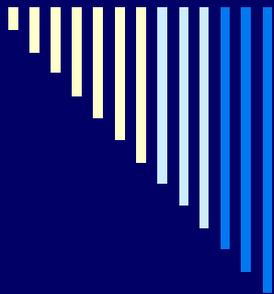




ВВЕДЕНИЕ В ГЕОМЕХАНИКУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Семестровый курс
Лекция 4



- Геологическое время. Физические методы оценки возраста пород.
- Формирование месторождений углеводородов. Теории происхождения нефти.
- Геофизические методы разведки месторождений углеводородов. Гравиметрические и магнитометрические методы. Каротаж скважин. Пассивный сейсмический мониторинг.



Геологическое время: относительная шкала

- Определение относительного возраста пород – это установление, какие породы образовались раньше, а какие – позже.
 - Относительный возраст осадочных пород устанавливается с помощью геолого-стратиграфических (стратиграфического, литологического, тектонического, геофизических) и биостратиграфических методов.
-

Геолого-стратиграфические методы

- **Тектонический метод:** мощные процессы деформации проявляются (как правило) одновременно на больших территориях, поэтому разновозрастные толщи имеют примерно одинаковую степень деформированности.



Геолого-стратиграфические методы

- **Стратиграфический метод:** при нормальном залегании нижележащие слои являются более древними, а вышележащие – более молодыми.
- **Литологический метод:** изучение и сравнение состава пород в разных обнажениях. На ограниченной по площади территории отложения одинакового вещественного состава, скорее всего, имеют один возраст.



Геолого-стратиграфические методы

□ **Геофизические методы:** использование физических характеристик пород (удельного сопротивления, природной радиоактивности, остаточной намагниченности и т.д.). Выделение слоев в буровых скважинах на основании измерений удельного сопротивления называется **электрокаротаж**, на основании измерений их радиоактивности - **гамма-каротаж**. Изучение остаточной намагниченности называют **палеомагнитным методом**; он основан на том, что магнитные минералы при кристаллизации намагничиваются в соответствии с магнитным полем Земли ориентация которого, как известно, менялась в течении геологического времени.





Палеонтологические методы

Суть **палеонтологических методов** состоит в определении возраста пород с помощью изучения ископаемых организмов. Предполагается выполнение следующих принципов:

- эволюционности развития органического мира,
- этапности смены не повторяющихся во времени комплексов организмов;
- необратимости эволюции органического мира.

Важнейшими положениями палеонтологических методов являются:

- Для каждого комплекса осадочных образований характерны присущие только этому комплексу ископаемые организмы.
- Толщи осадочных пород, имеющие одинаковый возраст и отложившиеся в одинаковых физико-географических условиях, содержат близкие ископаемые организмы.
- Вертикальный разрез осадочных пород на всех материках имеет одну и ту же последовательную смену ископаемых организмов.



Метод руководящих ископаемых

Используют не все ископаемые организмы, а руководящие ископаемые, удовлетворяющие следующим требованиям:

- **Быстрая эволюция** (до 10 – 30 млн. лет) ;
- Небольшое вертикальное и широкое горизонтальное распространение;
- Ярко выраженные признаки;
- Хорошая сохранность;
- Частая встречаемость.

Модификацией этого метода является метод **руководящих комплексов форм**.
Выделяют:

- **Характерные (контролирующие) формы** – существуют только в пределах изучаемого времени, либо известны до изучаемого времени и исчезают во время него, либо расцвет их приходится на изучаемое время, а исчезают после него.
- **Колониальные формы** – появляются только в самом конце изучаемого периода.
- **Доживающие (реликтовые) формы** – характерные для предыдущего времени, а в изучаемое время становятся редкими и исчезают;
- **Рекуррентные формы** – развитие их испытывает в какой-то момент затухание, но с возобновлением благоприятных условий вновь наступает их расцвет.



Статистические палеонтологические методы

- **Процентно-статистический метод** – определение относительного возраста изучаемого слоя производится путем подсчета процентного содержания общих видов ископаемых форм по отношению к формам эталонного разреза.
- **Биометрический метод** основан на статистическом анализе результатов измерений различных параметров организмов (удлиненность раковины, отношение высоты раковины к длине, выпуклость или отношение выпуклости створки к высоте и т.д.). По полученным данным строят кривые изменчивости.
- **Эволюционные палеонтологические методы:**
 - **Филогенетический** (филогенез – историческое развитие предков данной формы), в основе его лежит принцип установления родственных связей между организмами.
 - **Биогенетический** (сравнительно-анатомический или сравнительно-эмбриологический) метод – изучается онтогенез (индивидуальное развитие организма), т.е. прослеживаются стадии развития особи от зародыша до взрослого состояния.

Палеонтологические методы

Ископаемые остатки древних организмов: 1 - отпечаток листа пальмы
2 - хвойное растение {*Wachia*} ; 3 - раковина брюхоногого моллюска 4- аммонит {*Cardioceras cordatum*}; 5 - личинка брахиозавра.

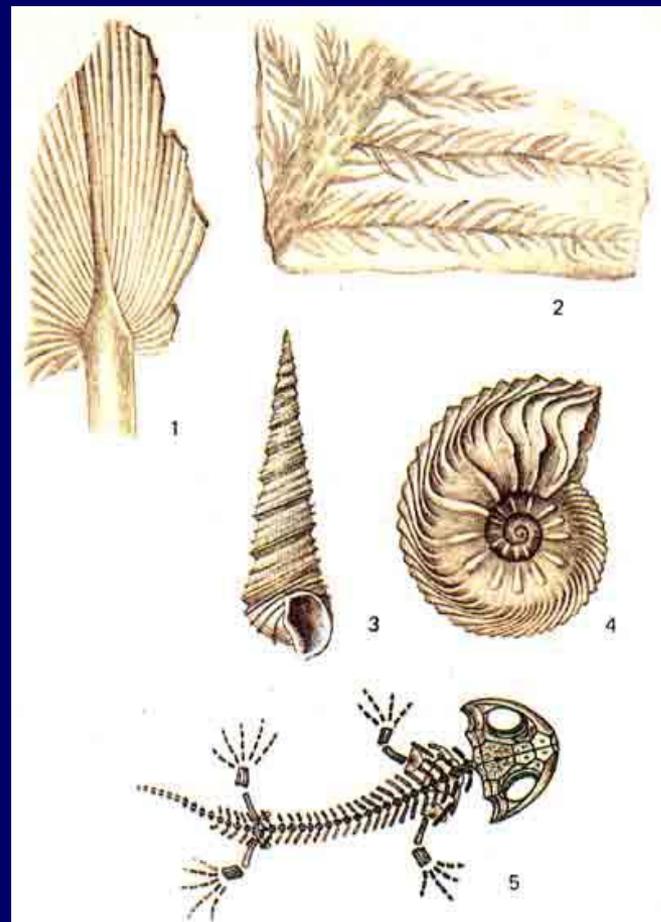
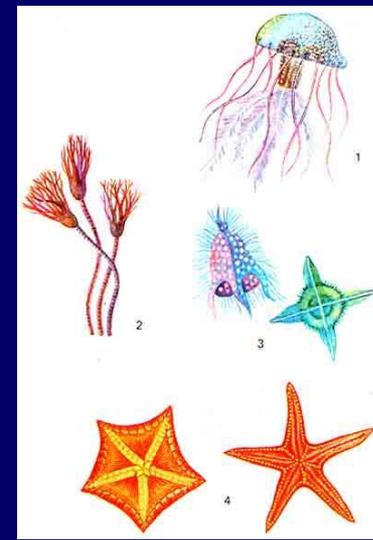
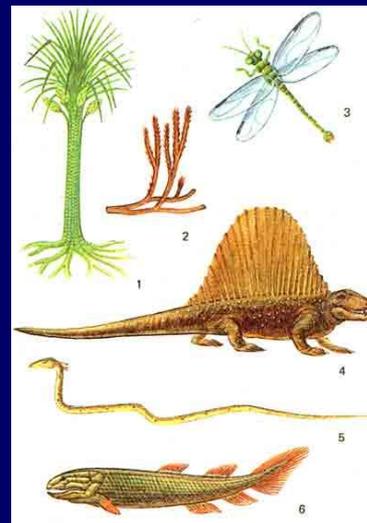
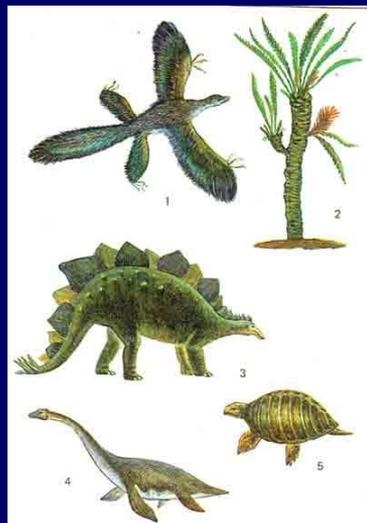
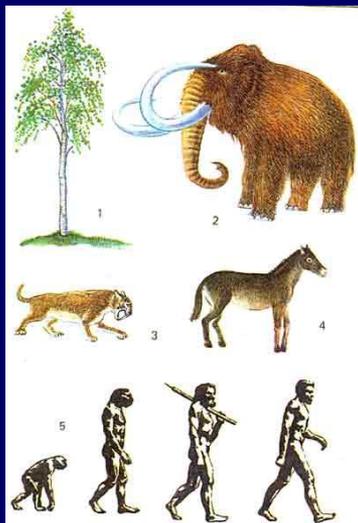


