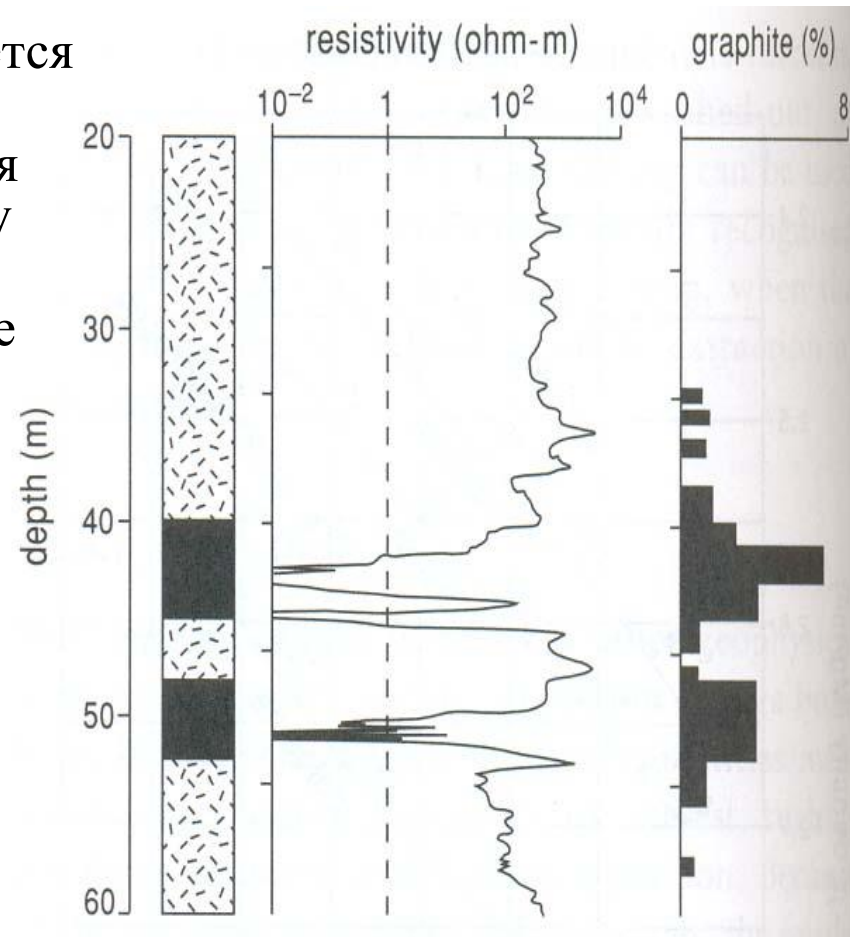


# Введение

- Геофизические исследования скважин (ГИС) - это методы геологической и технической документации проходки скважин, основанные на изучении в них различных геофизических полей. Термины- **каротаж** или промысловая, буровая геофизика.
- В более широком смысле ГИС - не только документация результатов бурения, с радиусом обследования до 1 - 2 м, но и изучение околоскважинных пространств путем исследования полей в скважинах, а также между ними и земной поверхностью при дальности в десятки и сотни метров.
- Геофизические методы исследования скважин предназначены для:
  - изучения геологического разреза (выявления пластов разной литологии, определения углов и азимутов их падения, выделения полезных ископаемых в разрезах, оценки пористости, проницаемости, коллекторских свойств окружающих пород и их возможной нефтегазоносной продуктивности).
  - контроль технического состояния скважин (определение их диаметров, искривления, наличия цемента в затрубном пространстве и др.), а также прострелочно-взрывные работы в скважинах (отбор образцов из стенок, перфорация обсадных колонн).
  - изучение физических свойства горных пород для интерпретации данных полевой геофизики.
- ГИС позволяет более эффективно организовывать разведку и эксплуатацию месторождений. Они обеспечивают резкое сокращение отбора образцов при бурении (керн), давая даже больше информации о разрезе, чем при сплошном отборе керна, сокращая при этом стоимость и время бурения.

# Введение

- Каротаж – запись вариаций измеряемых физических характеристик с привязкой по глубине.
- Извлечение керна неполное, часто отбирается одна проба на 10 м.
- Помимо отбора керна иногда используются стреляющие грунтоносы (выстрел в стенку полый цилиндрической пулей).
- Выполняется отбор флюидов (опробование пласта).
- Все это достаточно дорого и прорехи информации заполняются каротажем.  
- первый каротажный документ буровой журнал, т.к. скорость бурения зависит от состава пород.

