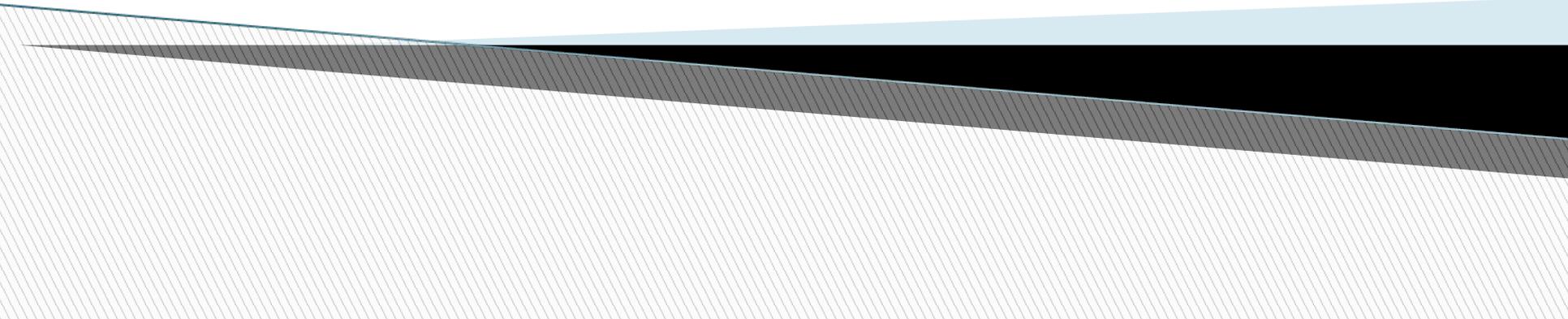


**Породы-коллекторы нефтегазовых
месторождений Арктического шельфа.
Особенности строения и методы их
изучения.**



ПРИРОДНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ НЕФТИ И ГАЗА

ПОРОДЫ-КОЛЛЕКТОРЫ

Наблюдения над естественными нефтегазопроявлениями еще в XIX в. позволили исследователям установить, что скопления нефти и газа, как правило, приурочены к осадочным горным породам, *обладающим способностью собирать и вмещать в себя нефть, газ и воду (флюиды).*

Горные породы, не только заключающие в себе флюиды, но и способные отдавать их при существующих методах эксплуатации, получили название *коллекторов.*

Коллекторские свойства горных пород, т. е. способность пород собирать в себе флюиды имеют большое практическое значение. Известно, что нефть и газ в природе первоначально находятся в диффузно-рассеянном состоянии в преимущественно пелитовых (глинистых) породах.

Скопления же нефти и газа формируются при аккумуляции УВ в подземных резервуарах-коллекторах.

Основными физическими параметрами, обуславливающими коллекторские свойства горных пород, являются **пористость и проницаемость**, которые определяют емкостно-фильтрационную характеристику коллекторов.

Коллекторские свойства горных пород определяются наличием в них пустот - пор, каверн, микро и макротрещин, которые, как правило, заполнены нефтью, газом или водой.

В зависимости от происхождения различают следующие виды пустот:

1. **Поры между зернами обломочных и некоторых карбонатных пород**, обусловленные текстурными особенностями этих пород.

- 2. Поры растворения, образующиеся в результате циркуляции подземных вод преимущественно в карбонатных породах (каверны выщелачивания)**

- 3. Поры и трещины возникающие под влиянием химических процессов. Существенное значение здесь имеют поры и трещины, образующиеся в процессе доломитизации (превращение известняка в доломит), который, сопровождается уменьшением объема, вследствие чего в породе появляются дополнительные поры и трещины увеличивающие общий объем пустот.**

- 4. Пустоты и трещины образующиеся в результате выветривания. Эрозионные процессы поверхностного выветривания пород, процессы закарстования и т.п. также могут привести к образованию дополнительных пор и трещин.**

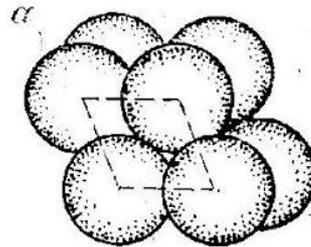
5. Трещины тектонического происхождения, возникающие при процессах складкообразования способствующих возникновению как микро- , так и макротрещин главным образом в зоне растяжения (чаще на сводах складок). Эти процессы могут иметь большое значение при наличии в разрезе карбонатных (или других плотных) тат называемых компетентных пород.