Таблица 1 Стратиграфические подразделения высшего ранга

Зонотема		Эратема	
ФАНЕРОЗОЙСКАЯ РН		Кайнозойская КЗ	
		Мезозойская МЗ	
		Палеозойская РЗ	
КРИПТОЗОИ	ПРОТЕРОЗОЙСКАЯ РР	Верхняя PR ₂	Вендская V Рифейская R
		Нижняя (карельская) PR ₁	
	АРХЕОЗОЙСКАЯ (ИЛИ АРХЕЙСКАЯ) АЯ	Верхняя AR ₃	
		Средняя AR ₂	
		Нижняя AR ₁	
АЗОЙСКАЯ AZ			

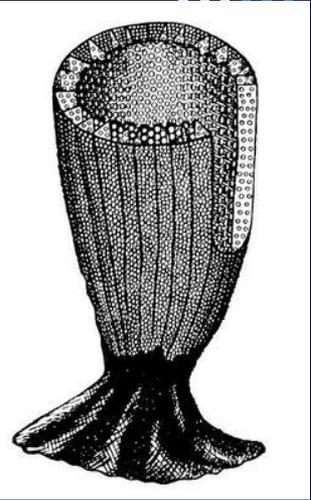




Криптозой (докембрий)

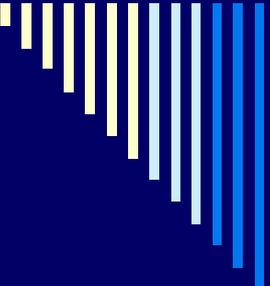
- В результате исследования ископаемых останков животных и растений было предложено разделить историю развития Земли на большие этапы - **зоны**.
- Время, когда Земля была необитаемой, получило название **азойского** (безжизненного) зона.
- Возникли первые сложные соединения белка – коацерваты, затем – протобионты, сине-зеленые водоросли и безъядерные бактерии – прокариоты. Этот этап назван **археозойским** или **архейским** эоном.
- На смену архею пришел **протерозойский** эон. Появились эукариоты – организмы, клетки которых имели ядра; появились многоклеточные водоросли и первые животные: медузы, гребневики, черви, примитивные ракообразные и иглокожие. В самом конце протерозоя по всей Земле расселяется множество бесскелетных организмов и появляются первые животные, имевшие кремниевый скелет – радиолярии.

Фанерозой – ЭОН ЯВНОЙ ЖИЗНИ



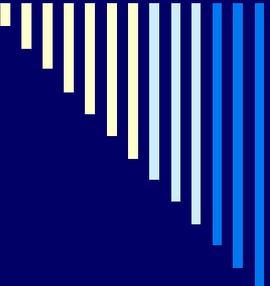
- Фанерозой подразделяется на три **эры**: **палеозойскую** (эру древней жизни), **мезозойскую** (эру средней жизни) и **кайнозойскую** (эру новой жизни). Каждая эра состоит из нескольких геологических **периодов**.
- Палеозой охватывает шесть периодов: **кембрийский** (кембрий), **ордовикский** (ордовик), **силурийский** (силур), **девонский** (девон), **каменноугольный** (карбон) и **пермский** (пермь).
 - Наступление **кембрийского** периода ознаменовалось биологическим взрывом. В морях появилось огромное количество беспозвоночных животных с прочными скелетами. Главное место среди них занимают **археоциаты** и **трилобиты**. Археоциаты достигали полутора метров в высоту, их скелеты имели вид чаши, конуса или цилиндра с двойными стенками, между которыми располагались поперечные перегородки. Трилобиты были водными животными, которые ползали по дну моря. Туловище и хвост трилобитов состояли из ряда члеников.

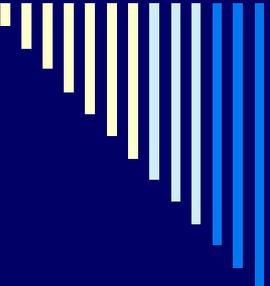


- 
- В **ордовикском** периоде археоциаты вымерли, трилобиты расселились по всему земному шару, видоизменились и стали одной из наиболее распространенных групп животных. Появились крупные головоногие моллюски - наутилусы, у которых были крепкие массивные закрученные раковины, достигавшие иногда полутора-двух метров. Значительного расцвета достигли кораллы и мшанки, появились первые позвоночные животные – бесчелюстные.



- В **силуре** в морях появились морские ежи, морские лилии и многочисленные панцирные рыбы, напоминавшие бронированных червей. На влажных участках земной поверхности появились крупные растения – псилофиты, которые после своей гибели образовали первые в истории Земли ископаемые почвы и небольшие залежи каменного угля. Из животных на суше распространились скорпионы и многоножки.

- 
- На границе силурийского и **девонского** периода произошло интенсивное горообразование. Исчезают многие группы трилобитов, расцвета достигают рыбы. Появляются акулы, возникает большая группа двоякодышащих рыб. На суше появляются первые насекомые. Место древних растений занимают папоротники, хвощи и плауны. Это были стройные деревья высотой 30 м и более со стволами около 2 м в поперечнике, которые после своей гибели образовали залежи каменного угля.
 - В **каменноугольном** периоде существовали все известные ныне группы животных, за исключением птиц и млекопитающих. Размножились насекомые, достигавшие гигантских размеров (стрекозы до 70 см). Появились первые четвероногие – земноводные (стегоцефалы - панцирноголовые) и пресмыкающиеся.
 - В начале **пермского** периода на Земле сохранялись густые леса папоротников, хвощей и плаунов. Во второй половине периода климат становится холоднее и суше, гибнут папоротниковые леса, вымирают гигантские насекомые. Начинают развиваться хвойные растения. Вымирают трилобиты, исчезают панцирные рыбы, широко распространяются акулы. Достигли крупных размеров земноводные, интенсивно развиваются пресмыкающиеся.



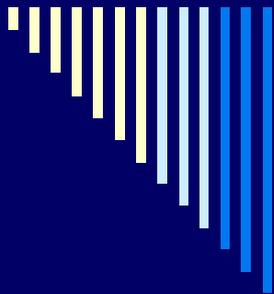
Мезозойская эра

- Состоит из трех периодов: *триасового* (триаса), *юрского* (юры) и *мелового* (мела).
- В *триасовый* период образования гор почти не происходило. В лесах преобладали голосеменные растения. Земноводные уступили место пресмыкающимся. Вымирают стегоцефалы. Появляются первые ящеры, крокодилы и черепахи. Появляются млекопитающие.
- В начале *юрского* периода море активно наступало на материки. Климат на больших территориях был близок к тропическому или субтропическому. На суше господствовали гигантские динозавры. Появляются крылатые летающие ящеры и первые птицы – археоптерикс и археорнис. В конце юрского периода происходит интенсивное горообразование.
- Во второй половине *мелового* периода широко распространились цветковые растения. встречаются отпечатки растений, существующих и в наши дни. Появляются первые настоящие змеи и много разнообразных птиц. В самом конце мела наземные и водные динозавры начинают вымирать и вскоре полностью исчезают.



Кайнозойская эра

- Состоит из трех периодов: *палеогенового*, *неогенового* и *четвертичного*. Иногда рассматривают палеоген и неоген совместно, объединяя их под названием *третичного* периода.
- В кайнозойскую эру материки приобрели те формы, которые мы видим на современной географической карте.
- В начале кайнозойской эры шло накопление угля, торфа, горючих сланцев. Шло быстрое развитие теплокровных животных - млекопитающих и птиц. В начале *палеогена* среди млекопитающих преобладали яйцекладущие и сумчатые. В конце палеогена появляются предки слонов и лошадей, примитивные обезьяны и древние хищники. В европейской части России росли магнолии и пальмы, на севере Америки – инжир и бананы, на островах Северного Ледовитого океана – виноград и кипарисы.



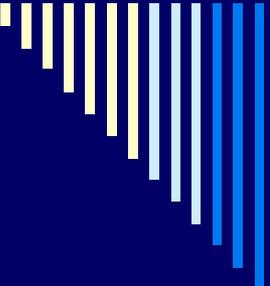
- К **неогеновому** времени в умеренной зоне вечнозеленые растения уступили место листопадным деревьям. Появились разнообразные травы, обособились степи, лесостепи, тайга и тундра. Многие примитивные группы млекопитающих гибнут, в конце неогена животный и растительный мир планеты приобретает облик, близкий к современному.
- Наконец, наступает последний период – **четвертичный**. Продолжающееся общее похолодание климата и неоднократные оледенения приводят к тому, что количество видов млекопитающих сокращается. Появляется человек. В честь этого события многие исследователи называют четвертичный период **антропогеном**

Шкала стратиграфических подразделений фанерозоя

КАЙНОЗОЙСКАЯ КЗ	Четвертичная О	Голоцен	Современное звено
		Плейстоцен	Верхнее звено
			Среднее звено
			Нижнее звено
	Неогеновая N	Плиоцен N ₂	Апшеронский
			Акчагыльский
			Киммерийский
			Понтический
		Миоцен N ₁	Мэотический
			Сарматский
Конкский			
Караганский			
Чокракский			
Тарханский			
Палеогеновая P	Олигоцен P ₃	Верхний	
		Нижний	
	Эоцен P ₂	Альминский	
		Бодракский	
		Симферопольский	
	Палеоцен P ₁	Бахчисарайский	
		Качинский	
	Палеоцен P ₁	Инкерманский	
		Датский	