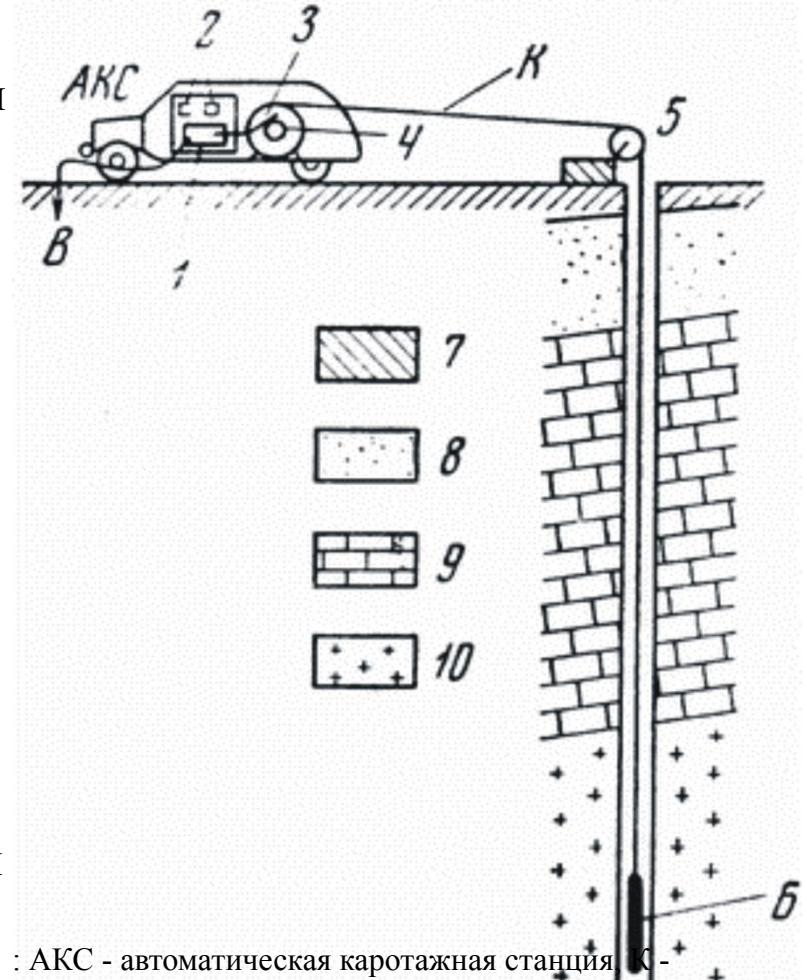


# Введение

- При геофизических исследованиях скважин используются те же методы и те же поля, что и в полевых геофизических методах (гравимагнитные, электромагнитные, сейсмоакустические, ядерно-физические, тепловые). Т.о. принципы теоретического решения задач - прямых (определение физических параметров поля по известному геофизическому разрезу) и обратных (определение физического разреза по наблюдаемым физическим параметрам) – одинаковы.
- В сравнение с приповерхностными исследованиями каротаж характеризуется:
  - более высокой детальностью,
  - тесной корреляцией с геологическими данными.
- Главные сферы применения каротажа:
  - разведка, оценка и добыча УВ сырья,
  - рудная разведка,
  - гидрогеология.
- Тысячи скважин бурится ежегодно по всему Миру, глубина забуривания которых от первых метров до 12261 м (СГ-3).
- Экономически главные скважины – нефтяные и газовые, пробуренные с целью разведки или добычи УВ.

# Оборудование для комплексных геофизических исследований скважин.

- К общему оборудованию каротажной станции относятся:
  - источники питания (батарея аккумуляторов);
  - приборы для регистрации разности потенциалов и силы тока;
  - лебедка, работающая от двигателя автомобиля и предназначенная для спуска и подъема каротажного кабеля в скважину (при каротаже глубоких скважин - более 3 км - лебедка устанавливается на отдельном автомобиле-подъемнике);
  - блок-баланс, располагающийся вблизи скважины и предназначенный для направления кабеля в скважину и синхронной передачи глубины расположения индикатора поля на лентопротяжный механизм регистратора;
  - одножильный, трехжильный или многожильный кабель в хорошей изоляции.

