

Тема 1. Физико-химические свойства пластовых флюидов и пород-коллекторов

ЛЕКЦИЯ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ТИПЫ ЗАЛЕЖЕЙ УВ/СЫРЬЯ СВОЙСТВА ПОРОД- КОЛЛЕКТОРОВ

Углеводороды (УВ)

- **Нефть**
- **Газ**
- **Конденсат**
- **Природные битумы**

скопление УВ, сосредоточенное в ловушке, ограниченные КРОВЛЕЙ и ПОДОШВОЙ, в количестве, достаточном для промышленной разработки, называют **ЗАЛЕЖЬЮ**

✓ ПЛАСТОВАЯ

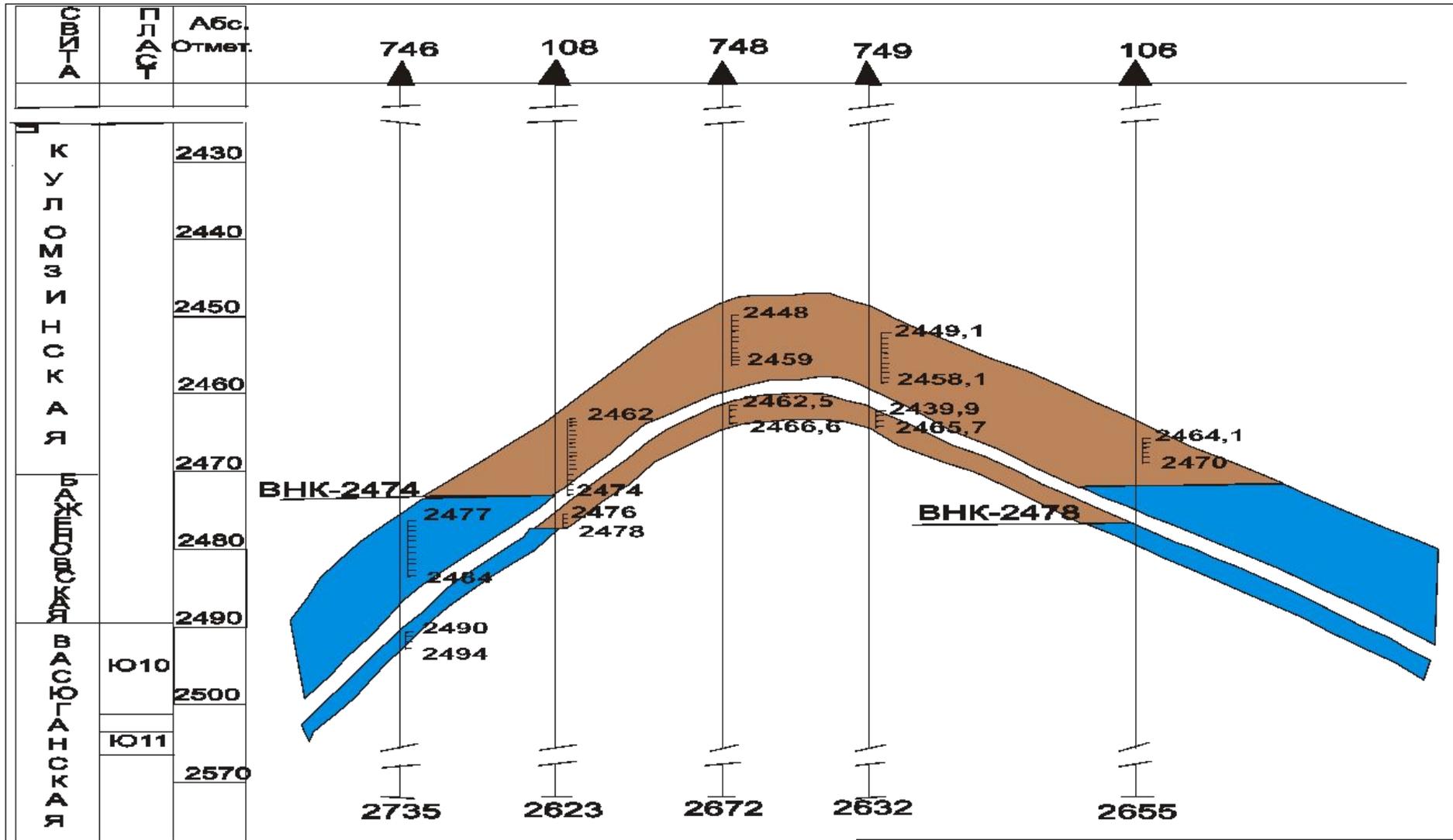
✓ МАССИВНАЯ

