 - *Obsoletes*; 5 - *Wedekindellina*; 6 - *Parawedekindellina*; 7 - *Eowaeringella*; 8 - *Waeringella*; 9 - *Thompsonella*; 10 - *Pulchrella*; 11 - *Kanmeraiia*; 12 - *Usvaella*; 13 - *Pseudofusulinella*; 14 - *Montiparus*; 15 - *Rauserites*; 16 - *Triticites*.



# Палеоэкологический метод

(разработан Р.Ф.Геккером)

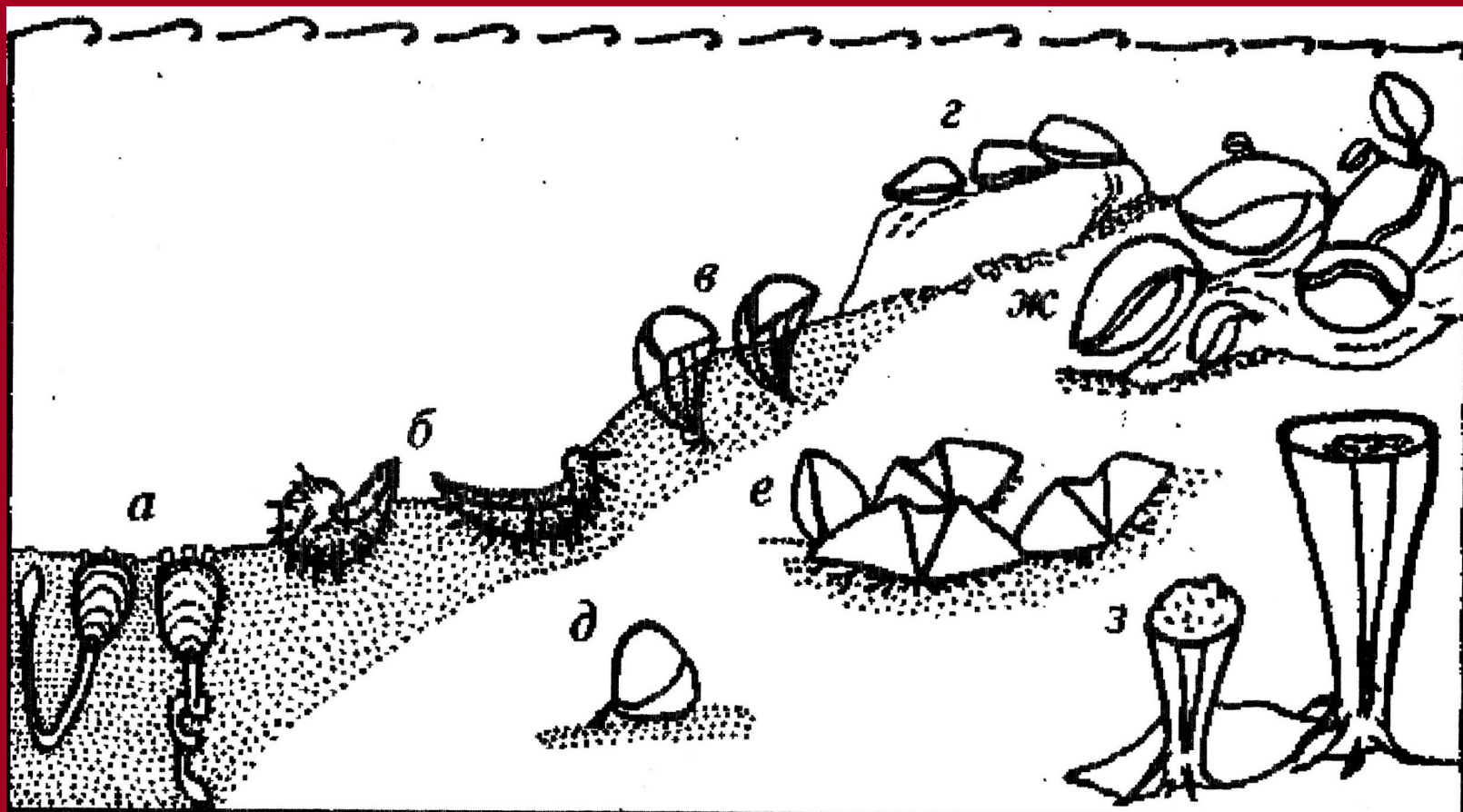


1. Палеоэкологический метод позволяет проследить постепенную смену фациальных фаунистических комплексов в пространстве и сопоставить разнофациальные отложения.
2. Изучает связи организма с окружающей его как органической, так и неорганической средой обитания. Фациальные изменения приводят к тому, что одновозрастные фаунистические комплексы резко различаются, и наоборот, при сходной фациальной обстановке создаются близкие сообщества организмов, хотя они имеют различный возраст.

Современная биостратиграфия стремится использовать все палеонтологические методы для более детального расчленения и корреляции пород и определения их возраста.