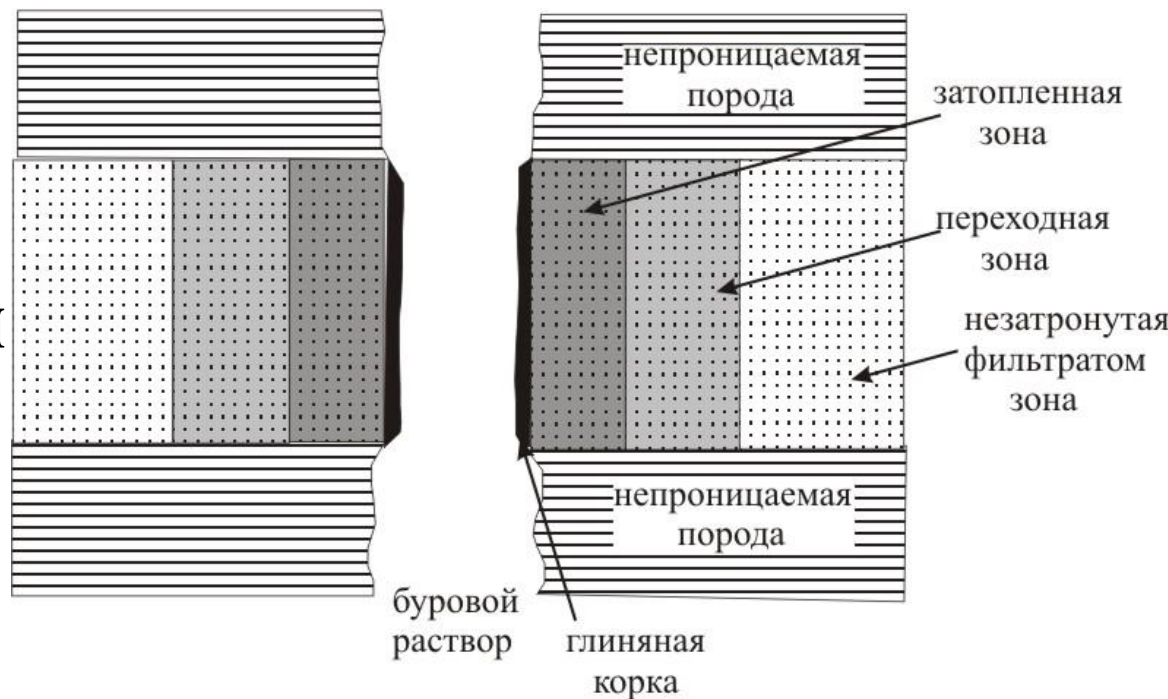


: АКС - автоматическая каротажная станция, К - каротажный кабель, 1 - источник питания, 2 - приборы для регистрации разности потенциалов и силы тока, 3 - лебедка, 4 - коллектор лебедки, 5 - блок-баланс, 6 - глубинный каротажный зонд, 7 - глины, 8 - пески, 9 - известняки, 10 - изверженные породы

# Бурение и его влияние на породы

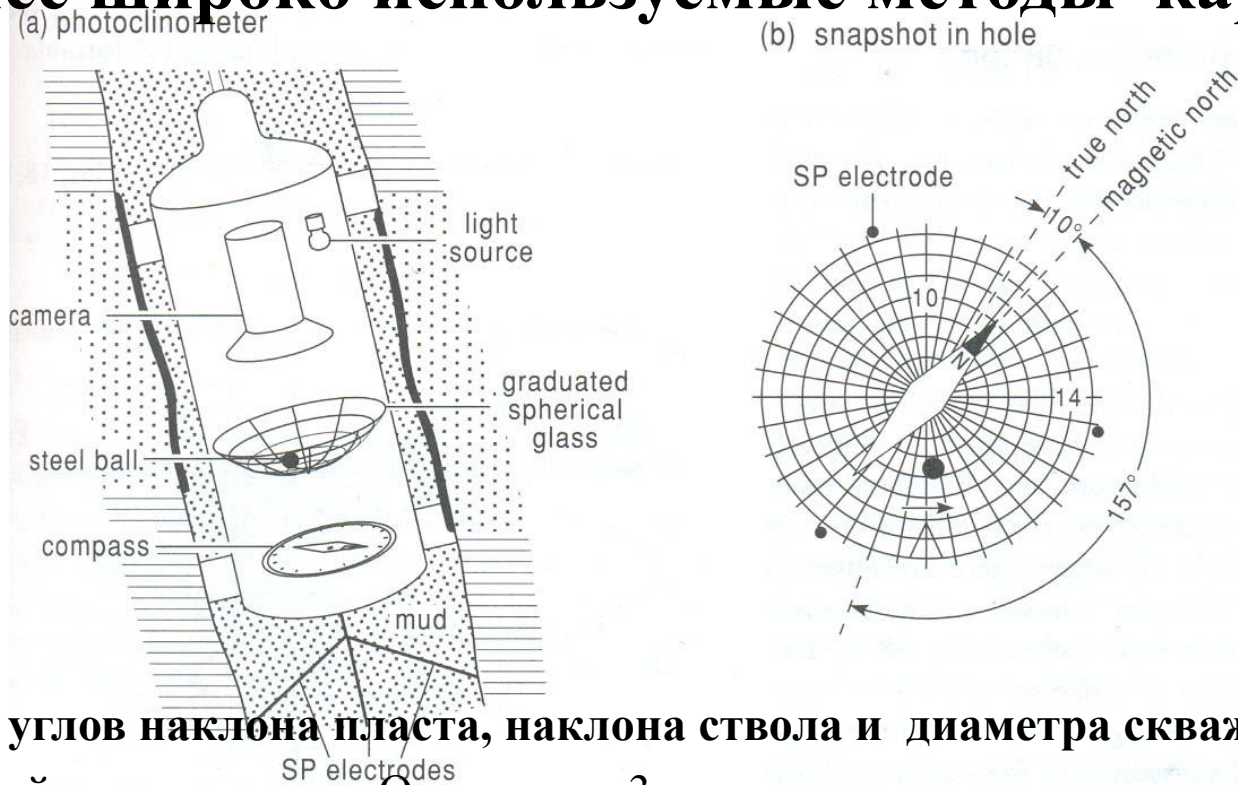
- Физические свойства вблизи скважины часто несут следы влияния бурения.
- Бурение выполняется вращающимся долотом, которое создает буровую муку из сланца, песок из песчаника, мелкие обломки из твердой породы.
- Бур прикреплен к низу буровой штанги, состоящей из труб 10-метрового размера. Иногда вращается вся штанга; чаще – бур вращается буровым раствором, нагнетаемым турбиной.
- Для каротажа свойства бурового раствора – принципиальны (особенно сильно р-р влияет на электропроводность):
  - т.к. инструмент находится в этой среде;
  - т.к. р-р проникает в горную породу и изменяет ее св-ва.