✓ ЛИТОЛОГИЧЕСКИ ОГРАНИЧЕННАЯ

✓ СТРАТИГРАФИЧЕСКИ ОГРАНИЧЕННАЯ

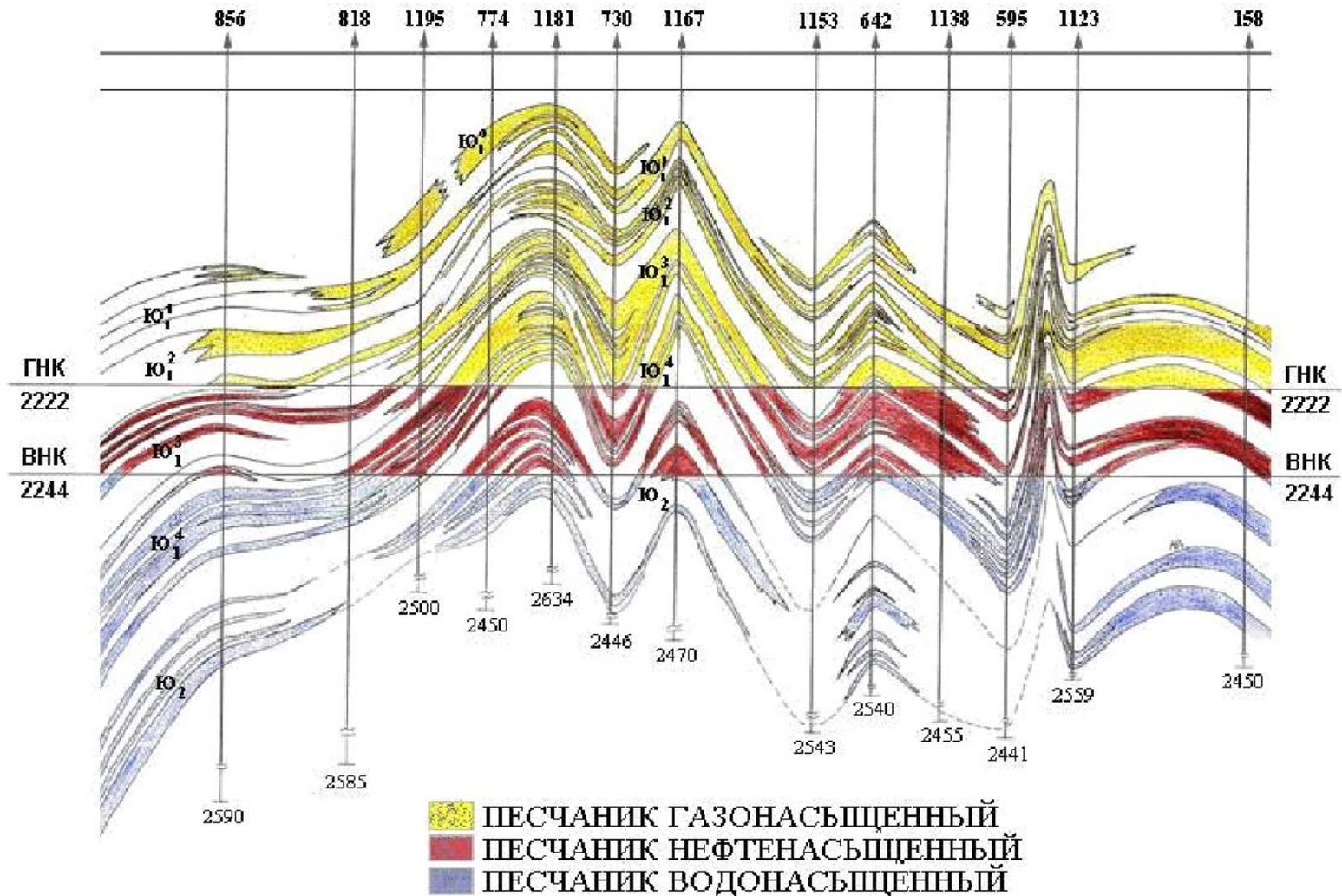
✓ ТЕКТОНИЧЕСКИ ЭРАНИРОВАННАЯ

ПЛАСТОВЫЙ ТИП ЗАЛЕЖИ



МАССИВНЫЙ ТИП ЗАЛЕЖИ

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ЛУТИНЕЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



а – пластовые сводовые; б – литологически экранированные, в – тектонически экранированные, г – стратиграфически экранированные

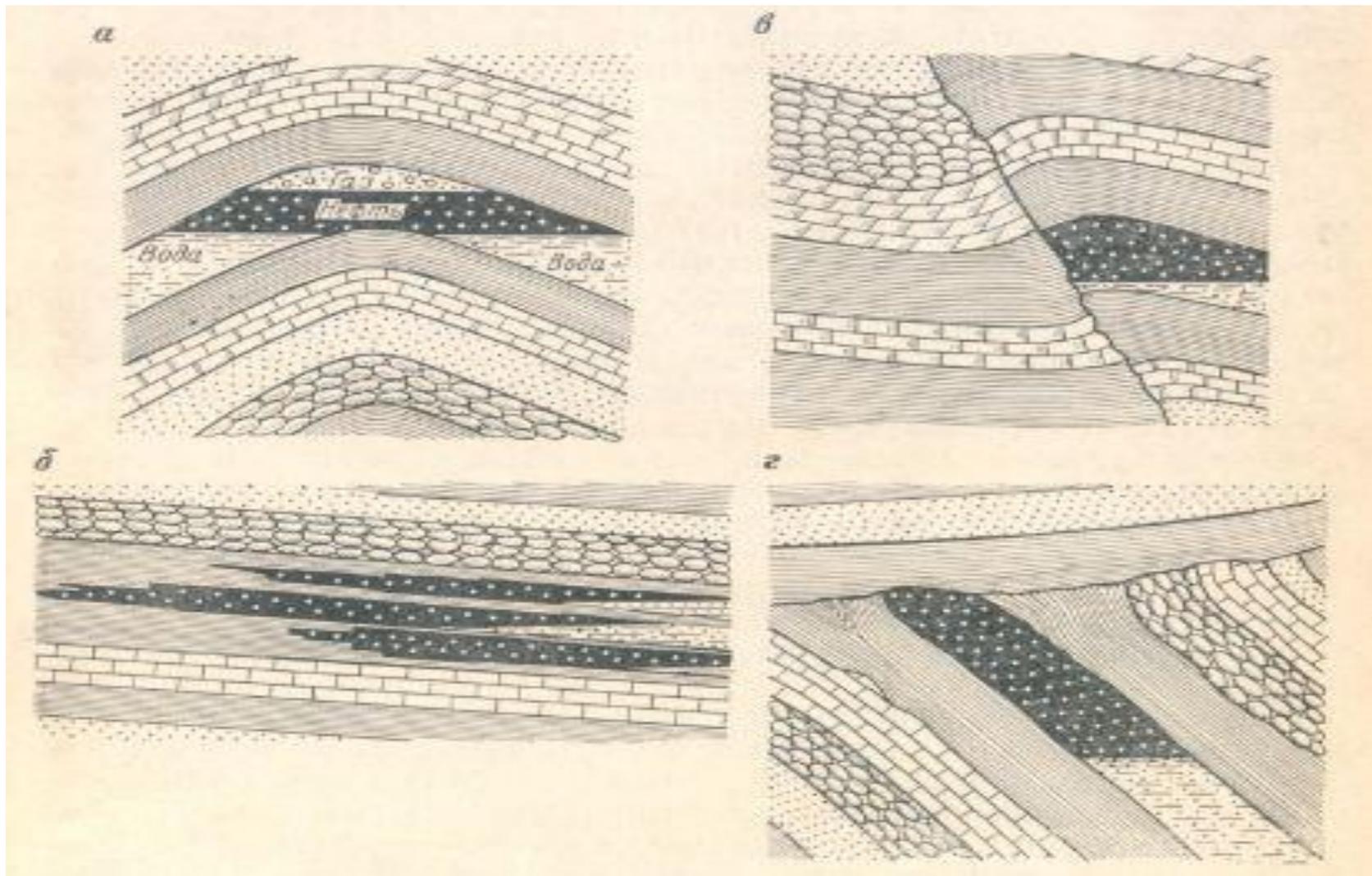
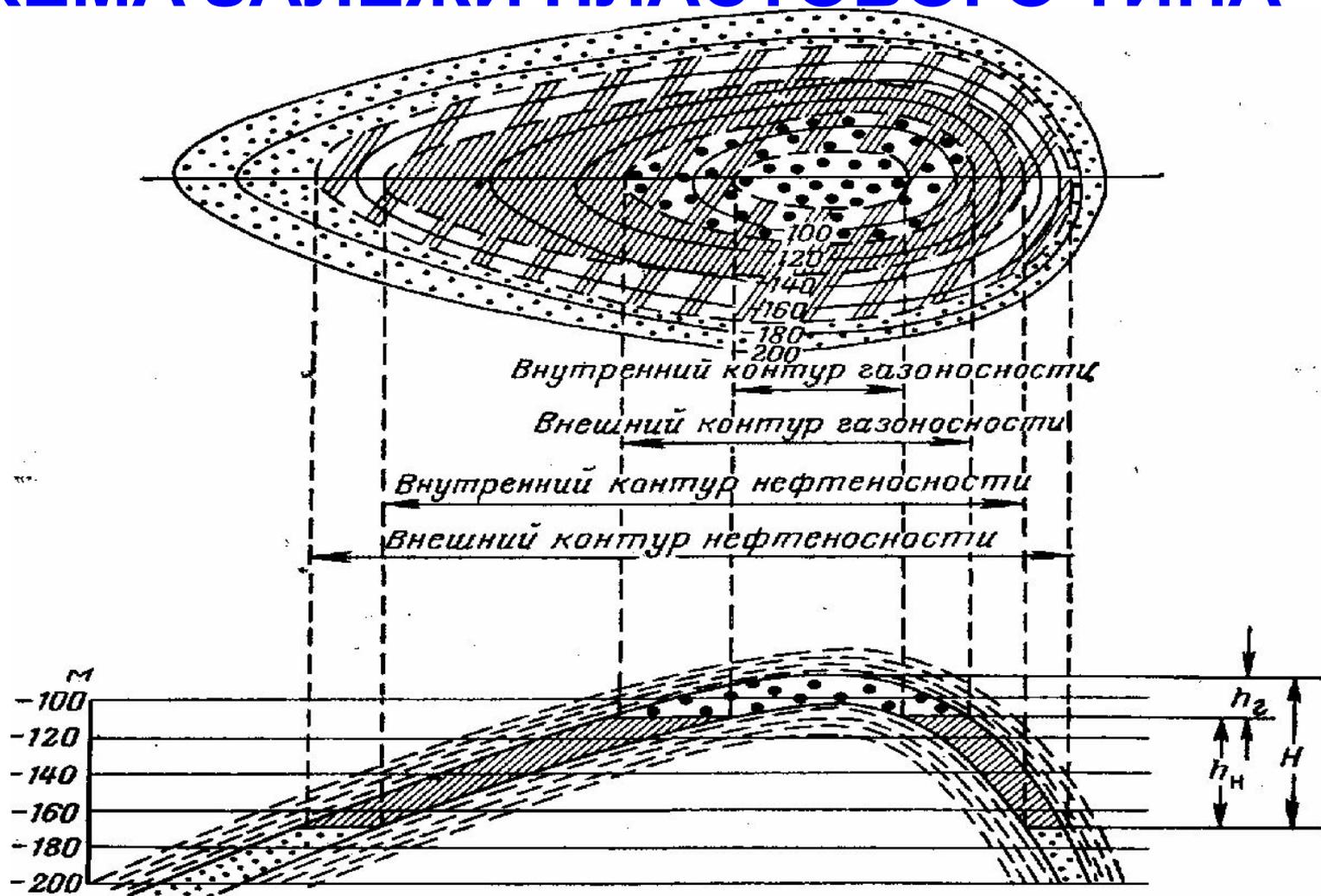