МЕЗОЗОЙСКАЯ MZ	Меловая K	Верхний K ₂	Маастрихтский
			Сенон
			Кампанский
			Сантонский
		Нижний K ₁	Коньякский
			Туронский
			Сеноманский
			Альбский
			Аптский
			Барремский
Юрская J	Верхний (или малым) J ₃	Неоком	
		Готервский	
		Валанжинский	
	Средний (или доггер) J ₂	Берриасский	
		Титонский (или волжский)	
		Кимериджский	
		Оксфордский	
	Нижний (или лейас) J ₁	Келловейский	
		Батский	
		Байосский	
Триасовая T	Верхний T ₃	Ааленский	
		Тоарский	
	Средний T ₂	Плинсбахский	
		Синемюрский	
Нижний T ₁	Геттангский		
	Ратский		
Нижний T ₁	Норийский		
	Карнийский		
Нижний T ₁	Ладинский		
	Анизийский		
Нижний T ₁	Оленекский		
	Индский		

ПАЛЕОЗОЙСКАЯ PZ	Пермская P	Верхний P ₂	Татарский
			Казанский
		Нижний P ₁	Уфимский
			Кунгурский
	Каменноугольная (или карбон) C	Верхний C ₃	Артинский
			Сакмарский
		Средний C ₂	Ассельский
			Гжелский
		Нижний C ₁	Касимовский
			Московский
Девонская D	Верхний D ₃	Бакширский	
		Серпуховский	
	Средний D ₂	Визейский	
		Нижний D ₁	Турнейский
Силурийская S	Верхний S ₃	Фаменский	
		Франский	
	Нижний S ₁	Живетский	
		Эйфельский	
Ордовикская O	Верхний O ₃	Эмский	
		Зигенский	
	Средний O ₂	Жединский	
		Нижний O ₁	Придольский
	Кембрийская C	Верхний C ₃	Лудловский
			Венлокский
Средний C ₂		Пландоверийский	
		Нижний C ₁	Ашгиллский
Нижний C ₁	Карадокский		
	Пландейлский		
Нижний C ₁	Планвирнский		
	Аренгский		
Нижний C ₁	Тремадокский		
	Аксайский		
Нижний C ₁	Верхний C ₃	Сакский	
	Средний C ₂	Аюсокканский	
Нижний C ₁	Майский		
	Амгинский		
Нижний C ₁	Пенский надъярус	Тойонский	
	Алданский надъярус	Ботомский	
Нижний C ₁	Алданский надъярус	Атдабанский	
	Томмотский		



Абсолютный возраст горных пород и методы его определения.

- Определение абсолютного возраста горных пород основано на естественном распаде изотопов урана, рубидия и калия.
- Природный уран состоит на 99,27% из радиоактивного изотопа U^{238} (период полураспада 4.5×10^9 лет), рубидий содержит 27,85% радиоактивного Rb^{87} с периодом полураспада 48×10^9 лет, радиоактивный калий K^{40} (0,012%), имеет период полураспада 1.3×10^9 лет.
- Возраст определяют с помощью подсчета процентного содержания материнских радиоактивных элементов и конечного продукта их распада: для урана это свинец, рубидий дает стронций, а калий – аргон.
- Достаточно определить число радиоактивных ядер в данный момент и число ядер дочернего изотопа.

$$\frac{dN}{dt} = -kN, \quad N(t) = N_0 e^{-kt}$$

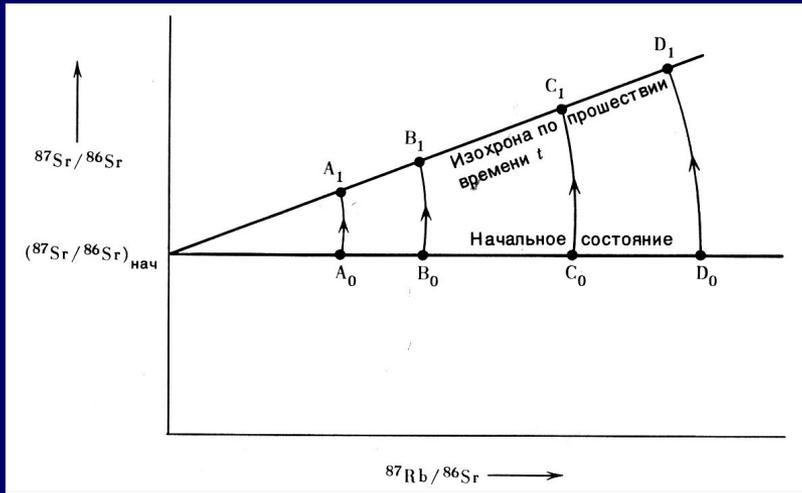
$$D = N_0 - N = N(e^{kt} - 1)$$

$$t = \frac{1}{k} \ln \left(1 + \frac{D}{N} \right)$$

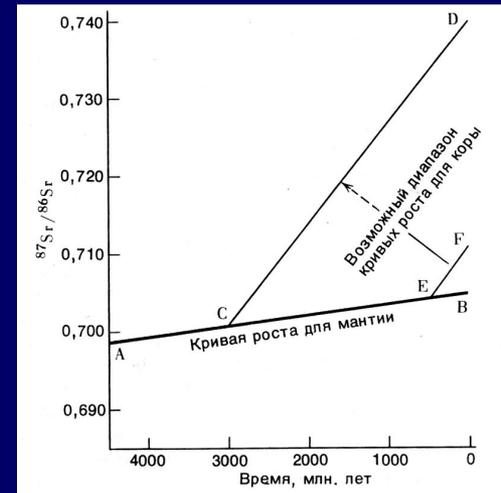
Рубидий – стронциевый метод.



$$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right) = \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right)_0 + \left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} \right) \times (e^{kt} - 1)$$



При образовании породы составляющие ее минералы имели разное отношение Rb/Sr, но одинаковое $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

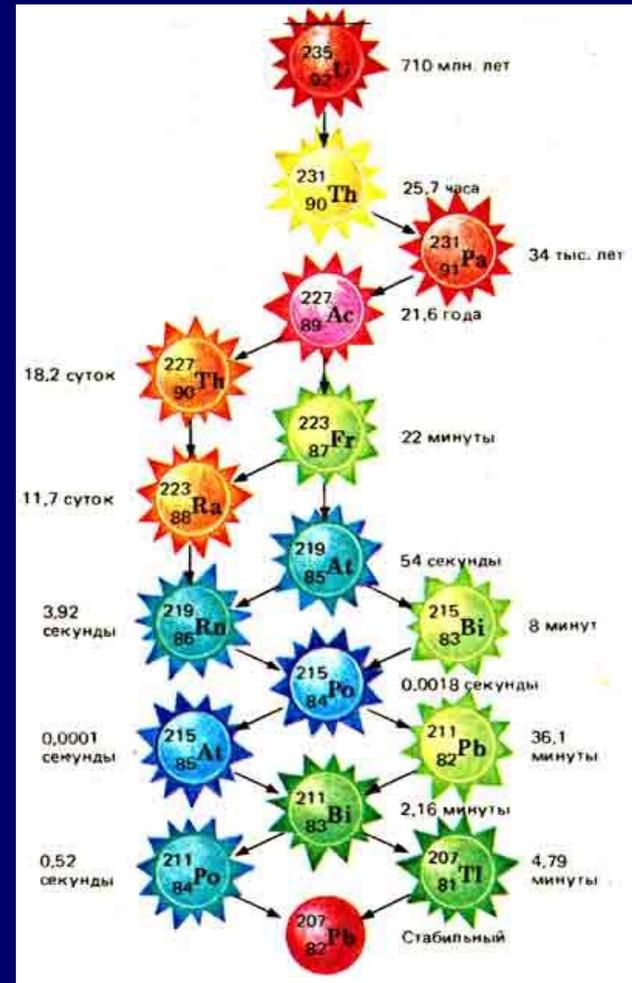
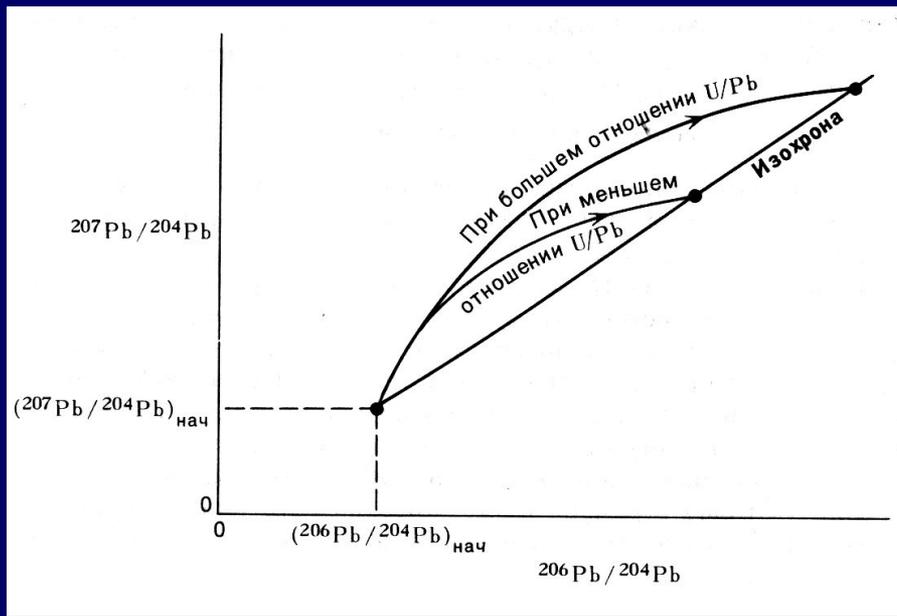


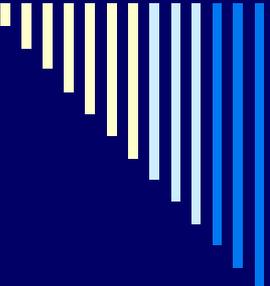
Кривые роста отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ для мантии (AB) и для пород коры двух возрастов – 3 млрд. лет (CD) и 0.5 млрд. лет (EF).