# Бурение и его влияние на породы



- Такие породы как песчаник действуют как фильтр. Выделяются три зоны по интенсивности проникновения бурового фильтрата.
- Эти зоны проявляются при проведении каротажа, например, методом сопротивлений, т.к. имеют разные сопротивления.
- Перед началом добычи УВ скважины обсаживаются металлическими трубами, которые оказывают большой эффект на каротажные исследования. Каротаж проводится до обсадки, а иногда и после

# Наиболее широко используемые методы каротажа



## 1. Измерения углов наклона пласта, наклона ствола и диаметра скважины.

а) Региональный наклон пласта. Оценить по 3-м скважинам не всегда возможно.

Используется каротажная диаграмма метода сопротивлений или ЕП, содержащая записи от 3-х электродов, размещенных на зонде под 1200 относительно друг друга (4-й зонд – на поверхности). Т.к. граница не перпендикулярна стволу скважины – электроды зафиксируют ее разную глубину по разным электродам.

б) Ориентация скважины и ее наклон отн. вертикали – фотоинклинометр. Распорки удерживают зонд параллельно стволу и измеряют диаметр. Отклонение шарика от центра градуированного сферического стекла – отклонение от вертикали. Проекция шарика на компас – ориентация. Фотокамера со вспышкой, управляемая сверху, ведет регулярную запись.

# Наиболее широко используемые методы каротажа (продолжение)

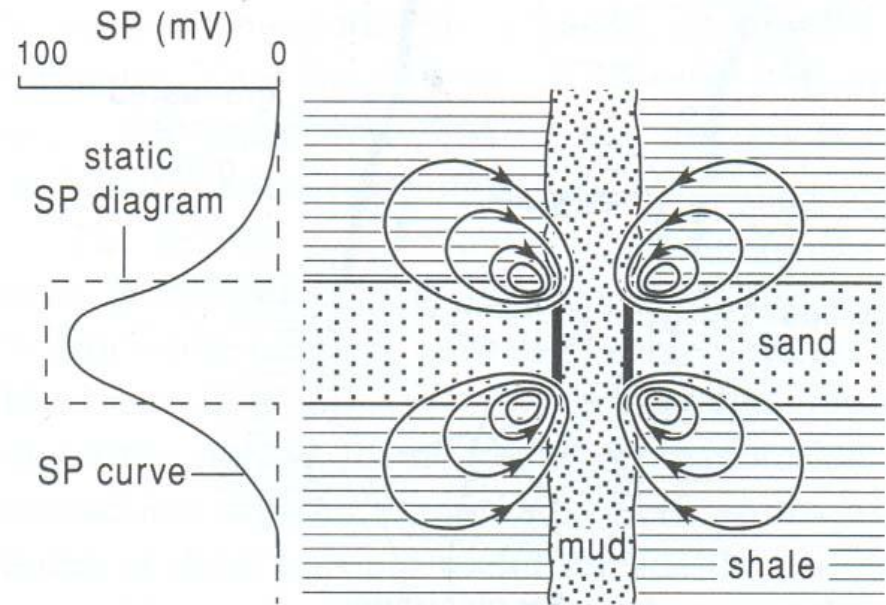
## 2. Каротаж ЕП.

Используется для:

- оценки глубины проницаемого пласта,
- измерение  $\rho_k$  для того, чтобы рассчитать  $S_{ув}$  (насыщенность УВ).

ЕП в нефтяных скважинах связан с границами пород с разной концентрацией флюидов (сланец-песчаник): на границе пласта сланцев накапливаются отрицательные ионы кислорода, которые отталкивают отрицательные ионы солей, растворенных в воде, позволяя положительным ионам проходить мимо.

ЕП достигают значений до 100 мВ (значительно меньше сульфидов).