СХЕМА ЗАЛЕЖИ ПЛАСТОВОГО ТИПА



ЧАСТИ ПЛАСТА: 1 — водяная; 2 — водонефтяная; 3 — нефтяная; 4 — газонефтяная;
5 — газовая; 6 — породы-коллекторы; H — высота залежи;
 h_g , h_n — высоты соответственно газовой шапки и нефтяной части залежи

МЕСТОРОЖДЕНИЕМ нефти и газа называют совокупность залежей, приуроченных территориально к одной площади и сведенных с благоприятной тектонической структурой

понятия месторождение и залежь равнозначны, если на одной площади имеется всего одна залежь, такое месторождение называется *однопластовым*

месторождение, имеющее залежи в пластах (горизонтах) разной стратиграфической принадлежности, называют *многопластовыми*

НЕФТЬ в переводе на русский

означает

- «**земляная**» смола, «каменное» или «горное» масло
- «**нафата**», что значит «просачиваться», «вытекать»
- В русский язык слово «нефть» введено в 18 веке. До этого употребляли названия земляное масло, земляная смола, ропа, ропанка, вода густа горящая

Применение нефти

- Раскопками на берегу Евфрата ([река в Турции, Сирии](#), Сирии и [Ираке](#), самая крупная в Западной Азии) установлено существование Н. промысла за 6000—4000 лет до н. э. (применение Н. в качестве топлива, а Н. битумов — в строительном и дорожном деле)
- [В древнем Египте](#) Н. использовалась для [бальзамирования](#) покойников
- [Плутарх](#) Плутарх и [Диоскорид](#) Плутарх и Диоскорид упоминают о Н., как о топливе, применявшемся в [Древней Греции](#)
- В средние века интерес к нефти, в основном, основывался на её способности гореть. С [VII века](#) В средние века интерес к нефти, в основном, основывался на её способности гореть. С VII века н.э. [византийцы](#) использовали [греческий огонь](#) ([смесь нефти с негашеной известью](#)), которая воспламенялась при увлажнении. Использовалась против вражеских кораблей: ей смазывали наконечники стрел или изготавливали примитивные гранаты
- Около 2000 лет назад было известно о залежах Н. в Сураханах около Баку (Азербайджан)
- К 16 в. относится сообщение о «горючей воде» — «густе», привезённой из Ухты в [Москву](#) К 16 в. относится сообщение о «горючей воде» — «густе», привезённой из Ухты в Москву при [Борисе Годунове](#).
- Первый завод по очистке нефти был построен в [России](#) Первый завод по очистке нефти был построен в России в [1745 году](#) Первый завод по очистке нефти был построен в России в 1745 году, в период правления [Елизаветы Петровны](#) Первый завод по очистке нефти был построен в России в 1745 году, в период правления Елизаветы Петровны, на Ухтинском нефтяном промысле. В [Санкт-Петербурге](#) Первый завод по очистке нефти был построен в России в 1745 году, в период правления Елизаветы Петровны, на Ухтинском нефтяном промысле. В Санкт-Петербурге и в [Москве](#) тогда пользовались свечами, а в малых городах — лучинами. Не уже тогда во многих церквях горели церковные

История добычи

нефти

Первоначально нефть собирали в местах естественного выхода. Первым способом добычи стал **ямный** (или копаночный): копанки - неглубокие ямы (до двух метров), на дне которых скапливалась нефть, просачивавшаяся через почву

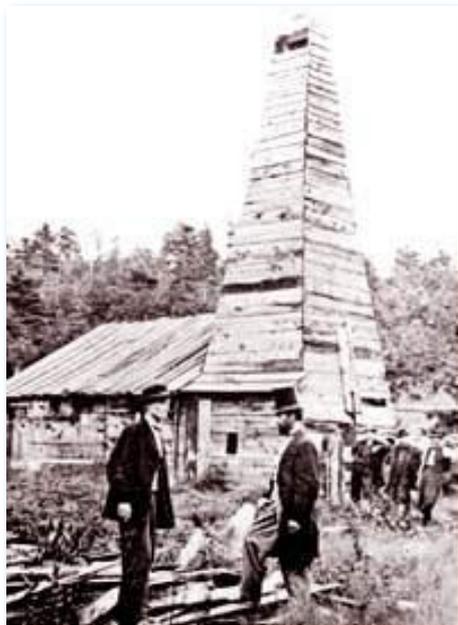
Следующим способом нефтедобычи стал **колодезный**
1594г.(H=35м) Балаханский нефтяной промысел -

Азербайджан - мастер *Аллах-Яр Мамед Нур-оглы* (125 колодцев с 1594 по 1826 гг.)