Уран – свинцовый метод

$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ (период полураспада $4.5 \cdot 10^9$ лет)

$^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ (период полураспада $0.7 \cdot 10^9$ лет)




$$\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{238}\text{U}} \right) = (e^{k_1 t} - 1),$$

$$\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{235}\text{U}} \right) = (e^{k_2 t} - 1),$$

$$\left(\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{232}\text{Th}} \right) = (e^{k_3 t} - 1),$$

$$\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{206}\text{Pb}} \right) = \frac{(e^{k_2 t} - 1)}{(e^{k_1 t} - 1)} \frac{{}^{235}\text{U}}{{}^{238}\text{U}}.$$

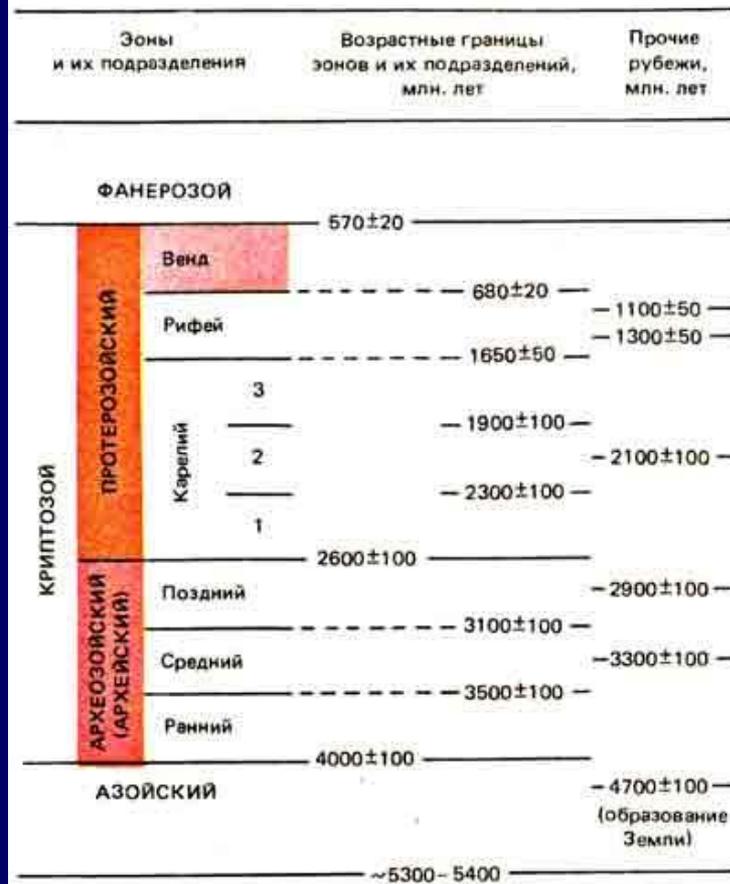
- Уравнение позволяет вычислить возраст только по одному измеренному отношению изотопов свинца, поскольку в настоящее время отношение изотопов урана равно 137,7 и практически во всех минералах и горных породах одинаково. Достоверность определения абсолютного возраста породы проверяют, сравнивая результаты расчетов по всем четырем уравнениям

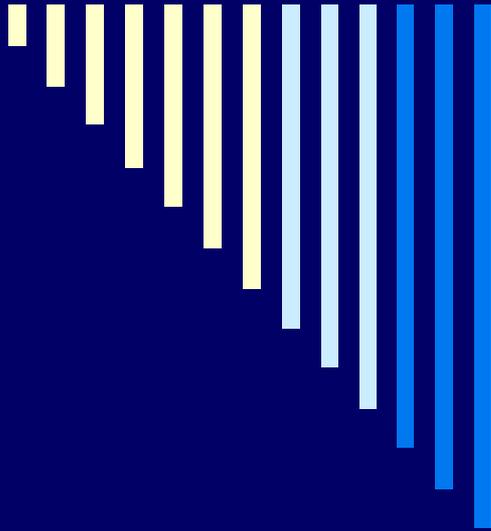
Привязка двух шкал времени

Таблица 3 Геохронологическая шкала фанерозой

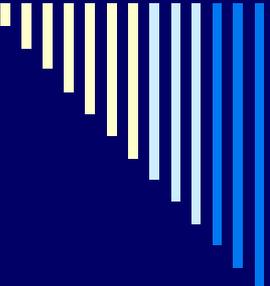
Эра	Период	Начало периода, млн. лет назад	Длительность периода, млн. лет	Длительность эры, млн. лет
КАЙНОЗОЙСКАЯ	Четвертичный (антропогенный)	2	2	65
	Неогеновый	25 ± 2	23	
	Палеогеновый	66 ± 3	41	
МЕЗОЗОЙСКАЯ	Меловой	132 ± 5	66	169
	Юрский	185 ± 5	53	
	Триасовый	235 ± 10	50	
ПАЛЕОЗОЙСКАЯ	Пермский	280 ± 10	45	335
	Каменноугольный	345 ± 10	65	
	Девонский	400 ± 10	55	
	Силурийский	435 ± 10	35	
	Ордовикский	490 ± 15	55	
	Кембрийский	570 ± 20	80	

Таблица 4 Геохронологическая шкала докембрия





Формирование
месторождений
углеводородов.



Происхождение нефти и газа

□ Теория абиогенного происхождения нефти.

Предполагается, что нефть поступает из глубин (из мантии). Д. И. Менделеев считал, что основой процесса образования углеводородов является взаимодействие карбидов глубинных металлов с водой, которая проникает по трещинам с поверхности на большую глубину. Схема процесса представлялась следующим образом:



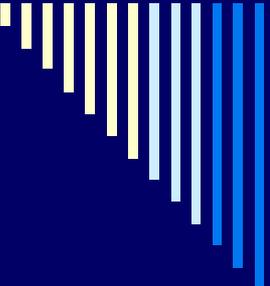
или в общем виде:



Сущность более современных представлений о минеральном происхождении нефти заключается в том, что нефть и газ образуются в глубинных зонах Земли из смеси H_2CO_2 и CH_4 в результате реакций прямого синтеза углеводорода из CO и H_2 :



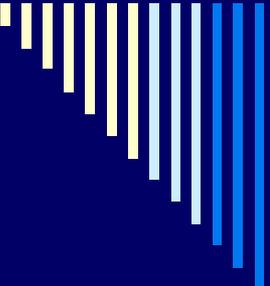
а также полимеризации радикалов $=\text{CH}$, $-\text{CH}_2$, CH_3 .



Происхождение нефти и газа

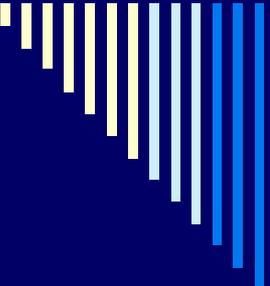
□ Теория органического происхождения нефти.

1. Накопление первичного органического вещества в водной среде в анаэробных геохимических условиях на фоне устойчивого и длительного погружения осадков. В основном это остатки **фито- и зоопланктона**, остатки растительности, вынесенные с континентов.
2. Биохимическая трансформация органического вещества в восстановительных геохимических условиях с образованием газа, в основном диоксида углерода, метана и азота. Часть промежуточных продуктов разложения органического вещества синтезируется в новые органические соединения. Формируются нефтегазоматеринские породы. Обычно это глинистые и карбонатные отложения, содержащие от 0.1–0.5 до 5 % и более преобразованного органического вещества.
3. Термокаталитическое преобразование органического вещества нефтегазоматеринских пород при температурах от 60 до 170–180 °С, в результате которого образуются нефть и горючие газы. В более жестких термобарических условиях при температурах от 180–200 до 250 °С образуются только газы.