Таким образом, перечисленные поры, трещины или каверны за исключением первого случая появляются в породе в основном после образования самой породы, *вследствие чего их называют вторичными (эпигенетичными)* по отношению к породе. Поры между частицами (зернами) обломочных пород, образующиеся одновременно с формированием породы, *называются первичными (сингенетичными)*.

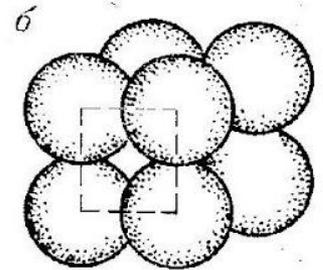
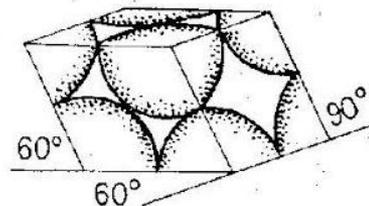
Величина пористости главным образом зависит от формы зерен (но не от их размера если порода хорошо отсортирована), от характера взаимного расположения (укладки), степени окатанности, однородности зерен и наличия цемента. Последнее обстоятельство имеет особенно большое значение для песчаных коллекторов в которых присутствие глинистого или известковистого цемента значительно снижает коэффициент пористости.

Укладка сферических зерен одного размера при:

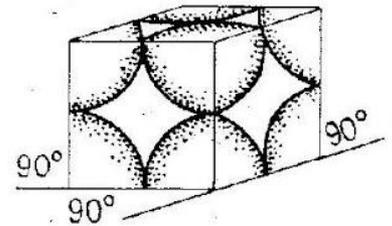
- А) ромбоэдрической упаковке,***
- Б) кубической упаковке.***