# Наиболее широко используемые методы каротажа (продолжение)

## 3. Каротаж сопротивлений.

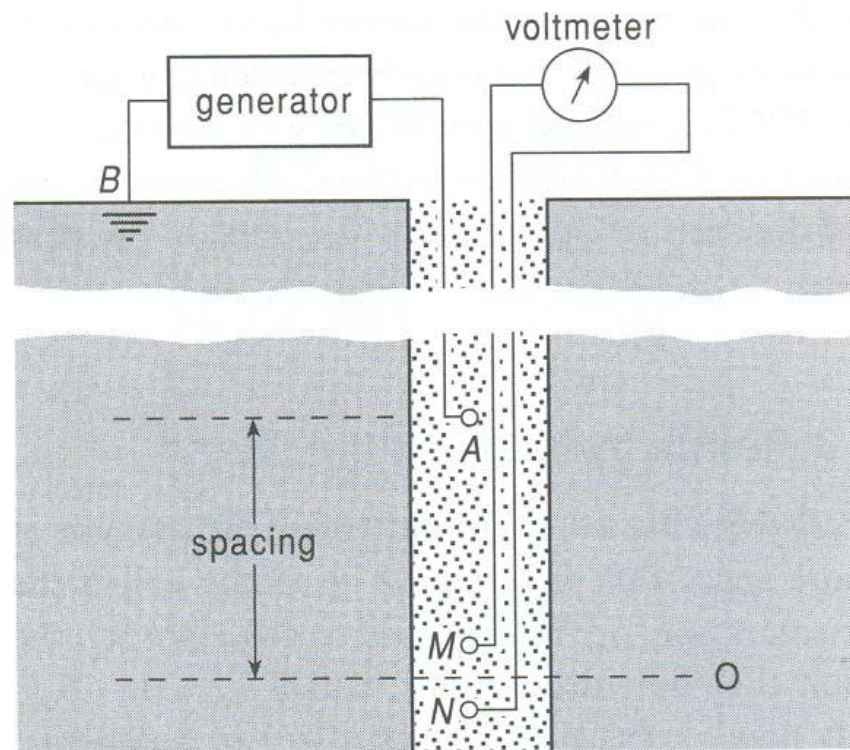
- Используется для определения «водонасыщенности»  $S_w$  - части порового пространства, заполненного водой. Используется для определения насыщенности пор углеводородами:

$$S_{hc} = 1 - S_w$$

Это возможно, т.к.  $\rho_{\text{осадков}}$  зависит от кол-ва воды в порах. Но  $\rho_{\text{осадков}}$  зависит от  $\rho_{\text{воды}}$  (в порах) и от величины пористости.

- Пример. Зонд имеет два измерительных электрода (M и N) и один питающий электрод (второй – на поверхности).

## Характерная система наблюдений



# Наиболее широко используемые методы каротажа (продолжение)

Гамма и ЕП каротаж в осадочной толще  
с чередованием песчаников и сланцев

## 4. Радиометрический каротаж.

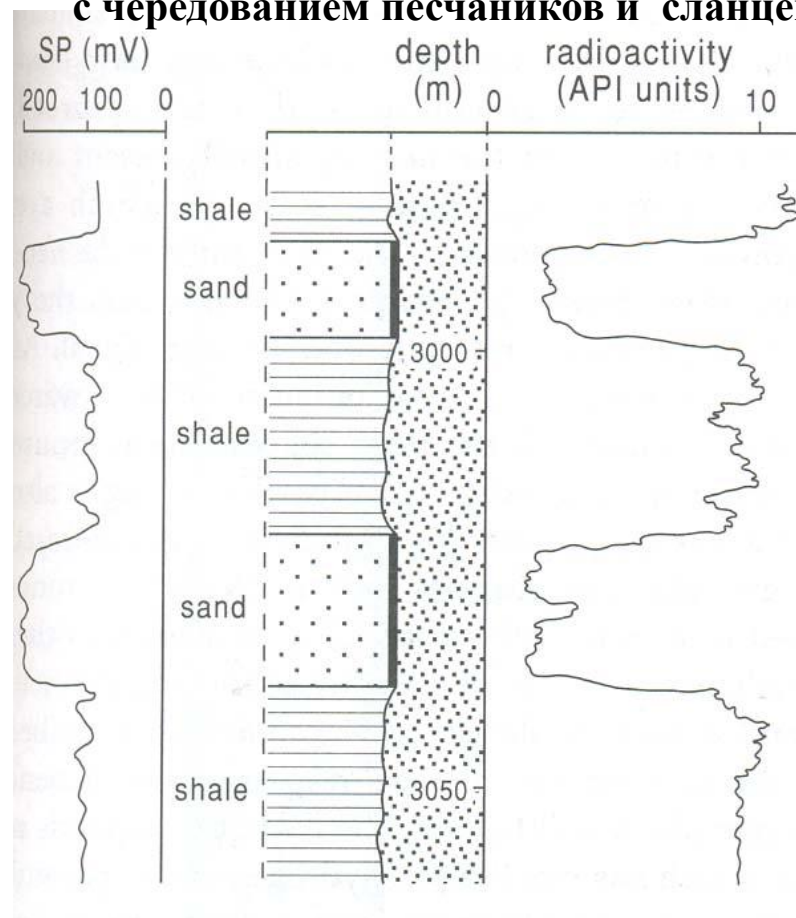
Используется для того, чтобы определить литологический состав пород разреза, оценить плотность и пористость.