Формирование месторождений

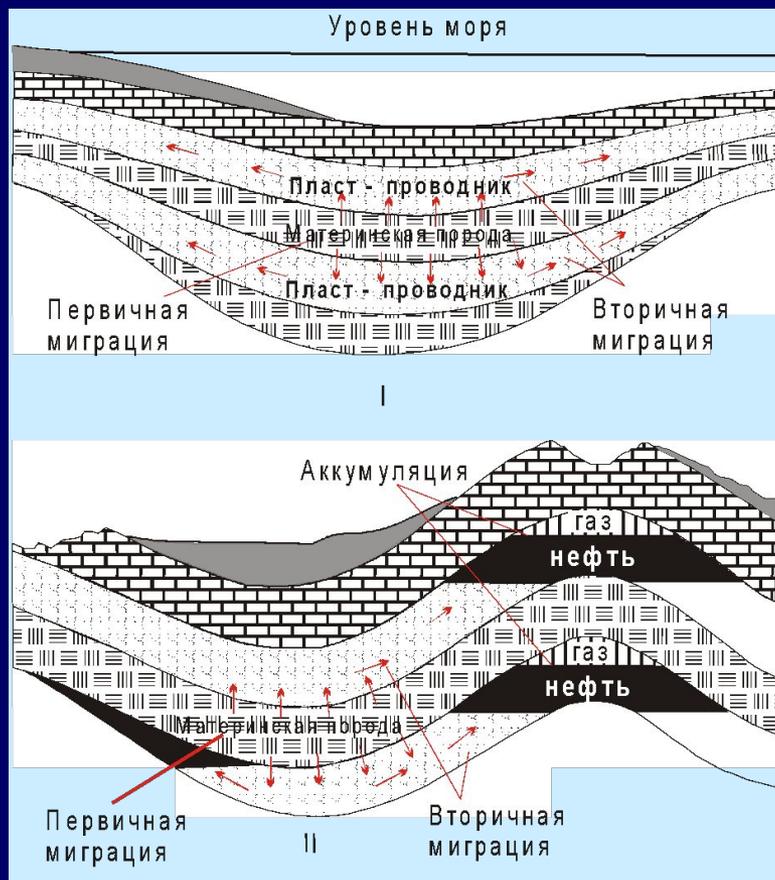
- Эмиграция углеводородов из нефтегазопроизводящих пород в природные резервуары, которые состоят из пористых пород различного состава и экранированы непроницаемыми породами.
- Миграция нефти и газа в природных резервуарах до ловушек, в которых движение флюидов сильно затруднено или невозможно.
- Аккумуляция (накопление) углеводородов в ловушках и образование их залежей.
- Переформирование и разрушение залежей углеводородов в результате тектонических, термобарических, геохимических и гидрогеологических процессов.



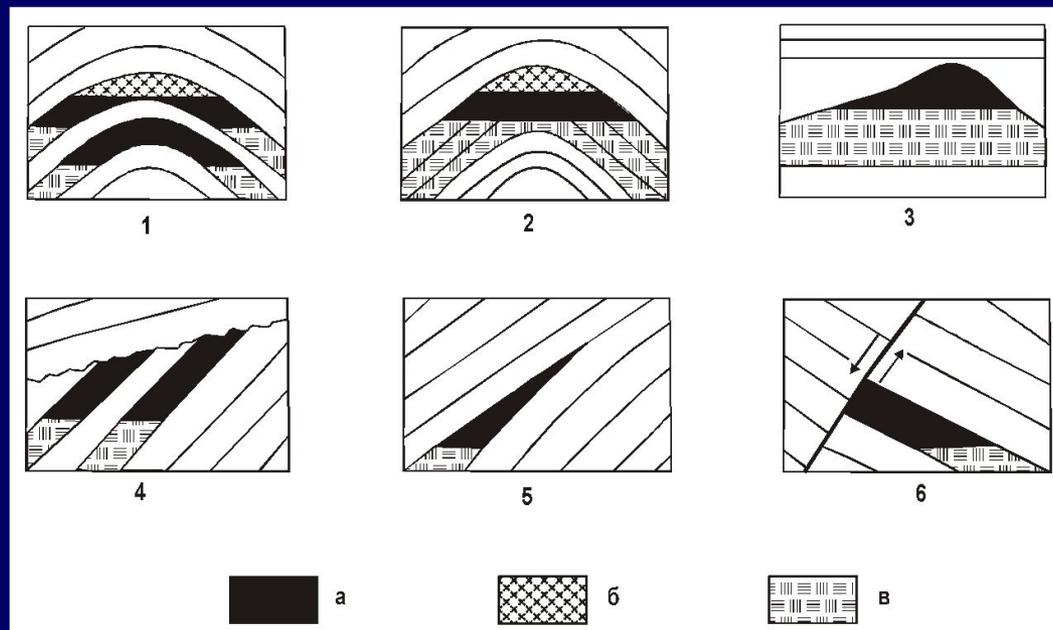
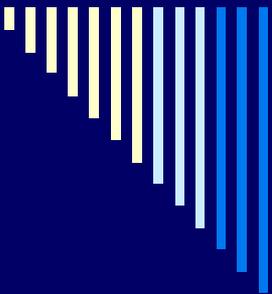
Миграция нефти и газа

- Флюиды – жидкости, газы, расплавы (среда, не оказывающая сопротивления сдвигу).
- Эмиграция (первичная миграция) – перемещение компонент нефти и газа из непроницаемых пород в проницаемые пласты-коллектора.
- Миграция – перемещение компонент и собственно нефти и газа по пластам и из одного пласта в другой.
 - гравитационная дифференциация нефти (газа) и воды – миграция по вертикали и вдоль наклонных разломов
 - гидродинамический фактор – перемещение вследствие разности давлений
 - фильтрация в среде с жестким скелетом – закон Дарси
 - фильтрация в среде с вязко-упругим скелетом – теория Био
 - тепловая конвекция
 - действие капиллярных сил

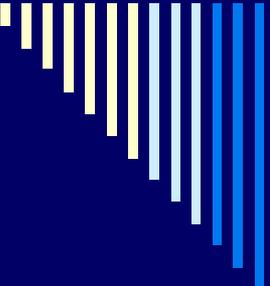
Формирование месторождений углеводородов.



- Необходимые условия для формирования месторождений нефти и газа:
 - наличие соответствующих пород-коллекторов
 - наличие относительно непроницаемых покрышек и ловушек, которые предотвращают утечку углеводородов к земной поверхности.



Залежи нефти различного типа в гидравлически незамкнутых (1–3) и замкнутых (4–6) ловушках: 1 – пластовые сводовые нефтяные и газонефтяные залежи; 2 – массивная сводовая газонефтяная залежь; 3 – нефтяная залежь в выступе палеорельефа, первичного (напр., рифа) или вторичного (эрозионного); 4 – нефтяная залежь, экранированная стратиграфическим несогласием; 5 – нефтяная залежь в ловушке первичного (фациального, литологического) выклинивания коллектора; 6 – тектонически экранированная залежь нефти; а – нефть; б – газ; в – вода



Породы-коллекторы

Для того чтобы стать коллектором, порода должна обладать **пористостью** и **проницаемостью**.

- **Пористость:**

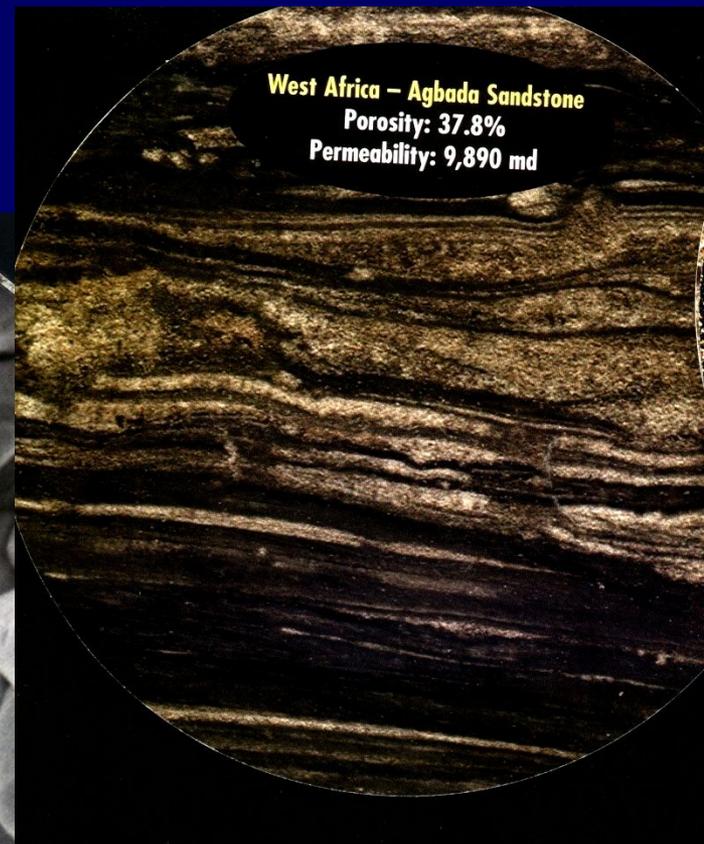
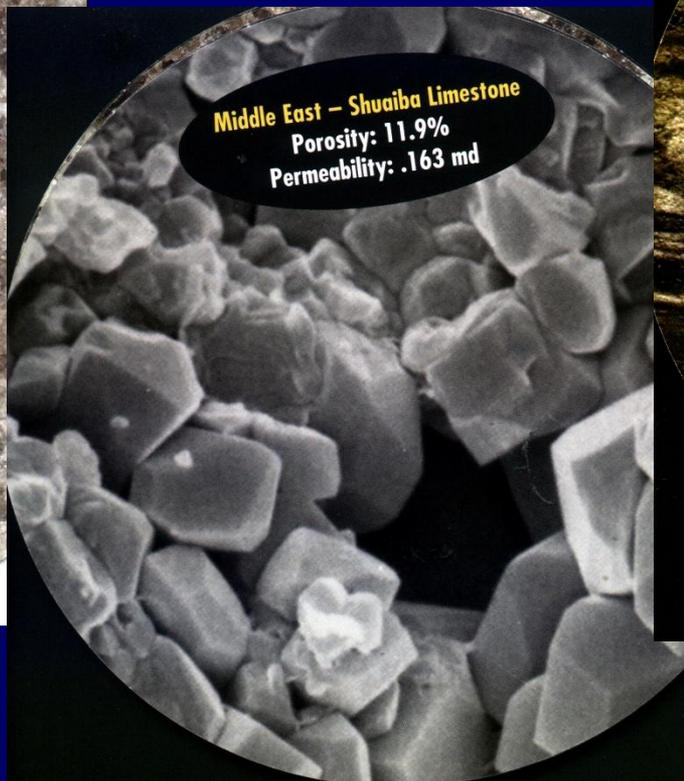
$$f = \frac{V_p}{V_0} \times 100\%$$

- Пористость кристаллических пород менее 1% пустот, песчаников – до 35–40%, кавернозных известняков – может превышать 40%.
 - Первичная пористость – исходная пористость пород без учета растворимости, трещиноватости и т.д.
 - Вторичная пористость – дополнительная пористость, появившаяся в результате механических преобразований и растворов
 - Эффективная пористость – пористость, доступная для перемещения флюидов (т.е. за вычетом изолированных пор)
- **Проницаемость** – характеристика способности пород пропускать флюиды.