В середине XIX в. появились нефтяные **скважины**

Первая в мире скважина пробурена на **Биби-Эйбате** (вблизи Баку) в 1846 г. по предложению инженера горного ведомства **Ф.А. Семенова**. В 1864-1866 гг. в районе р. Кудако (близ Майкопа) занимался бурением полковник А.Н. Новосильцев (*ударное бурение*). Он получил с глубины 55 метров первый в России нефтяной фонтан, с суточным дебитом 12 тыс. пудов ($Q=200$ т/сут). От этого события отсчитывают рождение российской нефтяной промышленности

История добычи нефти в США



**Э. Дрейк на фоне
буровой вышки (1861 г)**

Начало американской нефтяной промышленности
1859 г, (*вращательное бурение*) **Э. Дрейк** (H-22,5м) -
Пенсильвания (Q=30 бар/сут)

1 баррель=159л \approx 0,1364 тонн нефти (**зависит от
марки нефти** (Urals/Brent) и температуры/плотности) =
136,4 кг нефти



Оборудование для добычи нефти

Нефть из скважин добывали желонкой - металлической трубой длиной до 6 м. Подъем желонки (тартание) велся вручную, затем на конной тяге (начало 70-х годов XIX в.) и с помощью паровой машины (80-е годы)

Первые глубинные насосы были применены в Баку в 1876 г.,

Первый глубинный штанговый насос – в Грозном в 1895 г. Однако тартальный способ длительное время оставался главным

Вытеснение нефти из скважины сжатым газом предложено в конце XVIII в. Не сформировался к началу XX века и фонтанный способ добычи. Из многочисленных фонтанов Бакинского района нефть разливалась в овраги, реки, создавала целые озера, сгорала, безвозвратно терялась, загрязняла почву, водоносные пласты, море

ВИДЫ ГОРНЫХ ПОРОД:

- **Магматические (изверженные) породы** - породы, образовавшиеся при застывании магмы в толще земной коры (**Граниты**) или вулканических лав на поверхности (**базальты**)
- **Осадочные породы**- породы, образованные путем осаждения минеральных и органических веществ и последующего их уплотнения. Преобладают глинистые, **терригенные и карбонатные породы**
- **Метаморфические породы** – породы, образовавшиеся из осадочных и магматических в результате их физических, химических изменений под действием высоких давлений, температур и химических воздействий (глинистые и слюдяные **сланцы, гнейсы, кварциты**)

КОЛЛЕКТОР - горная порода,
обладающая такими геолого-физическими свойствами,
которые обеспечивают физическую подвижность
нефти или газа в ее пустотном пространстве

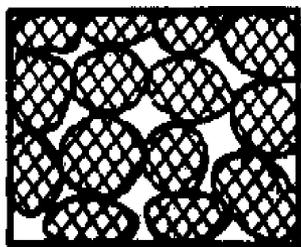
коллектор (*терригенный или карбонатный*)
может быть насыщен нефтью (или газом) и водой

Свойства пород-коллекторов

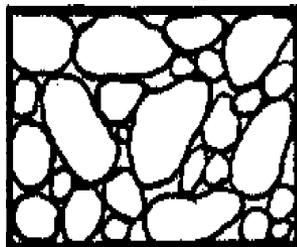
- 1) Пористость
- 2) Проницаемость
- 3) Гранулометрический состав (для терригенных пород)
- 4) Удельная поверхность
- 5) Трещиноватость
- 6) Механические свойства (упругость, сопротивление разрыву, сжатию и другим видам деформации)

ПУСТОТНОСТЬ ПОРОД:

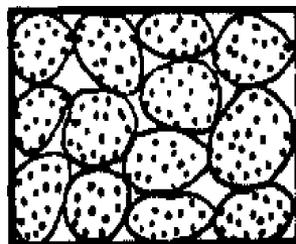
$$V_{\text{пуст.}} = V_{\text{пор}} + V_{\text{трещ.}} + V_{\text{каверн}}$$



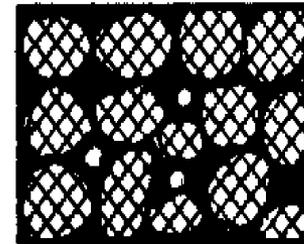
а



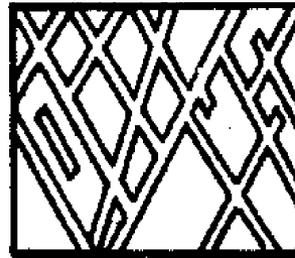
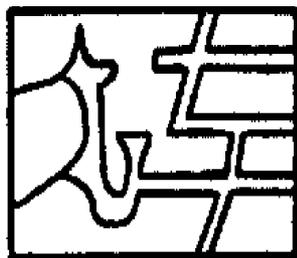
б



в



г



е

Различные типы пустот в породе.

а – хорошо отсортированная порода с высокой пористостью; б – плохо отсортированная порода с низкой пористостью; в – хорошо отсортированная пористая порода; г – хорошо отсортированная порода, пористость которой уменьшена в результате отложения минерального вещества в пустотах между зернами; д – порода, ставшая пористой благодаря растворению; е – порода, ставшая коллектором благодаря трещиноватости.

ПОРИСТОСТЬ (определяет способность породы вмещать в себя флюиды) - наличие пустот в горной породе, не заполненных твердым веществом:

$$m = \frac{V_{\text{пустот}}}{V_{\text{породы}}} 100 \quad (\%)$$

ПОЛНАЯ ПОРИСТОСТЬ

включает в себя все поры горной породы, (используется при оценке абсолютных запасов нефти, а также для сравнения различных пластов или участков одного и того же пласта). Коэффициентом полной пористости называется отношение суммарного объема пор в образце породы к видимому его объему:

$$m_{\text{п}} = \frac{\sum V_{\text{пор}}}{V_{\text{образца}}} \times 100\%$$

ОТКРЫТАЯ ПОРИСТОСТЬ

- объем пор связанных между собой. Коэффициентом открытой пористости называется отношение объема открытых, сообщающихся пор к видимому объему образца:

$$m_{\text{o}} = \frac{\sum V_{\text{сообщ. пор}}}{V_{\text{образца}}} \times 100\%$$

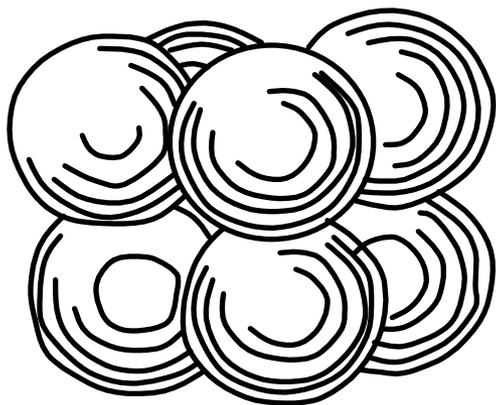
ЭФФЕКТИВНАЯ ПОРИСТОСТЬ - учитывает часть объема связанных между собой пор, насыщенных нефтью

$$m_{эф} = \frac{\sum V_{\text{связан.пор}}}{V_{\text{образца}}} \times 100\%$$

ПО ВЕЛИЧИНЕ ДИАМЕТРА ПОРЫ ПОДРАЗДЕЛЯЮТСЯ :