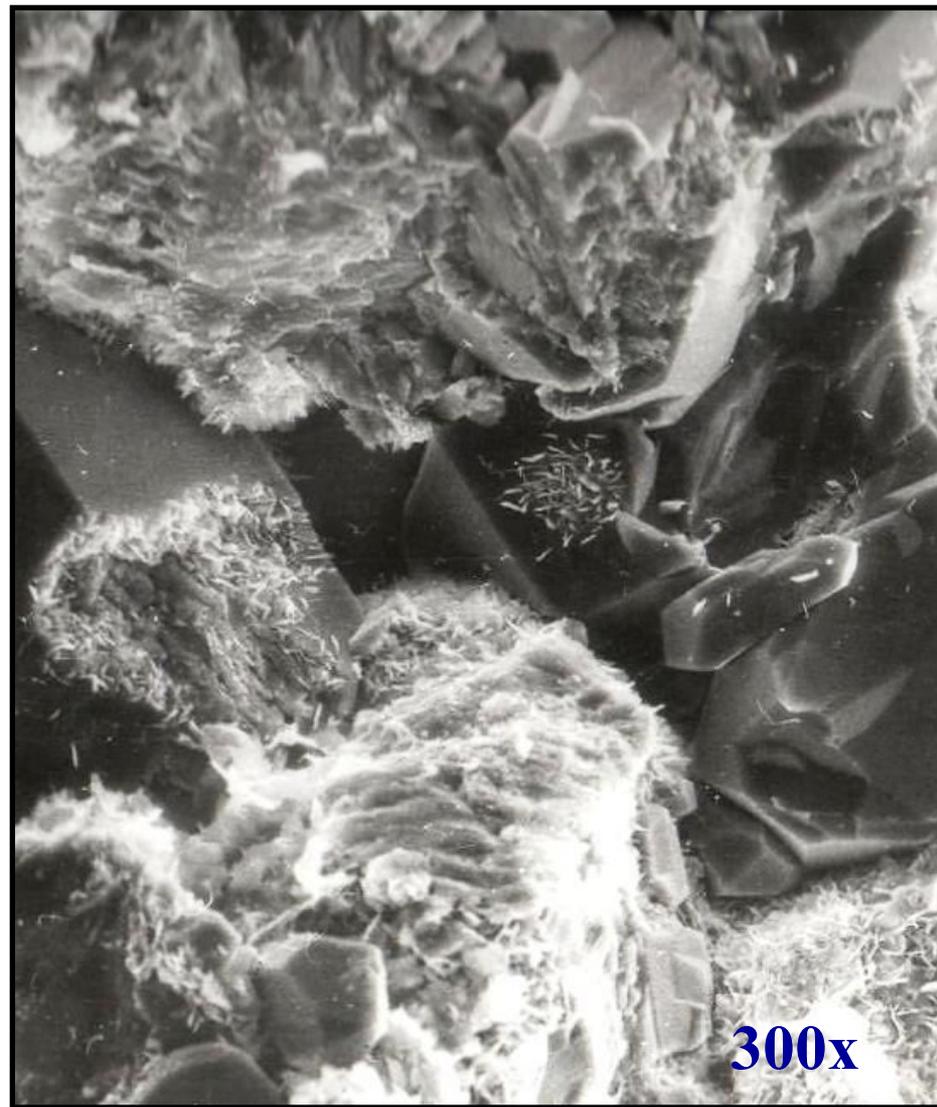


Пористость 25,9%

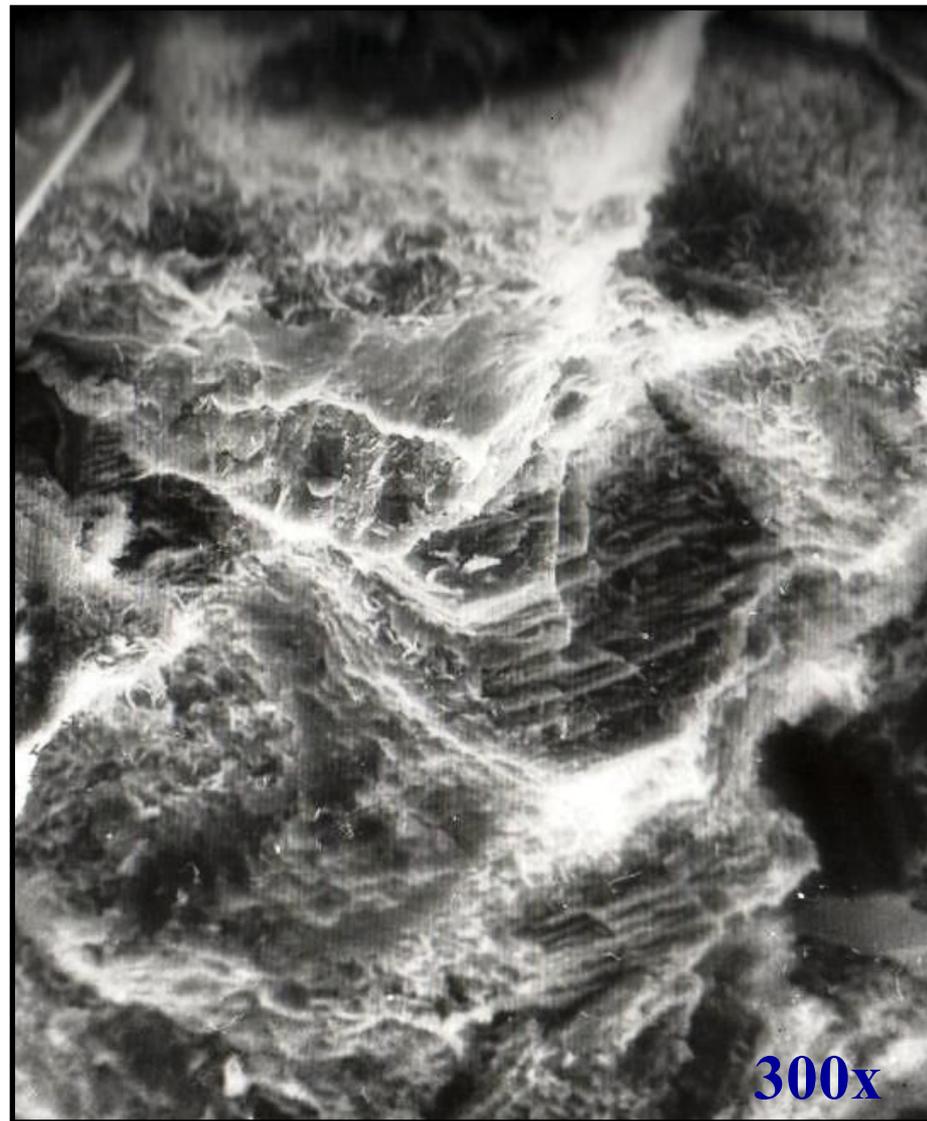


Пористость 47,6%





**Развитие процессов пелитизации на поверхности
зерен скелета полимиктовых песчаников
Скважина 7-Р Песцовая**



**Хлорит-каолинитовый цемент полимиктового песчаника.
Каолинизация полевого шпата. Нижний мел.