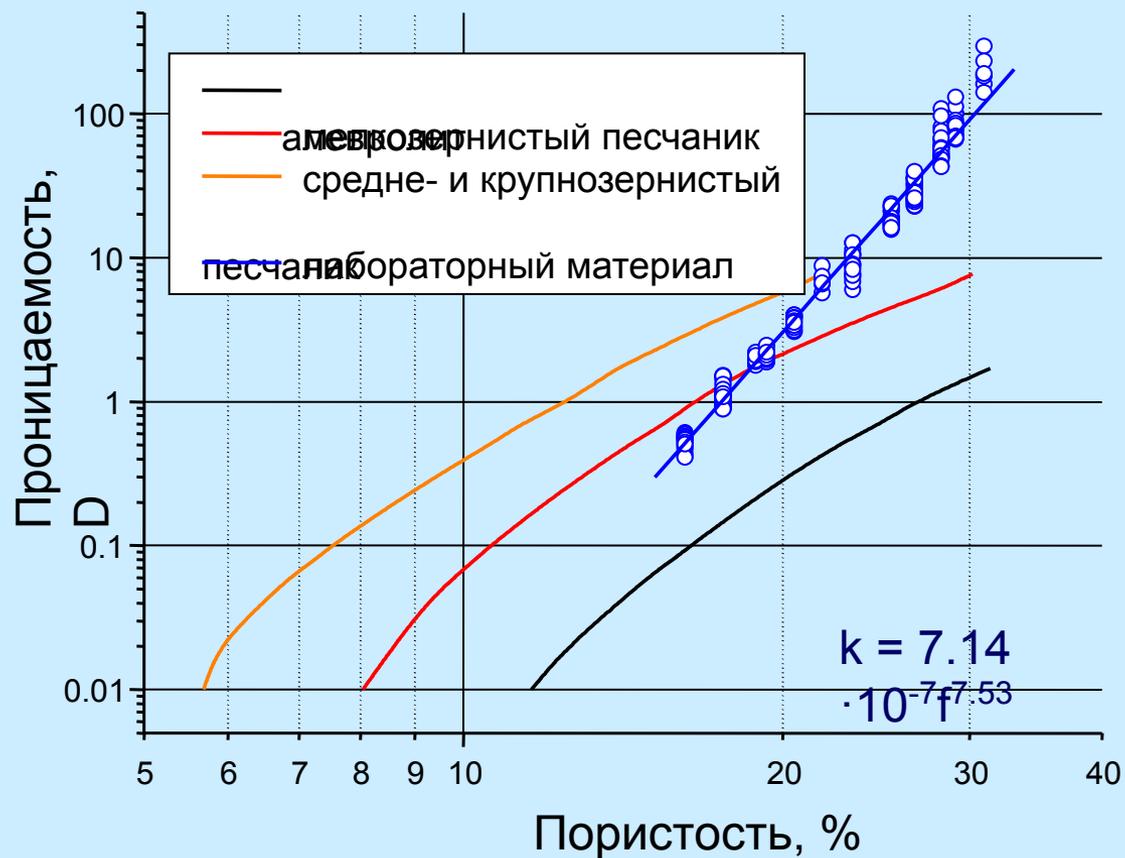
$$k = \mu \frac{q}{\frac{dp}{dx}}$$

- Обычно породами-коллекторами являются песчаники и карбонатные породы.

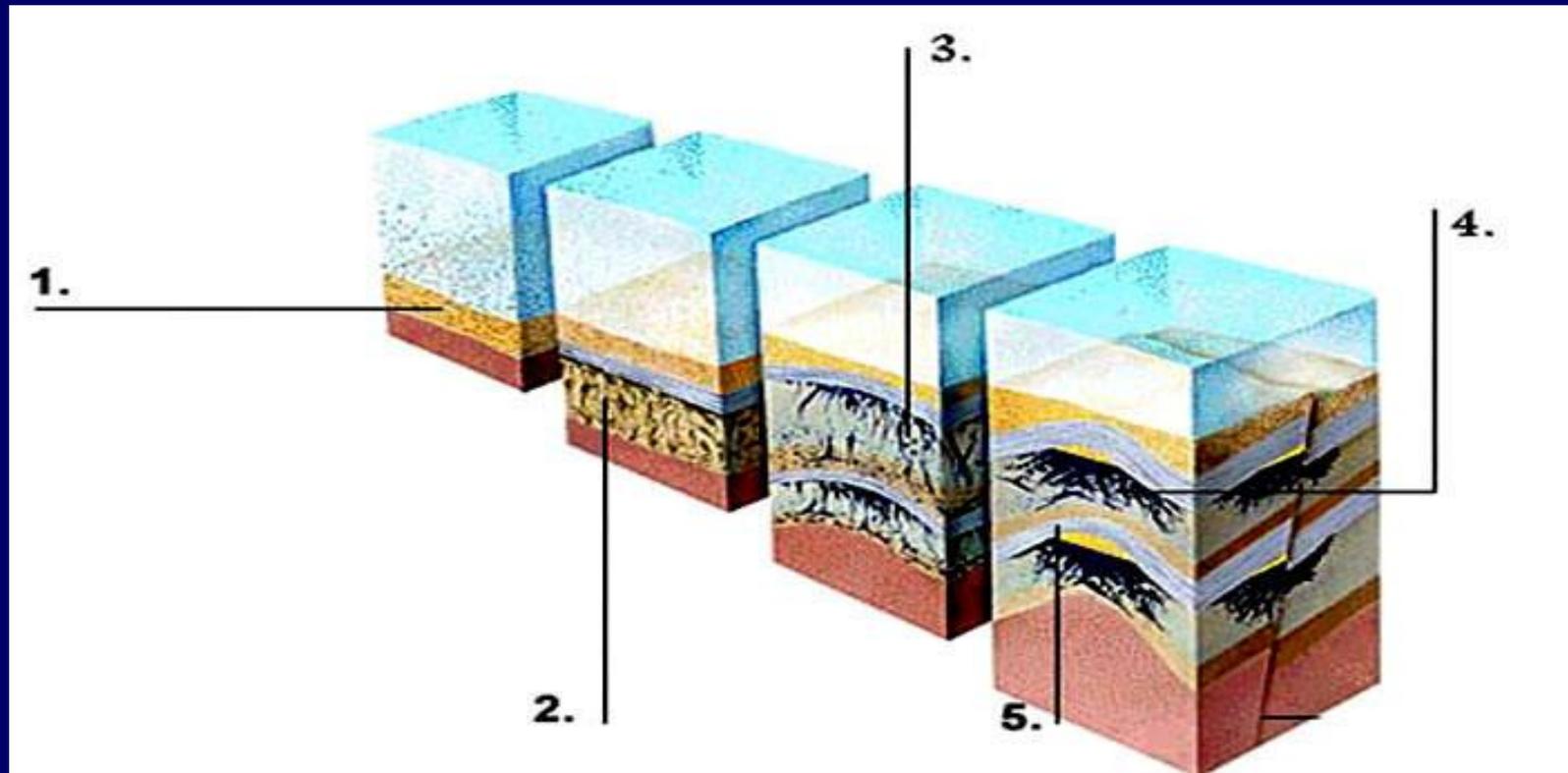
Породы-коллекторы



Связь проницаемости с пористостью

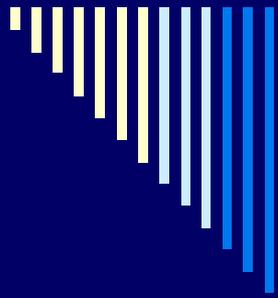


Формирование месторождений углеводородов



Формирование месторождения нефти в Северном море





Геофизические методы разведки месторождений углеводородов

- Сейсморазведка
- Гравиразведка
- Магниторазведка
- Электроразведка
- Каротаж скважин

Гравиразведка

применяется для выявления структур, потенциально содержащих нефть, и оконтуривания их границ: соляных куполов, антиклинальных складок, рифтовых массивов, куполовидных платформенных структур. В качестве прогностического признака рассматривается отрицательная аномалия гравитационного поля малой амплитуды (0,05-1 мГал) над нефтегазовой залежью на фоне гравитационного максимума над антиклинальными структурами за счет более высокой плотности водоносных пород.

$$\Delta g_B = g_n - \gamma_0 + \Delta g_1 + \Delta g_2 + \Delta g_3$$

g_n наблюдаемое значение

γ_0 нормальное значение ускорения свободного падения для геоида,

$$\gamma_0 = g_0 (1 + \beta \sin^2 \varphi - \beta_1 \sin^2 2\varphi + \beta_2 \cos^2 \varphi \cos 2\lambda),$$

φ географическая широта и долгота точек наблюдения

β коэффициенты, зависящие от формы Земли,

распределения масс, угловой скорости вращения

$$\beta = 0.0053024, \beta_1 = 0.0000059, \beta_2 = 0 \quad g_0 = 978.013 \text{ см/с}^2$$

$\Delta g_1 = 0.0086 \text{ мГал}$ - поправка за высоту над уровнем моря в км

$\Delta g_2 = 0.011 \text{ мГал}$ - поправка за притяжение масс между уровнем моря

и точкой измерения, σ - средняя плотность пород

Δg_3 поправка за рельеф

Магниторазведка

Имеет небольшое значение и используется только в комплексе с другими геофизическими методами. Вследствие немагнитности нефтегазонасыщенных пород они иногда выделяются отрицательными локальными магнитными аномалиями с амплитудой от единиц до сотен нанотесла.