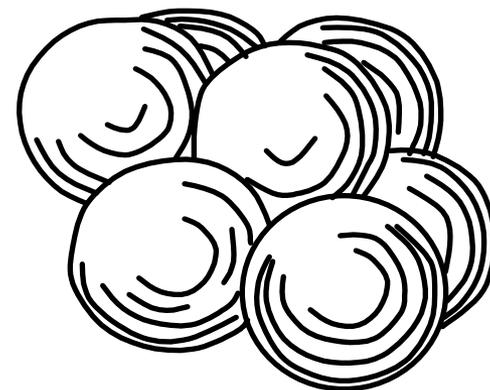
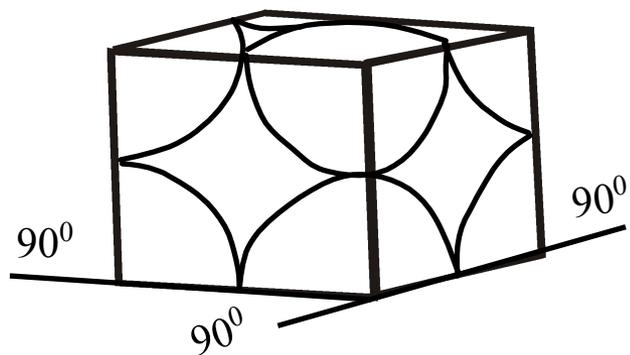
СВЕРХКАПИЛЛЯРНЫЕ	> 0.5 мм
КАПИЛЛЯРНЫЕ	0.5 – 0.0002 мм
СУБКАПИЛЛЯРНЫЕ	< 0.0002 мм

РАЗЛИЧНАЯ УКЛАДКА зерен в терригенной породе



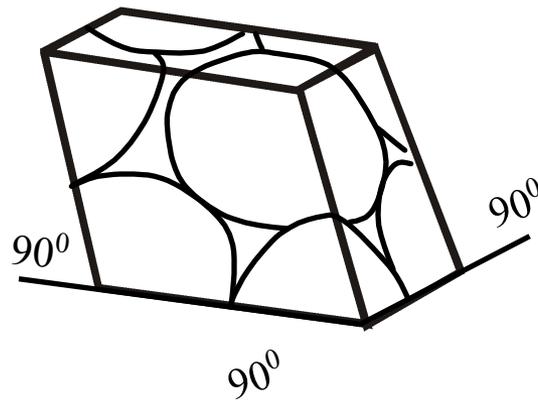
Пористость 47,6%

а - менее плотная
кубическая укладка



Пористость 25,96%

б - более компактная
ромбическая укладка



Пористость некоторых пород

Породы	Пористость, %	
	от	до
Изверженные	0,05	1,25
Глинистые сланцы	0,54	1,4
Глины	6,0	50,0
Пески	6,0	52,0
Песчаники	3,5	19-25
Известняки и доломиты	0,6	10-12

глины, песчаники и пески могут обладать одинаковой пористостью. Однако глины непроницаемы, так как имеют в основном субкапиллярные поровые каналы, а песчаники и пески – более крупные капиллярные каналы и поэтому характеризуются высокой проницаемостью.

Гранулометрический состав

определяют только для терригенных пород

– содержание в породе частиц различной величины, выраженное в %

От ГС зависят: пористость, проницаемость, удельная поверхность, капиллярные свойства, а также количество остаточной нефти (в виде пленок, покрывающих поверхность зерен)

ГС определяют ситовым и седиментационным анализом (графики суммарного ГС массовая концентрация, % - Lgd_q)

Ситовый – для фракций размером 0,05 мм и выше

Седиментационный – менее 0,05 мм

Коэффициент неоднородности зерен пород, слагающих месторождения = 1,1 – 20,0

- **Проницаемость – способность пород пропускать через себя флюиды при наличии перепада давления** (определяют по закону Дарси, согласно которому скорость фильтрации жидкостей и газов в пористой среде пропорциональна перепаду давлений и обратно пропорциональна динамической в

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{k}{\mu} \frac{p_1 - p_2}{L}$$

u - скорость линейной фильтрации

Q - объемный расход жидкости через породу

F - площадь фильтрации (площадь сечения образца породы)

k - коэффициент проницаемости породы

μ - динамическая вязкость жидкости

P₁ и **P₂** - соответственно давление на входе и выходе из образца породы длиной **L**

Проницаемостью в 1 м² обладает пористая среда, при фильтрации через образец которой площадью поперечного сечения 1 м² при перепаде давления 1 Па на 1 м длины расход жидкости вязкостью 1 Па·с составляет 1 м³/с

ПРОНИЦАЕМОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД ЗАВИСИТ

от размера поперечного сечения пор

✓ **от формы пор**

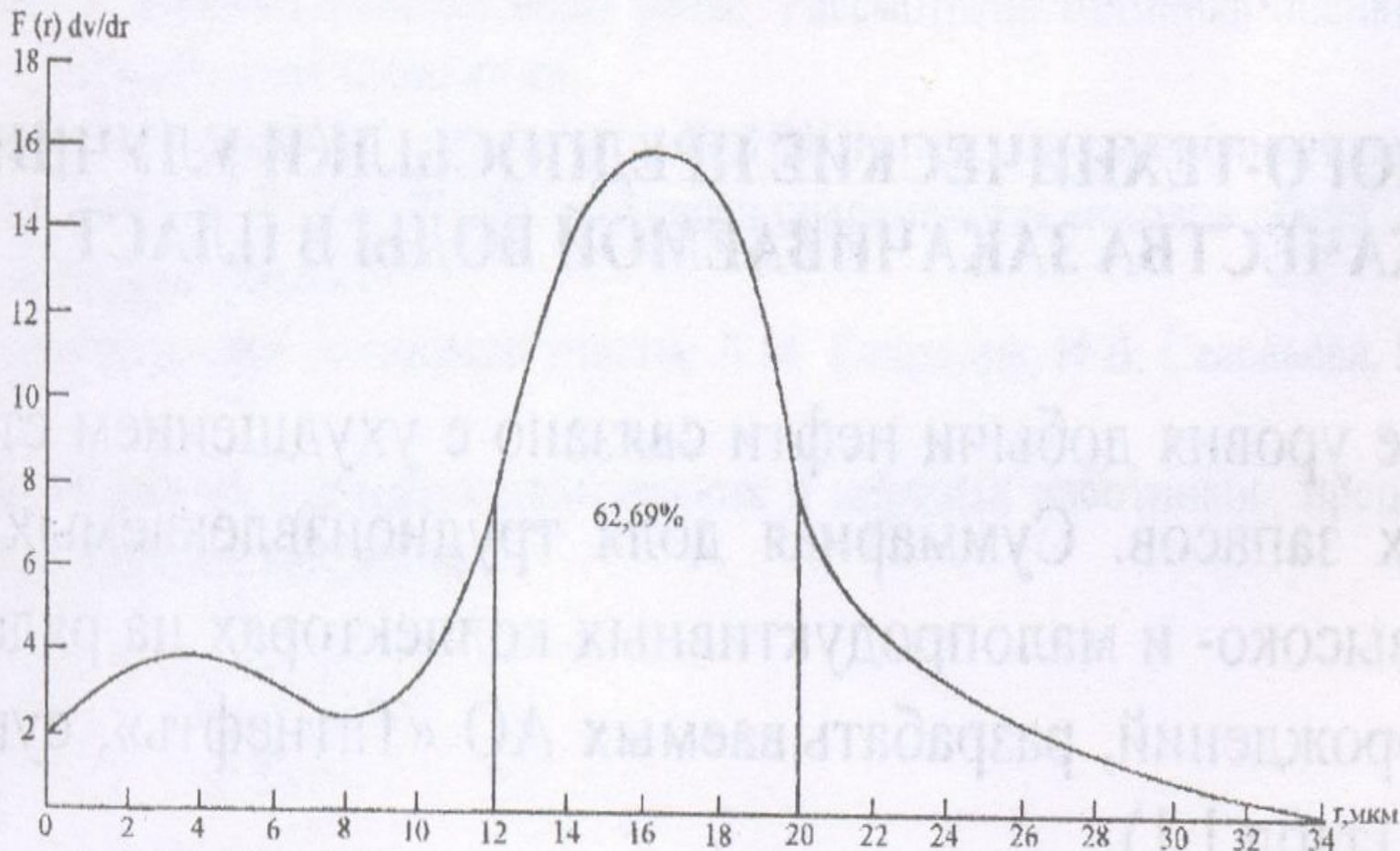
✓ **от характера сообщения между порами**