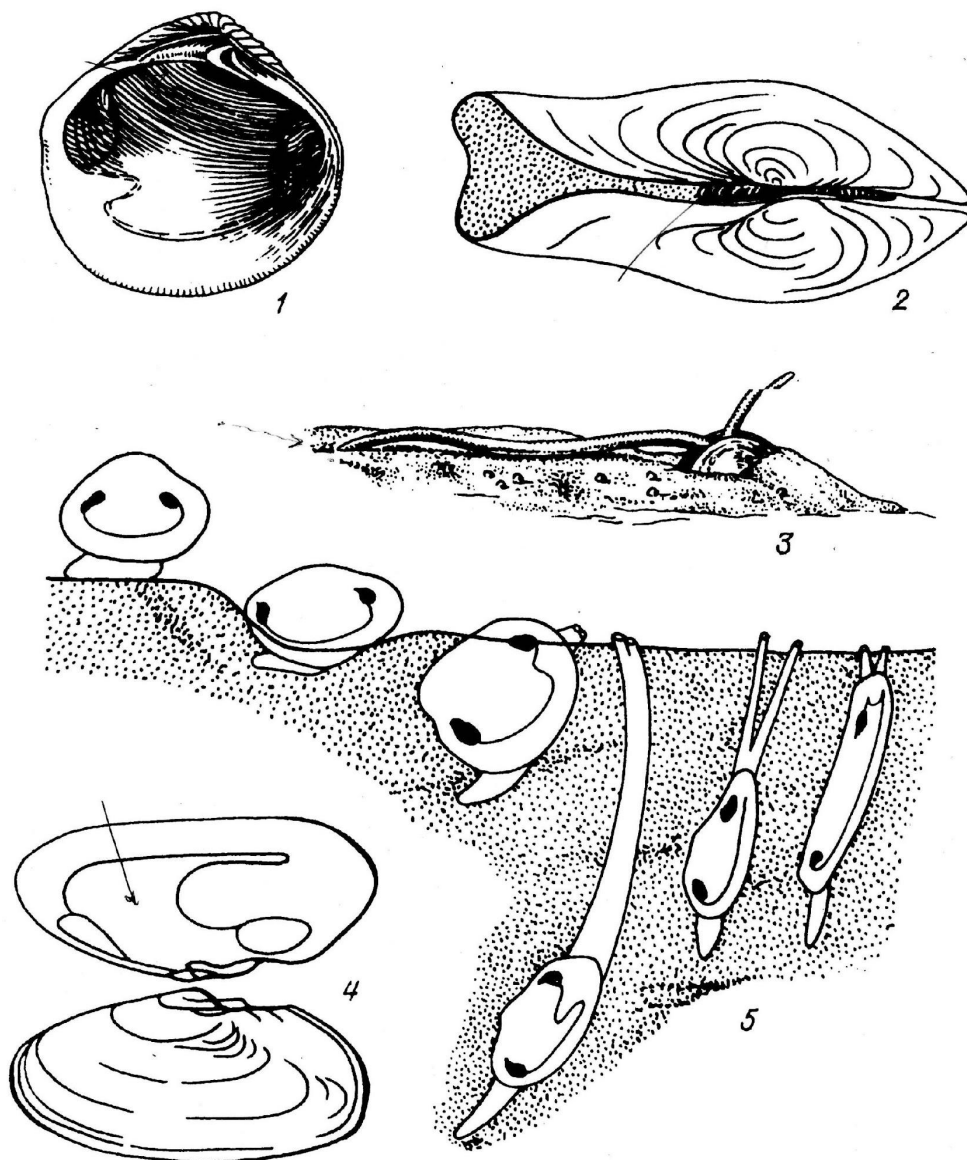
# Палеоэкологические исследования



## Образ жизни бентоса

Бентос: *a* – зарывающийся; *б, в* – полупогруженный (*б* – свободнолежащий, *в* – прикрепляющийся ножкой); *г* – прикрепляющийся цементацией; *д-ж* – прикрепляющийся ножкой; *з* – прикрепляющийся цементацией и корнеподобными выростами

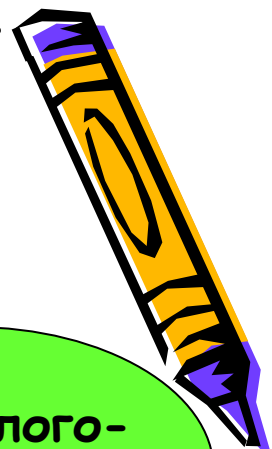
# Изучение характера грунта и его влияния на форму бентоса



1 – мало углубляющаяся (неглубокий мантийный синус внутри раковины); 2-4 – глубоко зарывающиеся: 2 – с зиянием на заднем конце, откуда выступают не помещающиеся внутри раковины сифоны, 3 – с выступающими из грунта сифонами (по вытянутому сифону поступают питательные вещества, анальный сифон направлен вверх); 4 – с глубоким мантийным синусом; 5 – зарывающиеся на разную глубину



# НЕПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ



## 1. Литологические

Метод  
маркирующих  
горизонтов

I-III

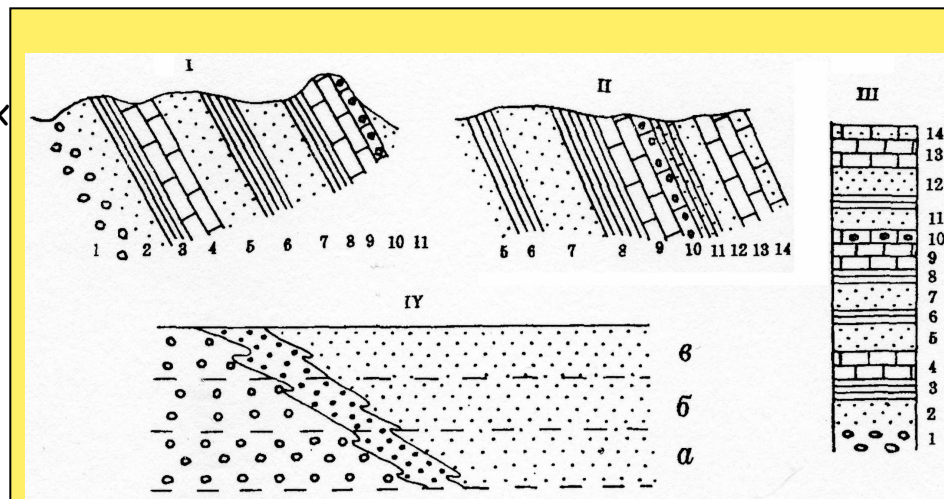
*Слои, пачки, имеющие  
отличительные черты,  
прослеживаются на  
значительные расстояния*

*(слой зеленовато-серых  
аргиллитов с  
карбонатными стяжениями  
среди слоев красных и  
коричневых песчаников и  
алевролитов; пачка  
глауконитовых  
известняков среди белых  
мергелей; пласт угля,  
бентонитов*

I-III -  
маркирующий  
горизонт (слой 10)

Правило  
Вальтера-  
Головкинского  
IV

*Одновозрастны только те  
осадки, которые отлагались  
вдоль существовавших в  
каждый данный момент зон  
седиментации, параллельных  
береговой линии.*



Минералого-  
петрографический  
метод

*Слои и пачки  
сравниваются по  
минералогическим  
ассоциациям, степени  
диагенеза и  
метаморфизма.*

Применяются для  
ограниченной  
площади.