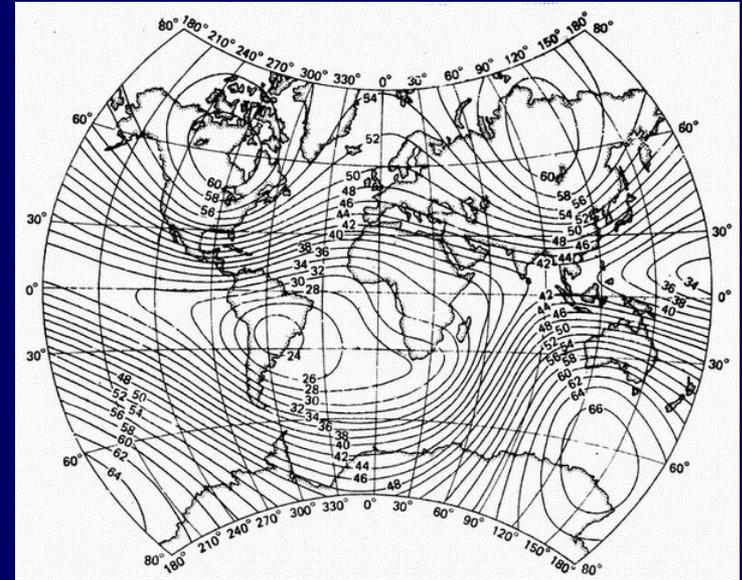
$$T_a = T - T_n$$

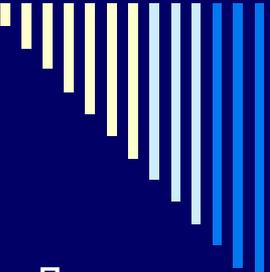
T — наблюдаемое значение напряженности магнитного поля

$T_n = T_0 + T_c$ — нормальное магнитное поле

T_0 — поле однородно намагниченного шара

T_c — поле дополнительных диполей в ядре, обеспечивающих материковые аномалии





Электроразведка

Достаточно эффективными методами для прямых поисков нефти и газа иногда оказываются **электрические и электромагнитные зондирования**.

Нефтегазонасыщенные коллекторы выделяются повышенными по сравнению с окружающими породами удельными электрическими сопротивлениями по следующим причинам:

- более высоким сопротивлением самих нефтегазоносных пластов за счет наличия непроводящих ток нефти и газа в породах высокой пористости
- более низкой минерализацией подземных вод (в контуре нефтеносности) и их специфическим химическим составом
- уплотнением пород за счет высокого пластового давления, а также карбонатизации пород.

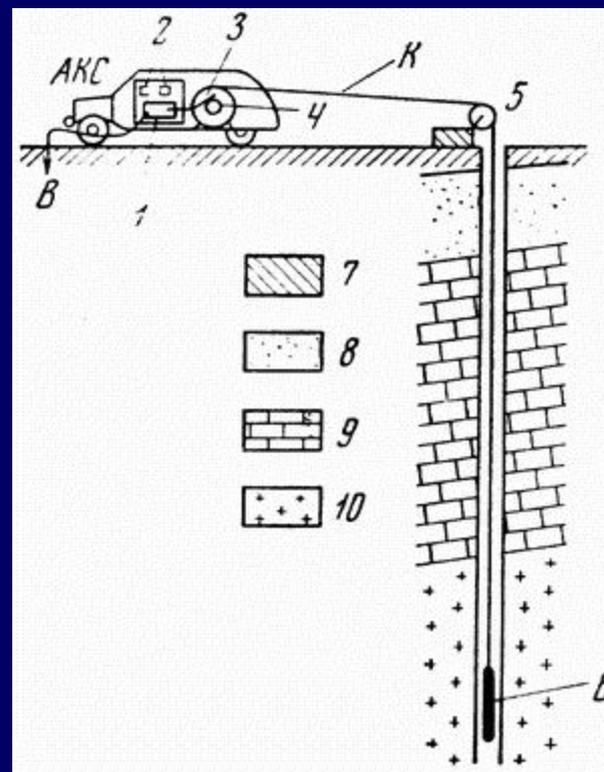
Электрическое зондирование - измерение сопротивлений на постоянном или низкочастотном (до 20 Гц) токе, при котором расстояние между питающими электродами или между питающими и приемными линиями (разнос) постепенно увеличивается. Строятся графики зависимости кажущегося сопротивления от разноса, что характеризует изменение удельных электрических сопротивлений с глубиной.

Метод **электромагнитного зондирования** основан на изучении электрической или магнитной составляющих электромагнитного поля, созданного в Земле электрическим диполем или петлей, питаемыми переменным током с постепенно меняющейся частотой. Принцип метода основан на скин-эффекте и сводится к измерению силы тока в питающем и разностей потенциала на приемном диполе и петле.

Каротаж скважин

- изучение околоскважинных пространств путем исследования геофизических полей в скважинах, а также между ними и земной поверхностью с использованием следующих методов:

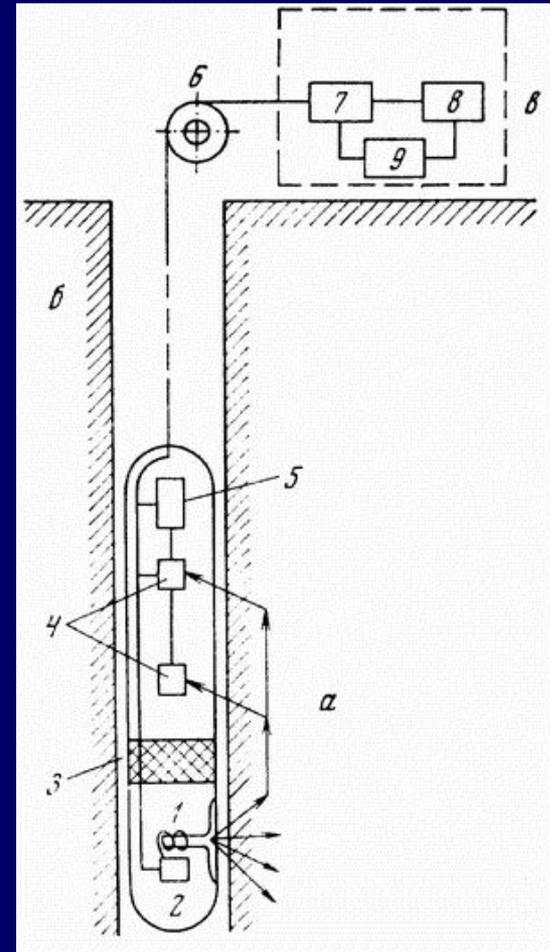
- сейсмоакустических
- электрических
- ядерных
- магнитных
- термических



Сейсмоакустический каротаж

Сейсмоакустический каротаж основан на измерении времени пробега упругих волн по породам, окружающим стенки скважин, от пункта возбуждения до сейсмоприемников.

- При **сейсмическом каротаже** упругие волны возбуждаются на поверхности с помощью взрывов или электрических дуговых разрядов, а время прихода колебаний **частотой 50 - 200 Гц** измеряется при разном погружении сейсмоприемников по стволу скважины.
- При **акустическом каротаже** возбуждение упругих колебаний частотой **10 КГц - 2 МГц** производится с помощью магнитострикционных (или иных) излучателей в скважине. Упругие колебания измеряют с помощью двух датчиков, расположенных по одной линии на расстояниях 0,5 - 2 м друг от друга и от излучателя



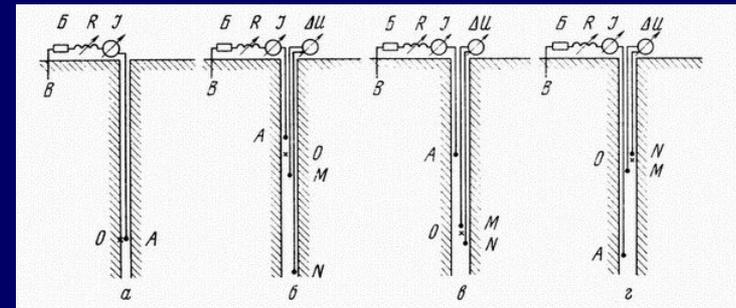
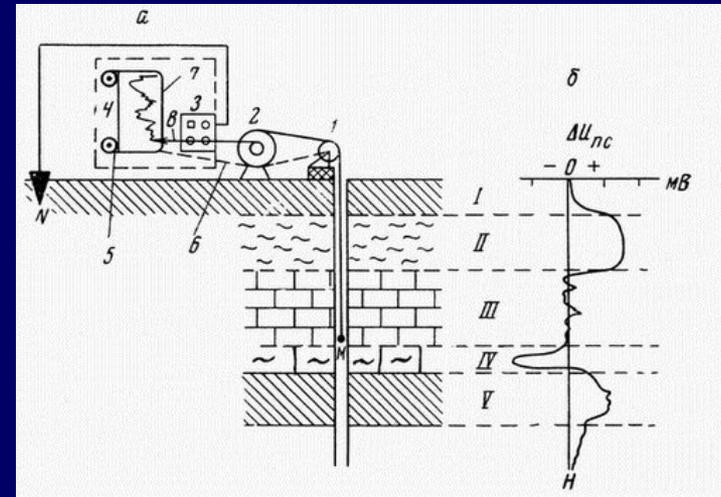
Электрические методы исследования скважин