✓ **от трещиноватости породы**

✓ **от минералогического состава пород**

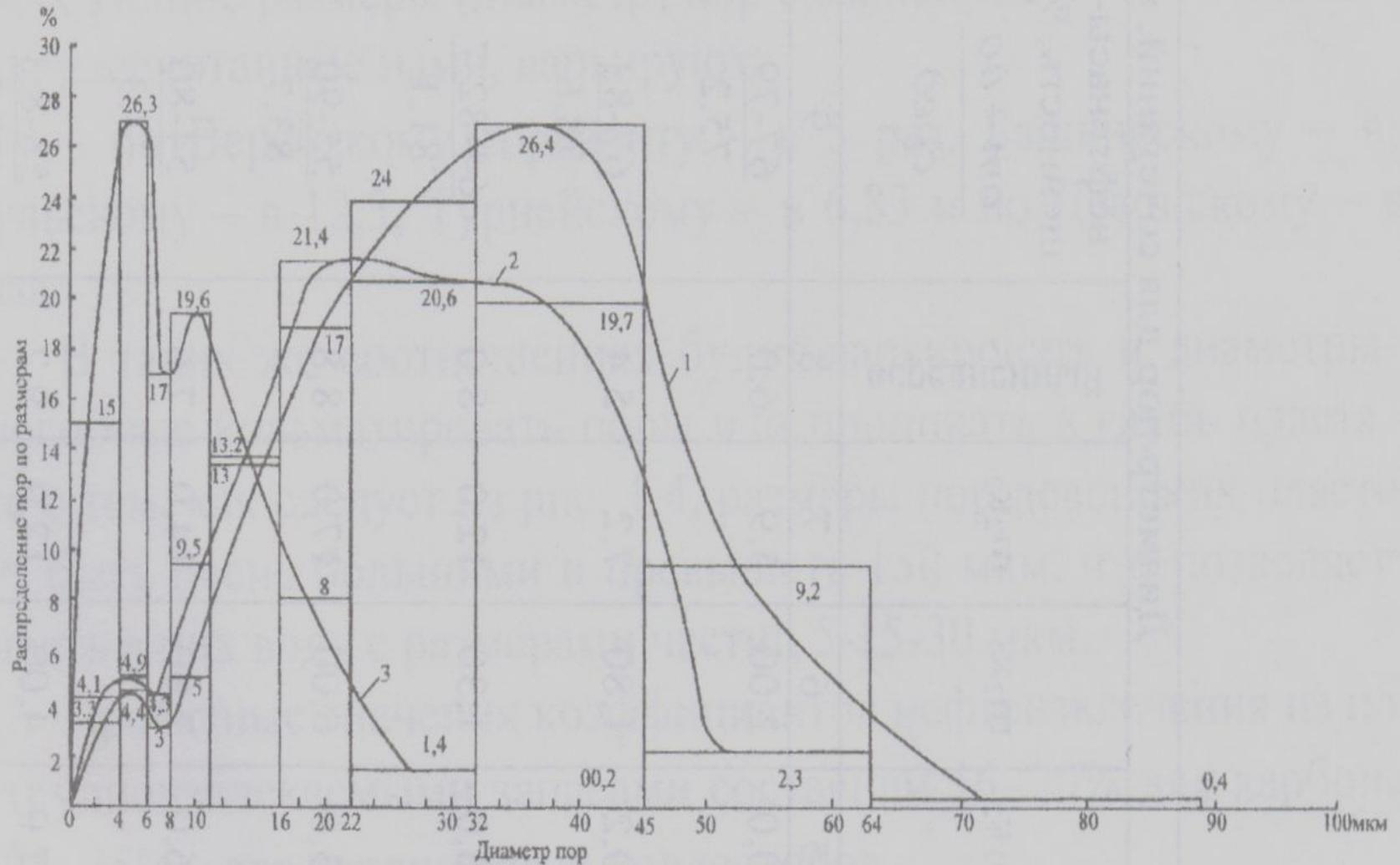
Распределение пор по размерам

(пористость - 23,5% , проницаемость - 2,57 мкм²)



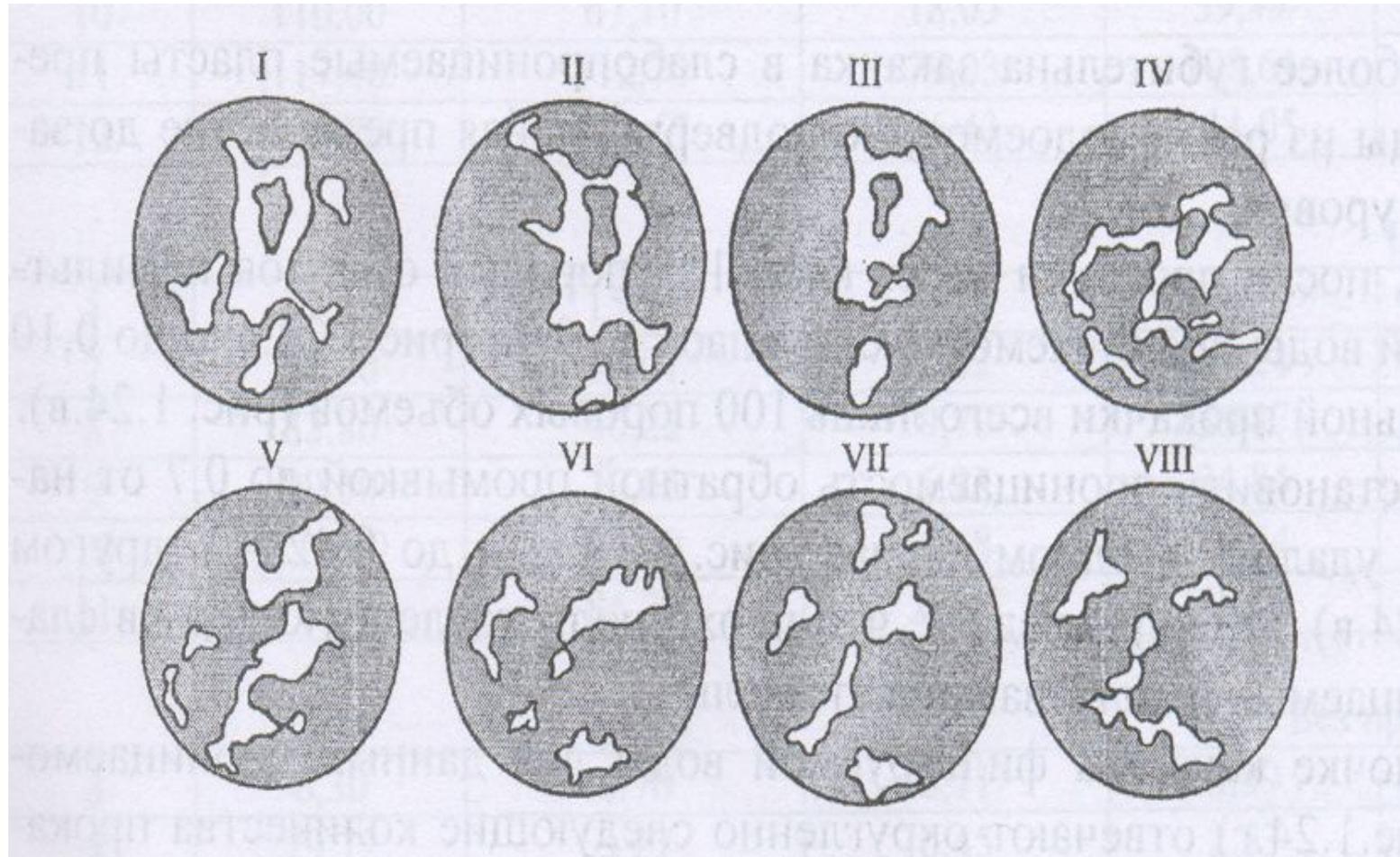
Распределение пор по размерам в коллекторах различного типа