Используется две группы радиометрических методов:

- а) Измерение естественной радиоактивности пород;
- б) Измерение излучения, индуцированного сильным источником в зонде.

4а) Дает общую природную радиоактивность, отвечающую суммарной концентрации U, Th, K.

Сланцы – наиболее р/а, пески- средний ур-нь, доломит, известняк – низко р/а.



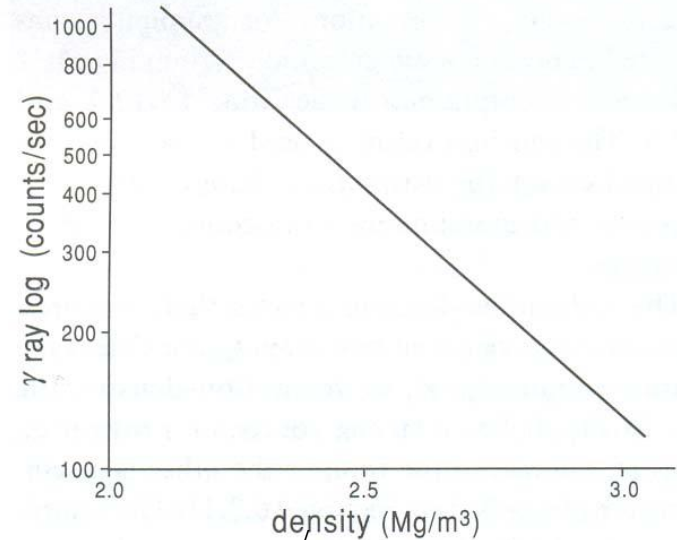
Кроме суммарной р/а применяется спектральная гамма-съемка, которая обеспечивает отдельное определение концентрации U, Th, K.

# Радиометрический каротаж с р/а источниками

## - гамма-гамма каротаж (плотностной).

Источник ( $^{137}\text{Cs}$ ) расположен на одном конце зонда; на другом – сцинтилляционный прибор. Прибор экранирован т.о., чтобы излучение не проходило напрямую – только от пород. Широко используется при изучении нефтегазоносных структур. Инструмент калибруется на плотность.

Отношение между числом отсчетов гамма-частиц и плотностью породы



Методы основаны на регистрации рассеянного породой гамма-излучения р/а источника, помещенного в геологическую среду или на ее поверхность.

Поток рассеянного g-излучения является функцией плотности и атомного номера вещества.

$$\Phi = f(s, Z_{эф}), \text{ где: } s - \text{ плотность, } Z_{эф} - \text{ атомный номер.}$$

Модификации гамма-гамма метода:

ГГМ-II - комптоновское излучение ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$ ) зависит преимущественно от  $s$ .

Детекторы = газоразрядные и сцинтилляционные счетчики. Применяется при измерении  $s$  пород и руд в естественном залегании (обнажения, стенки горных выработок, скважины).

ГГМ-C – используются изотопы  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{170}\text{Tm}$ ,  $^{75}\text{Ce}$ ,  $^{57}\text{Co}$ .

$$\Phi = f(Z_a)$$

Обычно применяется для определения содержания в рудах тяжелых элементов (Pb, W, Hg, Ba).

# Радиометрический каротаж с р/а источниками

- **нейтронный или каротаж пористости**. Источник (плутоний-бериллиевый) бомбардирует породы быстрыми нейтронами. Нейтроны замедляются только при столкновении с атомами сходной массы (водород).
- Как только они замедляются столкновениями они поглощаются ядрами тяжелых атомов. При этом испускается гамма-излучение, которое фиксируется прибором.
- Т.к. . водород – составляющая  $H_2O$  и УВ, то интенсивность излучения отвечает пористости.
- Сущность – регистрация потока замедлившихся нейтронов от помещенного в изучаемую среду источника быстрых нейтронов.
- Распределение тв г.п. замедлившихся до тепловой или надтепловой энергии нейтронов зависит от водородосодержания среды и присутствия в г.п. элементов с аномально высокими сечениями захвата нейтронов.
- Методы применяются для:
  - определения влажности грунтов и почв,
  - определения пористости г.п.,
  - определения содержаний элементов с высокими сечениями захвата тепловых нейтронов (В, Mn, Li, Tr, Hg)/
- Часто используется в скважинных исследованиях для оценки коллекторских св-в г.п.
- Проводятся съемки в м-х 1:25000 и крупнее.