Скважина 7-Р Песцовая**

**Скважина 7-Р Надымская,
интервал 3750-3761 м,
песчаник (средняя юра)**

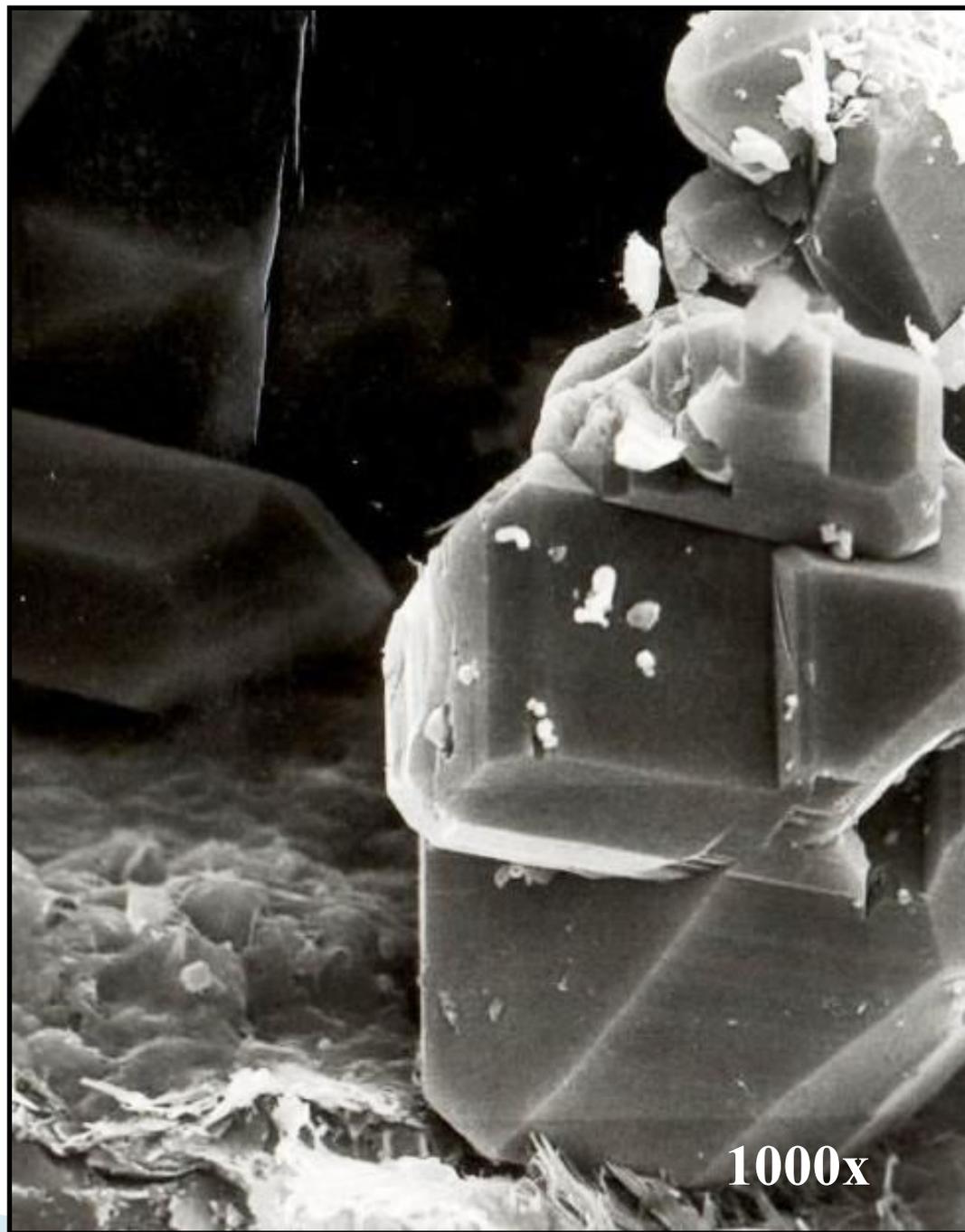
**Растровая электронная
фотография. Широкое
развитие минералов
цемента как в
периферийной, так и в
центральной части
порового канала.**