- 1 – карбон С1вв (Западно-Лениногорская площадь), песчаник мелкозернистый
- 2 – пашийский горизонт Д3, песчаник и насыщенный мелкозернистый песчаник
- 3 – Коногоровская площадь, алевролиты, глины



Изменение конфигурации поры песчаника (Арланское месторождение)

от торца керна, мкм: I - 0, II - 7, III - 12, IV - 18, V - 23, VI - 29, VII - 44, VIII - 56.



Виды проницаемости

Абсолютная - проницаемость породы при движении в ней лишь одной какой-либо фазы (газа или однородной жидкости) - характеризует только физические свойства породы. В качестве абсолютной проницаемости принято считать проницаемость пород, определенную по газу (азоту)

Фазовая - проницаемость пород для данной фазы при наличии в порах многофазных систем. Фазовая проницаемость зависит не только от физических свойств породы, но и от насыщенности ее жидкостью или газом и от их физико-химических свойств.

Относительная - отношение фазовой проницаемости породы к абсолютной

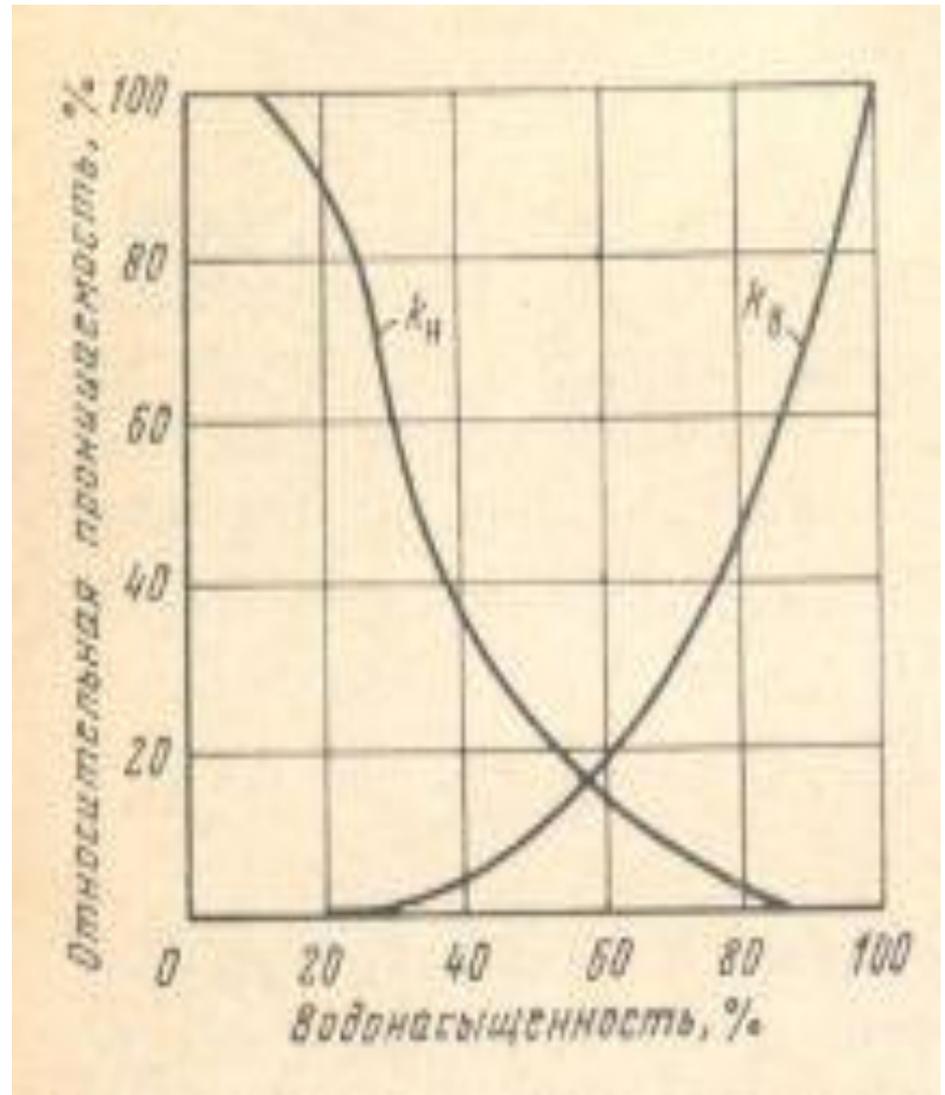
Зависимость относительной проницаемости песка от водонасыщенности

Про водонасыщенности более 20% фазовая проницаемость породы для нефти уменьшается, хотя и получаем безводную нефть. За счет молекулярно-поверхностных сил вода удерживается в мелких порах и на поверхности зерен в виде тонких пленок, уменьшая площадь сечения каналов

При водонасыщенности 80% движение нефти прекращается, хотя в пласте еще имеется нефть

Нельзя допускать преждевременного обводнения скважин,

предупреждая попадание воды в ПЗС (при вскрытии пласта, проведении ремонтных работ и



Удельная поверхность породы важнейшая характеристика горной породы

величина суммарной открытой поверхности частиц, приходящаяся на единицу объема образца

Вследствие малых размеров зерен песка и большой плотности их упаковки общая поверхность порового пространства пласта достигает огромных размеров

поверхность зерен, содержащихся в 1 м³, однородного песка с размером зерен 0,2 мм, составляет 20 276 м². С уменьшением размера частиц удельная поверхность увеличивается

От величины удельной поверхности зависят — проницаемость, адсорбционная способность, содержание остаточной воды

Породы, имеющие большую удельную поверхность (глины, глинистые сланцы) непроницаемые

Трещиноватость породы характеризуется

- 1) Раскрытостью трещин (по величине раскрытости трещин выделяют **МАКРОТРЕЩИНЫ** шириной более 40-50 мкм и **МИКРОТРЕЩИНЫ** шириной до 40-50 мкм)
- 2) Числом трещин
- 3) Густотой трещин (объемная плотность трещин = $\frac{1}{2}$ площади поверхности трещин в объеме породы)

Пористость и проницаемость трещиноватых пород определяют на основании изучения шлифов, измерения объема трещин путем насыщения керна жидкостью