IV - изменение возраста  
слоя при перемещении  
береговой линии (а, б, в -  
разновозрастные уровни)



## 2. Геофизические методы (основаны на сравнении пород по их физическим свойствам)



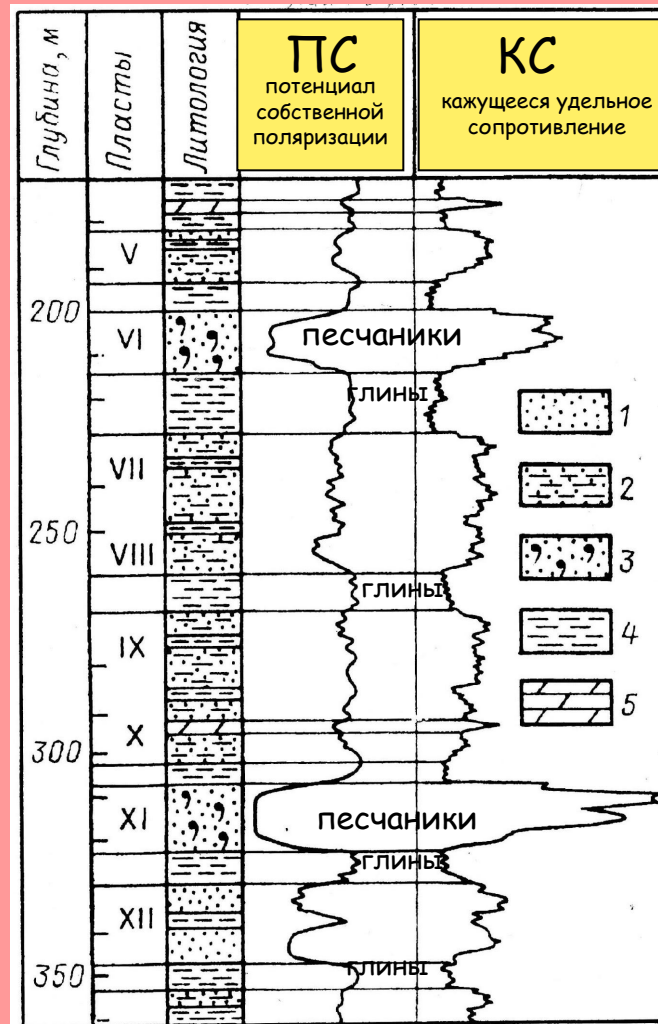
### Анализ результатов каротажа (исследования скважин)

**Электрический каротаж наиболее распространен.** Разная способность горных пород поглощать воду, нефть, промывочную жидкость отражается на их электрических свойствах. По необсаженной скважине непрерывно измеряют естественное электрическое поле (ТЭС) и (КС).

**Разница в значениях ТЭС и КС** позволяет различать обломочные, глинистые и карбонатные породы, выделять рудные тела, пласты насыщенные нефтью и газом.

**Радиоактивный каротаж** основан на измерении как естественного излучения, так и возникающего при искусственном облучении. Повышенной радиоактивностью обладают битуминозные породы, калийные соли, а низкой - ангидрит, гипс, доломиты.

Применяют еще **акустический, термический, механический** и другие виды каротажа.