# Наиболее широко используемые методы каротажа (продолжение)

## 5. Сейсмический каротаж

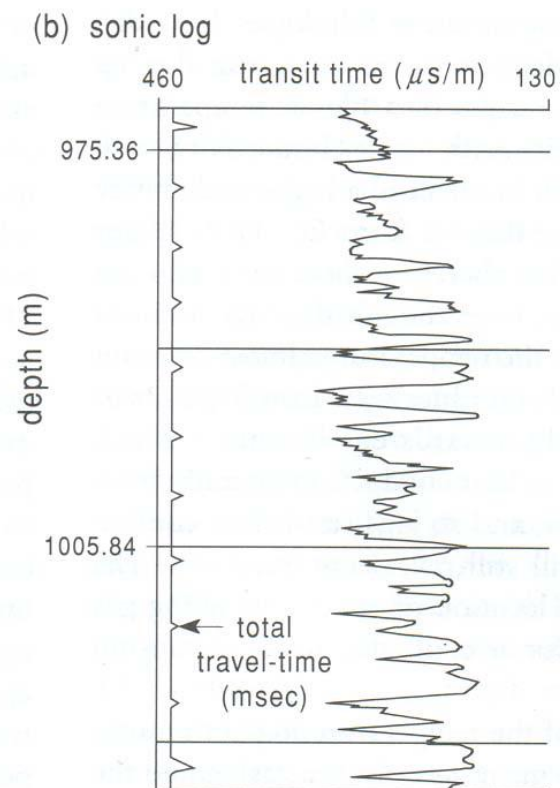
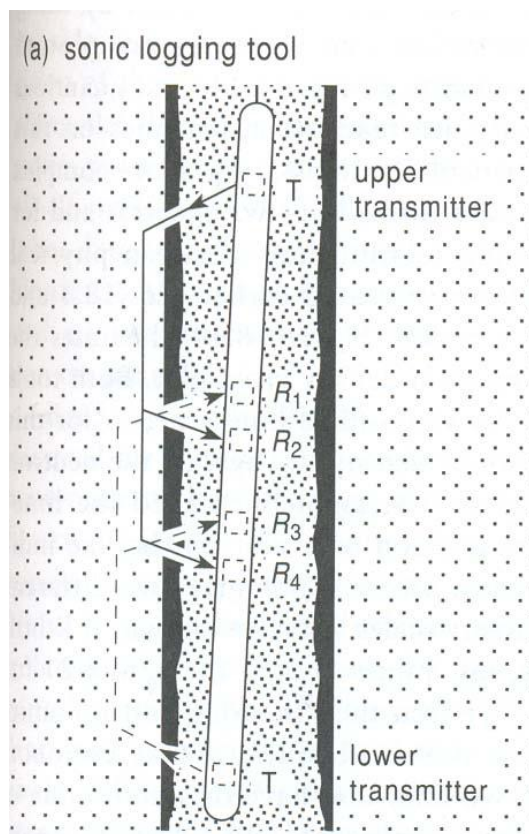
— используется для изучения скоростного разреза и привязки скоростных границ МОВ.

Прибор работает по схеме МПВ: импульсы производятся на каждом конце зонда, а принимаются:

- в двух приемниках  $R_1$ ,  $R_3$  от нижнего источника;
- и в двух —  $R_2$ ,  $R_4$  - от верхнего.

-Рассчитывается кажущаяся скорость  $V_p$  породы.

-Частоты — от 20 до 40 кГц.



# Наиболее широко используемые методы каротажа (продолжение)

## 6. Температурный каротаж.

Применяется для:

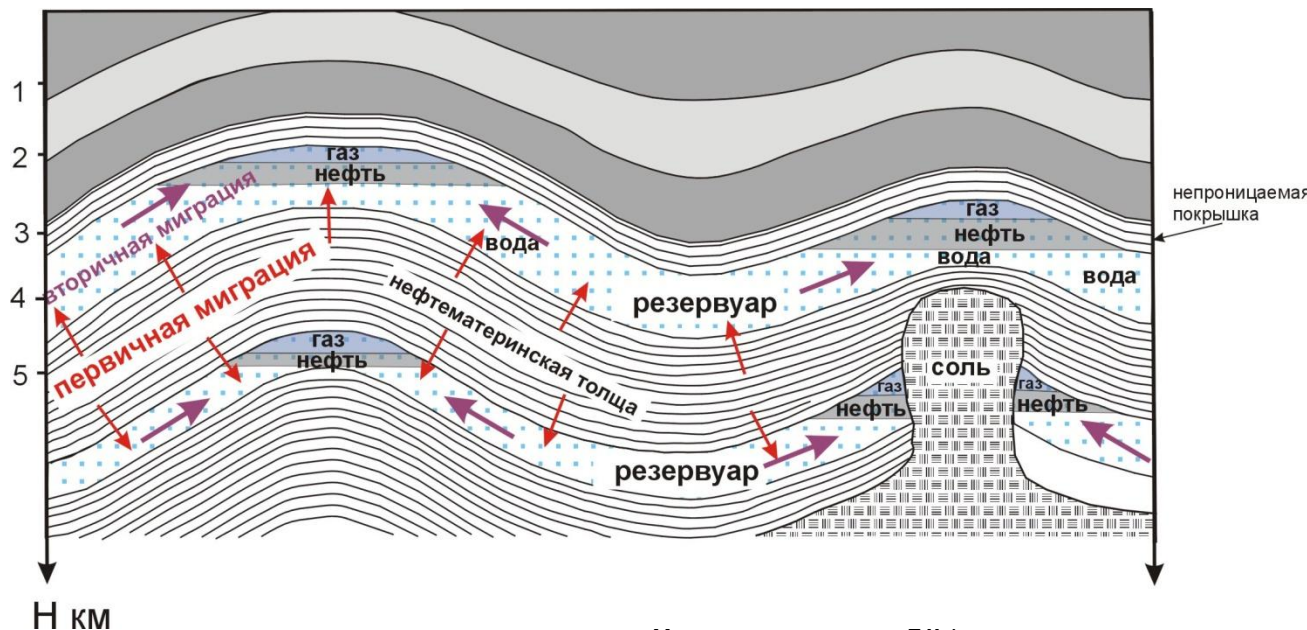
- введения поправок в сопротивления,
- выделения литологических границ в связи с их разной теплопроводностью.