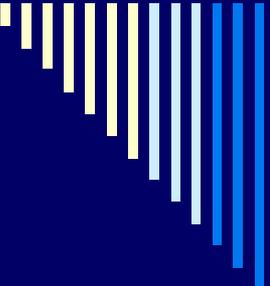
□ **Метод естественного поля**

измерение постоянных естественных потенциалов, возникающих у пластов с разной электрохимической активностью

□ **Метод кажущихся сопротивлений.**

измерение удельного электрического сопротивления





Ядерные методы исследования скважин

- **Гамма-каротаж**

Регистрируется естественная радиоактивность.

- **Исследования с искусственным облучением горных пород**

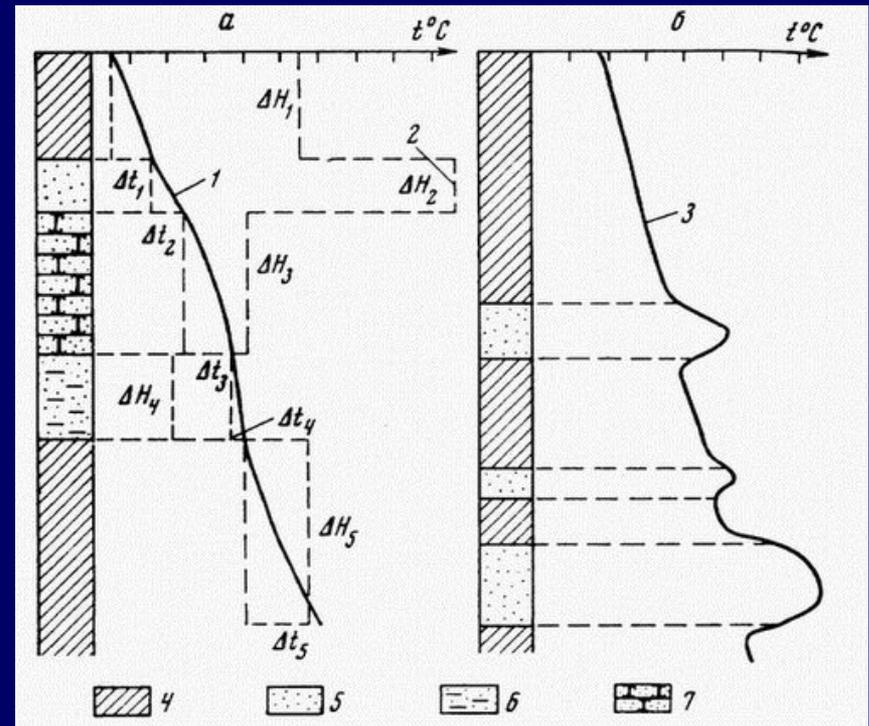
Изучаются явления поглощения, замедления, рассеяния гамма-лучей и нейтронов, а также вызванное, вторичное радиоактивное излучение

- **Гамма-гамма-каротаж.** Измеряется рассеянное гамма-излучение, являющееся следствием облучения пород источником гамма-лучей и ряда процессов, среди которых основные - фотоэлектрическое поглощение гамма-квантов, комптон-эффект. Против пористых пород с малой плотностью на диаграммах гамма-гамма-каротажа наблюдаются максимумы.

- **Нейтронные методы каротажа.** Регистрируются ядерные процессы, происходящие при облучении пород быстрыми нейтронами. Если порода содержит большое количество ядер водорода (вода, нефть, газ), то быстрые нейтроны превращаются в тепловые вблизи источника. Поскольку тепловые нейтроны подвержены радиационному захвату с сопровождающим его вторичным гамма-излучением, то с ростом тепловых нейтронов растет вторичное гамма-излучение. При **нейтрон-нейтронном каротаже** измеряется плотность тепловых нейтронов или их интенсивность. При **нейтронном гамма-каротаже** измеряется интенсивность вторичного гамма-излучения, возникающего при радиационном захвате тепловых нейтронов.

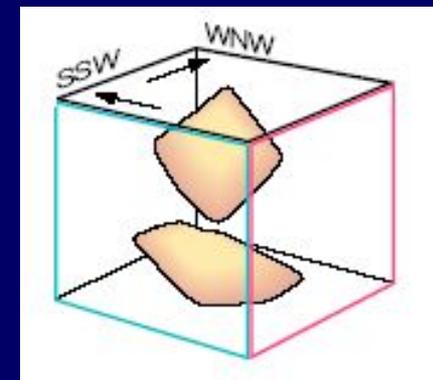
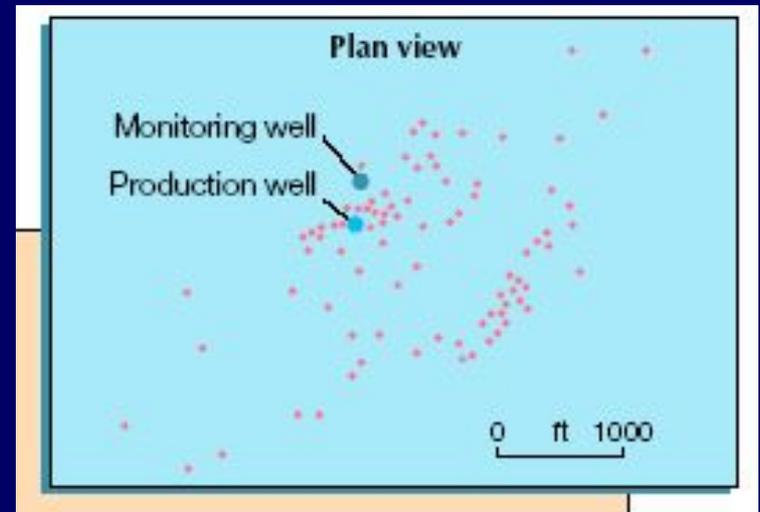
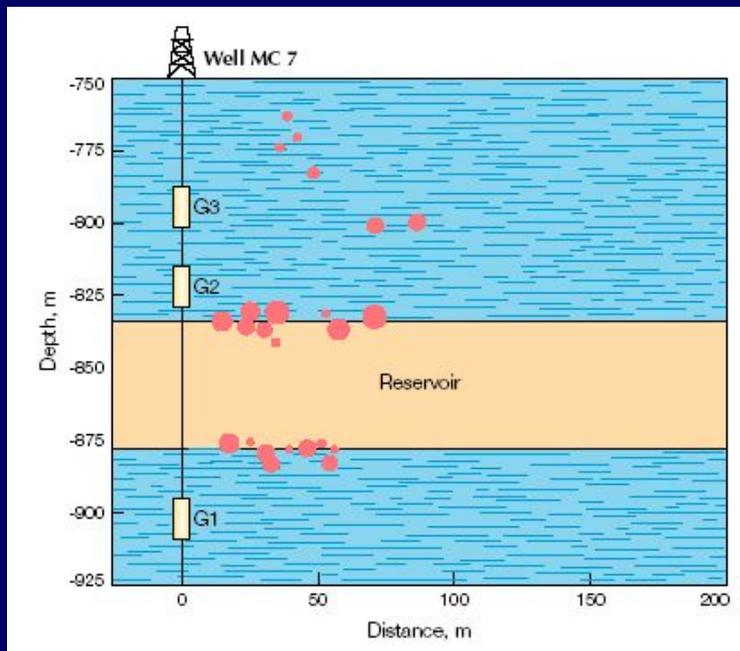
Термический и ядерно-магнитный каротаж

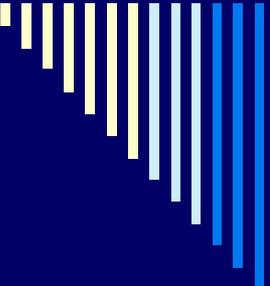
- При термическом (или геотермическом) каротаже вдоль ствола скважины непрерывно регистрируется температура среды
- При ядерно-магнитном каротаже изучается свободная прецессия протонов жидкости, окружающей ствол скважины, после выключения искусственного намагничивающего поля.



Пассивный сейсмический мониторинг

Регистрация упругих волн от естественных и техногенных сейсмических событий. Определение гипоцентров и магнитуд сейсмических событий





Литература

- Олейников А.Н. Геологические часы. Ленинград "Недра" 1987.
 - Бурштар М.С. Основы теории формирования залежей нефти и газа. М., Недра, 1973.
 - Sheriff R. E. Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics. IV edition. SEG, Tulsa, 2002.
 - Хмелевской В.К. Геофизические методы исследования земной коры. Международный университет природы, общества и человека «Дубна» 1997 г.
-