Результаты электрического каротажа одного из интервалов разреза по скважине (Д.Л.Степанов, М.С.Месежников, 1979, с упрощениями): 1 - песчаники; 2 - глинистые песчаники; 3 - нефтеносные песчаники; 4 - глины; 5 - мергели



# 3. Палеомагнитный метод (основан на явлениях палеогеомагнетизма)

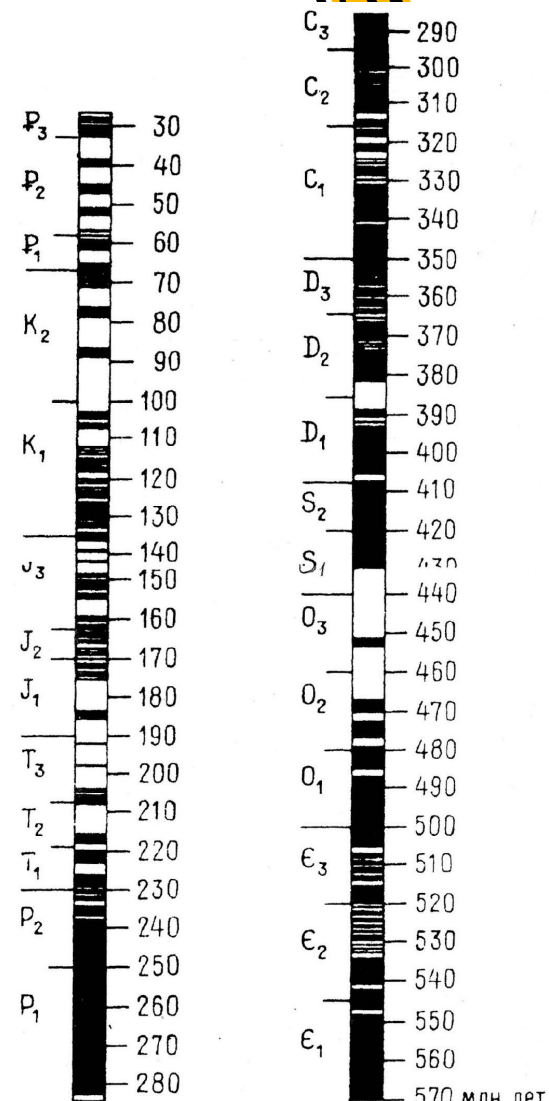


"Окаменевший геомагнетизм". Магнитное поле Земли зафиксировано в горных породах, т.к. горные породы намагничивались по направлению геомагнитного поля того времени и места, где они возникали. Полученный при этом **вектор первичной намагниченности** сохранялся в горной породе и может быть определен. позволяет сопоставлять отложения и выяснять их возраст.

Определено положение магнитных полюсов. Так, в начале девона один из полюсов находился примерно на  $28^\circ$  с.ш. и  $159^\circ$  в.д., а в конце палеозоя - на  $45^\circ$  с.ш. и  $165^\circ$  в.д.

В течение геологической истории геомагнитное поле претерпело множество инверсий (обращений полярности)- чередование прямой (совпадающей с современной) и обратной намагниченности отражено в разрезах осадочных и вулканогенных образований.

**Геомагнитные инверсии** - события глобального масштаба, поэтому теоретически возможна хронологическая корреляция прямо и обратно намагниченных пород по всему миру. Для этого вначале надо знать абсолютный возраст пород, в которых установлена полярность магнитного поля.