## 7. Магнитный каротаж.

- а) метод естественного магнитного поля. Измеряется напряженность магнитного поля Земли в целях геологического расчленения разрезов и выявления железосодержащих руд ;
  - б) метод искусственного магнитного поля . Измеряется отклик среды на поле магнита в целях геологического расчленения разрезов и выявления железосодержащих руд .
- ## 8. Гравитационный каротаж.
- Фиксируются аномалии силы тяжести в целях геологического расчленения разрезов

# Каротаж скважин в нефтяной промышленности

• Главные свойства резервуара – пористость, проницаемость, насыщенность УВ. Чтобы определить интересующие нас параметры нужно выполнить широкий комплекс геофизических измерений.



- Содержание нефти в породе в пределах месторождений в среднем 5%.
- Нефть из нефтематеринской породы перемещается в пористые породы (резервуар) в результате **первичной миграции**.
- В пределах резервуара нефть перемещается в ловушку – **вторичная миграция**.
- Наиболее распространенный тип ловушек – антиклинали. Зональность залежи УВ – внизу нефть, выше – газ.
- Нефтяные бассейны, приуроченные к одной структуре – **поле**.  
Размеры поля – от 5 до 3000 км<sup>2</sup>. Поле размером 25 км<sup>2</sup> может содержать 136 000 млн. тонн.

Бассейны - от 0.5 км<sup>2</sup> до n100 км<sup>2</sup> с вертик. размером от n10м до n100 м. Обычно располагаются на глубинах от 0.5 до 3 км. Более 6 км-редко.

# Каротаж скважин в нефтяной промышленности

- **1. Пористость** – часть г.п., выполненная поровым пространством:
    - первичная пористость межзернового пространства,
    - вторичная пористость – деформации (трещины) или поры, образованные растворами (известняк).
  - Из электроразведки известно, что пористые породы заполненные водой имеют повышенную электропроводность. Отмечается корреляция пористости и электропроводности. Электропроводность в большей степени (в сравнении с содержанием УВ) зависит от содержания воды. Этот эффект усиливается засоленностью вод.
  - Пористость влияет на плотность и скорость сейсм. волн. Эти зависимости лежат в основе оценки Приходится применять комбинацию различных видов каротажа для оценки пористости.
  - **2. Насыщенность УВ.**
    - $S_{УВ}$  - часть порового пр-ва, заполненного УВ.
    - $S_{Вода}$  - часть порового пр-ва, зполненного водой.
- Чем больше уд. эл. сопр-е, тем больше  $S_{УВ}$ , т.к. УВ – изолятор.



# Каротаж скважин в нефтяной промышленности

## (продолжение)

- **3. Проницаемость** определяется тем, насколько легко флюид проходит через пласт. В общем сильно зависит от пористости, но не полностью определяется ей.

- Мелкозернистые г.п. с высокой пористостью обычно имеют низкую проницаемость, но некоторые г.п. (известняк) с малой пористостью проницаемы благодаря высокой трещиноватости.

Проницаемость м.б. измерена на образцах в лаборатории; в скважинах она оценивается по пористости и составу (на основе сопоставления с аналогичными породами).

Проницаемость измеряется в **миллидарси (мд)**: 1 мд – флюид с вязкостью в 1 сантипуаз (сп) движется со скоростью 1 см/сек под давлением 1 атм.

**4. Мощность** проницаемых пластов, содержащих нефть, м.б. определена каротажем по смене интенсивности измеряемых геоф. х-к на границах.

**5. Остаточная насыщенность УВ** – оценивается в ходе эксплуатации месторождений методами:

- э/р сопротивлений,
- э/р ЕП,
- геотермии ( т.к. температура влияет на сопротивление).