Механические свойства

- 1) Упругость коллекторов
- 2) Прочность на сжатие и разрыв
- 3) Пластичность

При снижении $P_{пл}$ объем порового пространства уменьшается вследствие упругого расширения зерен породы и уплотнения скелета породы под действием массы вышележащих горных пород (жидкость поэтому вытесняется из пор)

Упругие свойства пород влияют на перераспределение давления в процессе эксплуатации

Об упругих свойствах пород судят по величине коэффициента сжимаемости

Учитывает суммарную сжимаемость пор и жидкостей (предложено проф. В. Н. Щелкачевым)

$$\beta = \beta_c + m\beta_{ж}$$

Коэффициент объемной упругости пористой среды $(0,3-2) \times 10^{-4}$ 1/МПа

Коэффициент сжимаемости нефти дегазировав. $(4-7) \times 10^{-10}$ 1/Па,

для легких нефтей со значительным количеством растворенного газа ДО 140×10^{-10} 1/Па

Коэффициент сжимаемости воды $(4-5) \times 10^{-11}$ 1/Па

Породы в условиях залегания в пласте находятся под воздействием вертикального и бокового горного давления вышележащих пород и внутрипорового пластового давления

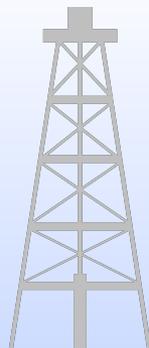
Горное давление оказывает существенное влияние на пористость и проницаемость пород (проницаемость песчано-глинистых отложений на глубине более 2000 м. м.б. < на 10—40 %, по сравнению с данными ее измерений на поверхности, а пористость — < на 20—30%)

С увеличением глубины залегания продуктивных пластов повышается и температура, влияющая на свойства нефтегазовых систем в коллекторе.

Температура повышается на 1 °С при увеличении глубины в среднем на каждые 33 м (**геотермическая ступень** — неодинакова для различных месторождений)

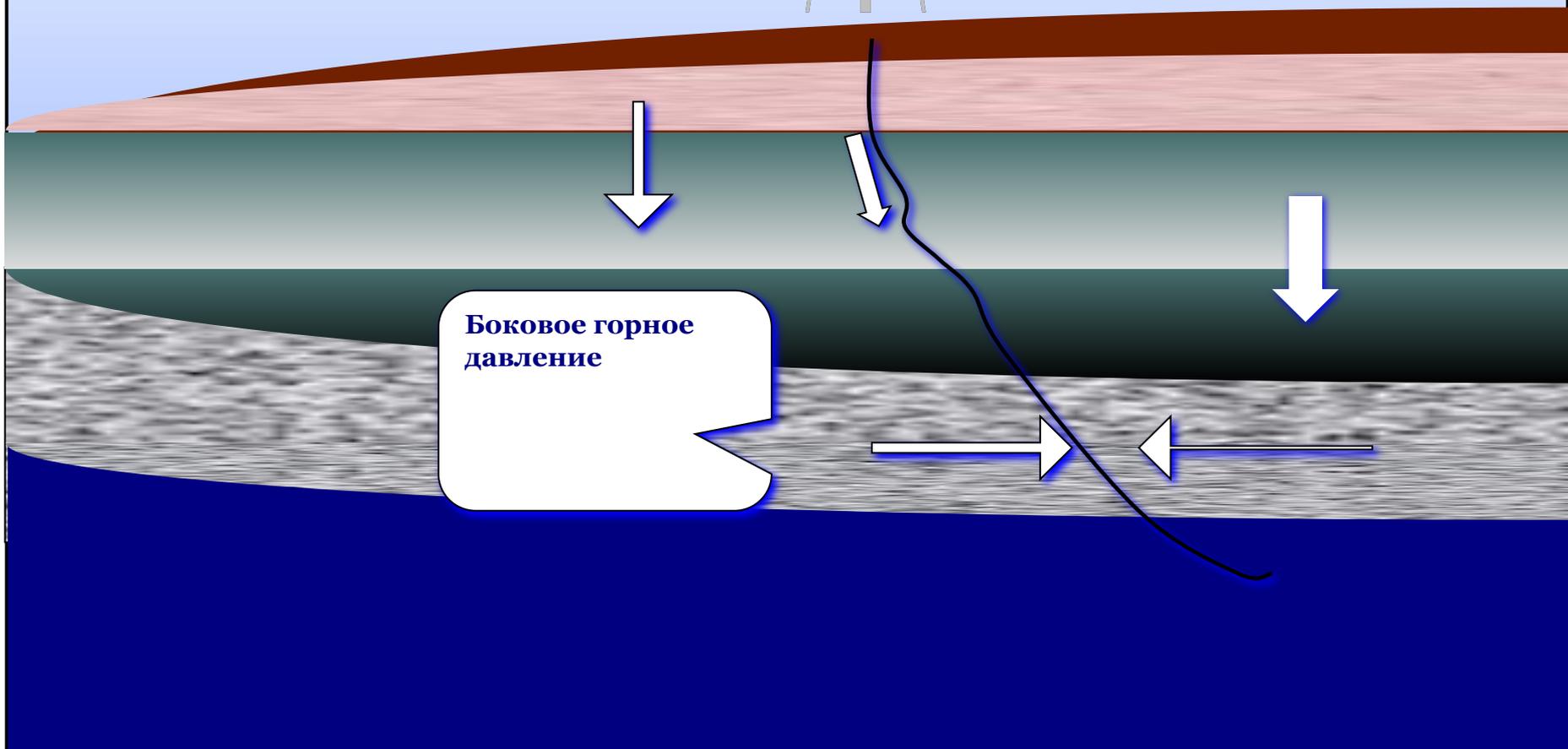
На месторождениях Северного Кавказа T на глубине 1000 м достигает 90-100 градусов, а в Баку геотермическая ступень составляет 50 метров

гидростатическое давление
столба жидкости



P_g – горное
давление

Боковое горное
давление



Давление в пласте

Горное давление обусловлено весом вышележащих пород, интенсивностью и продолжительностью тектонических процессов, физико-химическими превращениями пород

Значение **бокового горного давления** определяется величиной вертикальной компоненты давления, коэффициентом Пуассона пород и геологическими свойствами пород

Пластовое давление - внутреннее давление жидкости и газа, заполняющих поровое пространство породы, которое проявляется при вскрытии нефтеносных, газоносных и водоносных пластов

Гидростатическое давление (в Па) – давление столба жидкости на некоторой глубине:

$$P_г = g \rho_{ж} H,$$

Прочность горных пород

- **Это сопротивление разрушению.** Породы оказывают значительное сопротивление при сжатии
- Прочность пород на разрыв, изгиб и сдвиг составляет десятые и сотые доли от прочности на сжатие
- Прочность известняков уменьшается с увеличением в них глинистых частиц
- Песчаники с известковым цементом имеют наименьшую прочность на сжатие
- При увеличении плотности пород их прочность на сжатие возрастает
- После насыщения водой прочность известняков и песчаников уменьшается на 20-40%

Пластические свойства пород

- Это их способность деформироваться под большим давлением без образования трещин или видимых нарушений
- На больших глубинах твердая порода м. «вытекать» в скважину под действием высокого горного давления
- Образование складок в земной коре с плавными изгибами и выпуклостями обусловлено пластическими свойствами горных пород