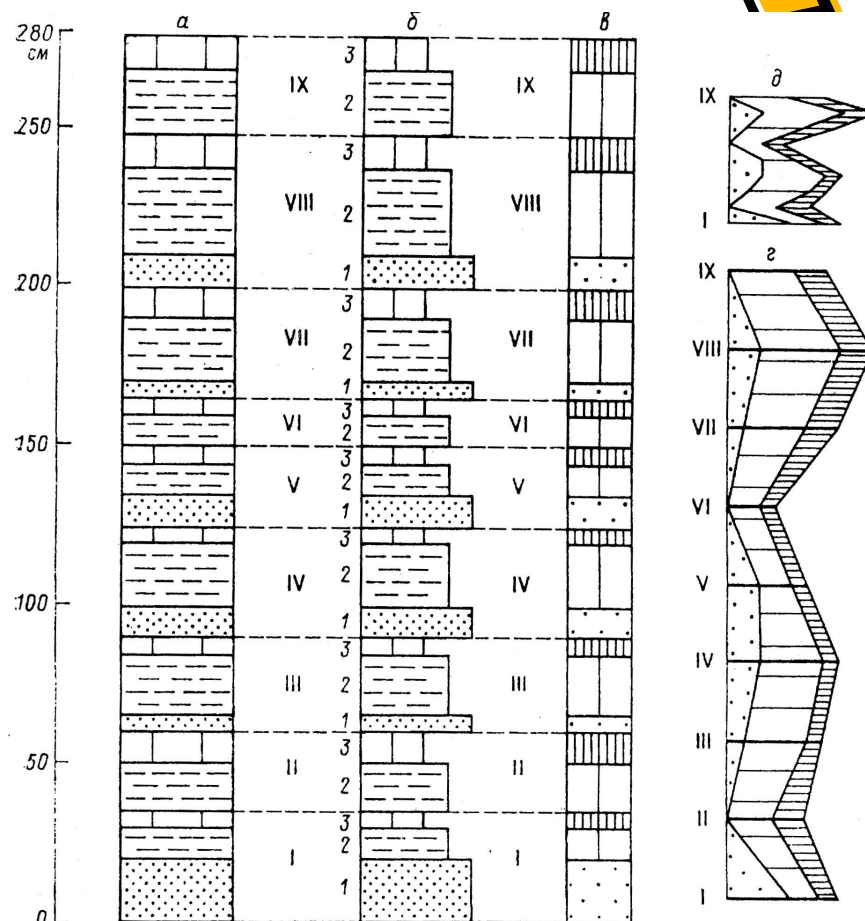
1 2

Палеомагнитная шкала палеозоя, мезозоя и палеогена России (Палеомагнитология, 1982, с упрощениями). Намагниченность: 1 – прямая; 2 – обратная

# 4. Ритмостратиграфия (заключается в изучении чередования различных пород в разрезах)

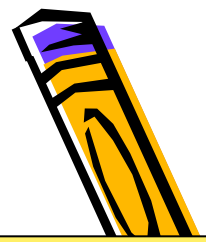


1. Определяются наборы (ритмы) чередующихся пород и их границы.
2. Выделяют ритмы, по характерным особенностям которых сравнивают разрезы. Ритмичность типична для угленосных, соленосных, флишевых толщ, известны годовичные ритмы ленточных глин.
3. Анализ ритмичности широко используется для их расчленения и корреляции.
4. Н.Б.Вассоевичем (1948) разработана методика построения ритмограмм, где выделяются аномальные ритмы, по которым и проводится корреляция разрезов.
5. Ритмичность бывает разных порядков. Наиболее крупные ритмы отражают определенные этапы развития Земли и могут быть прослежены по всей планете.



Построение ритмограммы (заимствовано у Е.В.Владимирской и др., 1985)

а – послыйный разрез; б – разрез разделен на ритмы (I-IX), выделены элементы (1, 2, 3) ритмов; в – элементы ритмов заменены условными знаками (произвольно); г – ритмограмма: колонки ритмов заменены отрезками горизонтальных линий (расположены друг от друга на равных расстояниях), границы элементов ритмов соединены прямыми линиями; д – ритмограмма того же разреза в более компактном и удобном виде: уменьшен вертикальный масштаб и убраны отрезки линий, обозначающих колонки ритмов (вертикальный масштаб ритмограмм выбирается исполнителями)

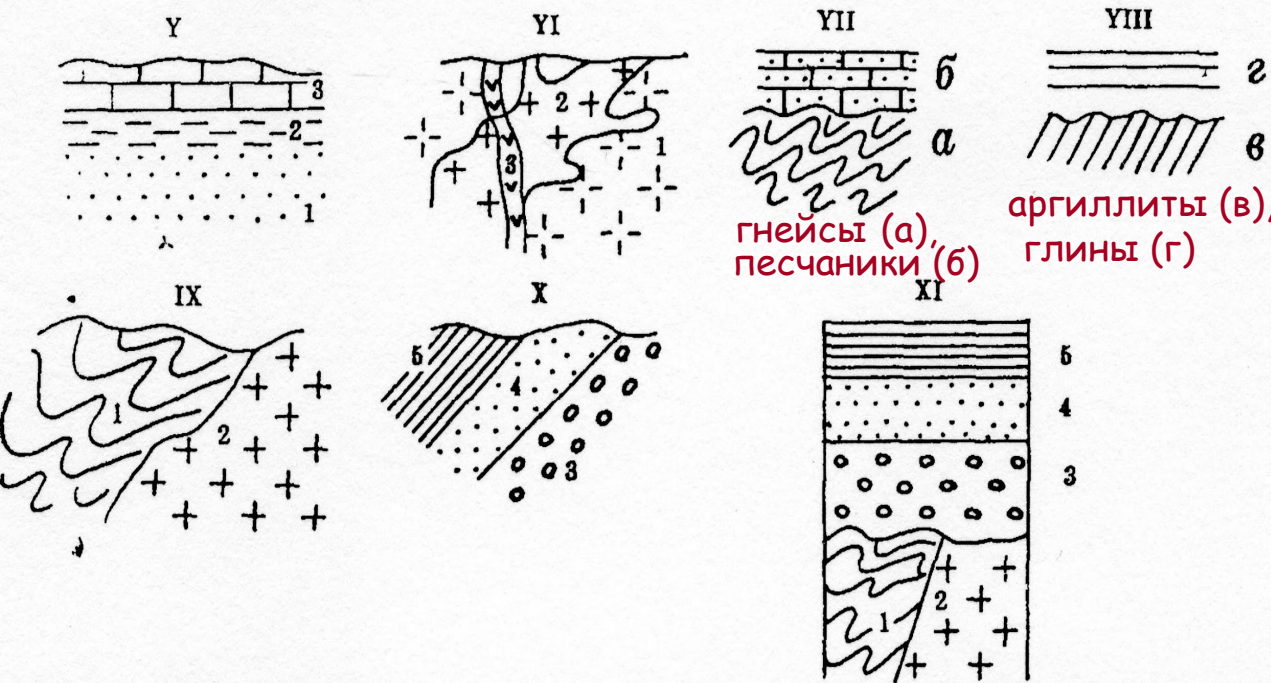


# 5. Общегеологические методы (состоят в определении последовательности слоев и изучении их взаимоотношений)

**Принцип (закон) Н. Стенона, сформулированный в 1669г (V)**

**Метод изучения взаимоотношений с изверженными породами позволяет определить последовательность образования горных пород (VI)**

**Метод выделения структурных этажей основан на несогласиях. Несогласия - это естественные рубежи, по которым расчленяются разрезы. Затем сопоставляются толщи, занимающие одинаковое положение по отношению к поверхностям несогласия (VII-VIII)**



V-верхний слой моложе вышележащего; VI-интрузия моложе вмещающей породы; VII-VIII - выделение структурных этажей (а,б,в,г); IX-XI - взаимоотношение осадочных пород с интрузией (IX-граниты 2 моложе сланцев 1); X-конгломераты 2 с галькой интрузии и сланцев; XI-общая последовательность слоев.

## 6. Экостратиграфический метод

1. Основан на идее о том, что взаимодействие геологических процессов порождает глобальные события (события вымирания, иридиевые аномалии), распознавание которых в разных регионах мира позволяет проводить глобальные корреляции
2. Тесно связан с событийной стратиграфией, основывающейся на выделении и прослеживании событийных отложений: турбидитов - отложения землетрясений, темпеститов - отложения штормов, инундиты - отложения наводнений и восстановления эрозионных событий.



# 7. Климатостратиграфический метод



1. Разработан для четвертичных отложений.
2. Основан на чередовании в четвертичном периоде **резких похолоданий** (стадиалов или оледенений) и **потеплений** (интерстадиалов или межледниковий), что определяло смену литолого-фациальных и палеонтологических комплексов.



# АБСОЛЮТНАЯ ГЕОХРОНОЛОГИЯ

Методы радиогеохронологические = радиологические или методы определения абсолютного возраста.

1. Используются радиоактивные элементы с постоянной скоростью радиоактивного распада и длительными периодами полураспада (млн., млрд лет).

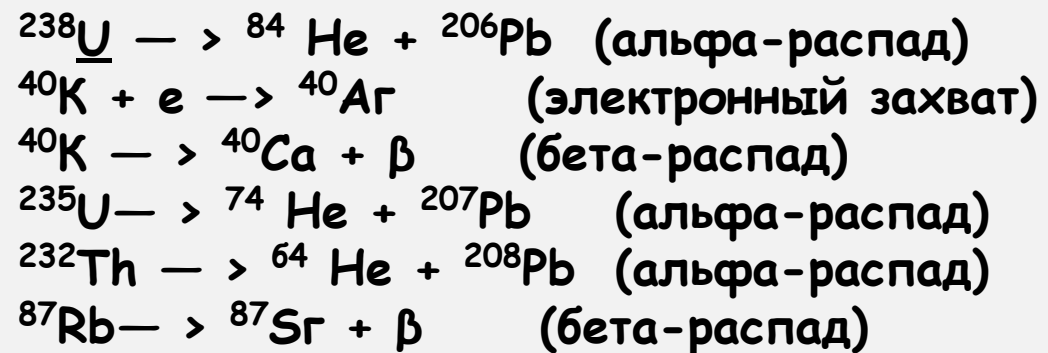
2. Такие радиоактивные элементы как

$$^{232}\text{Th} = 15,17 \text{ млрд. лет,}$$

$$^{238}\text{U} = 4,51 \text{ млрд. лет,}$$

$$^{235}\text{U} = 0,713 \text{ млрд. лет}$$

могут дать объективные данные возраста даже самых древних пород.



3. Для определения возраста надо знать соотношение начального и конечного элементов.

4. Радиоактивные минералы подвержены выветриванию (химическим изменениям), метаморфизму, которые приводят к потере радиоактивных элементов и продуктов их распада.

5. Может быть "омоложение" возраста породы без учета преобразований.

## СВИНЦОВЫЙ МЕТОД

В основе лежит процесс радиоактивного распада изотопов  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Pb}$  на изотопы свинца.

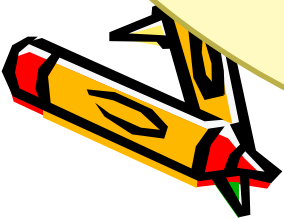
Используют минералы *уранинит, монацит, ортит, циркон* (в гранитах, пегматитах и кварцевых жилах) при содержании в них более 1 % урана или тория.

Возраст вычисляют по 4 изотопным отношениям:  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$  с использованием закона распада радиоактивных элементов.

## КАЛИЙ-АРГОНОВЫЙ (АРГОНОВЫЙ) МЕТОД

Изотоп  $^{40}\text{K}$  путем электронного захвата превращается в аргон:  $^{40}\text{K} + e^- \rightarrow ^{40}\text{Ar}$  - за 1,3 млрд. лет, аргон хорошо сохраняется в кристаллической решетке минералов (*биотит, мусковит, лепидолит, калиевые полевые шпаты, роговая обманка, пироксены, сильвин, глауконит*).

*Наиболее надежен по глаукониту, биотиту, мусковиту и по калиевым полевым шпатам.*



## Рубидий-стронциевый метод

основан на распаде  $^{87}\text{Rb}$  (47 млрд. лет) и превращении его в  $^{87}\text{Sr}$  путем бета-распада.

Рубидий встречается в виде примеси в калиевых минералах (используют слюды).

## Радиоуглеродный метод

основан на изучении радиоактивного изотопа углерода  $^{14}\text{C}$ , который образуется в атмосфере, а затем усваивается тканями растений. После их гибели происходит распад накопленного в них  $^{14}\text{C}$  с определенной скоростью, **Период полураспада  $^{14}\text{C}$  равен 5750 лет**, поэтому можно установить возраст молодых четвертичных отложений, а также в археологии и антропологии. Объект - остатки растений и животные ткани в золе кострищ доисторического человека.