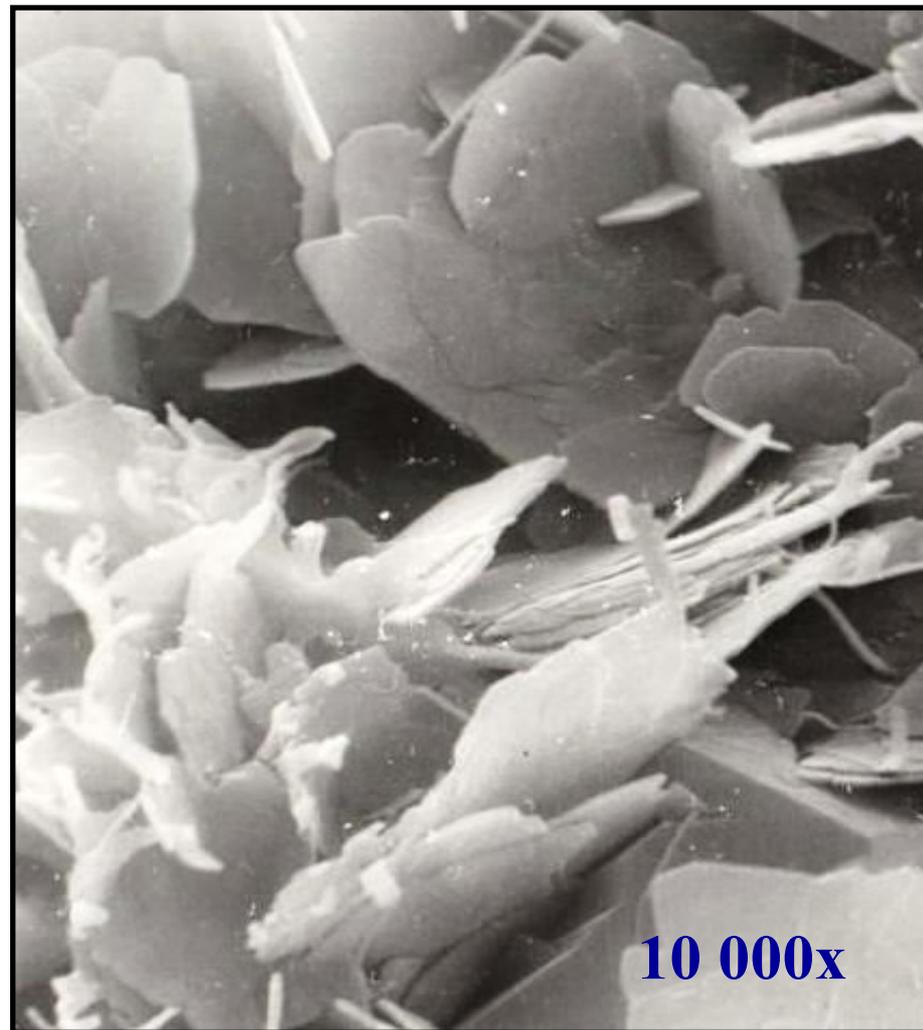
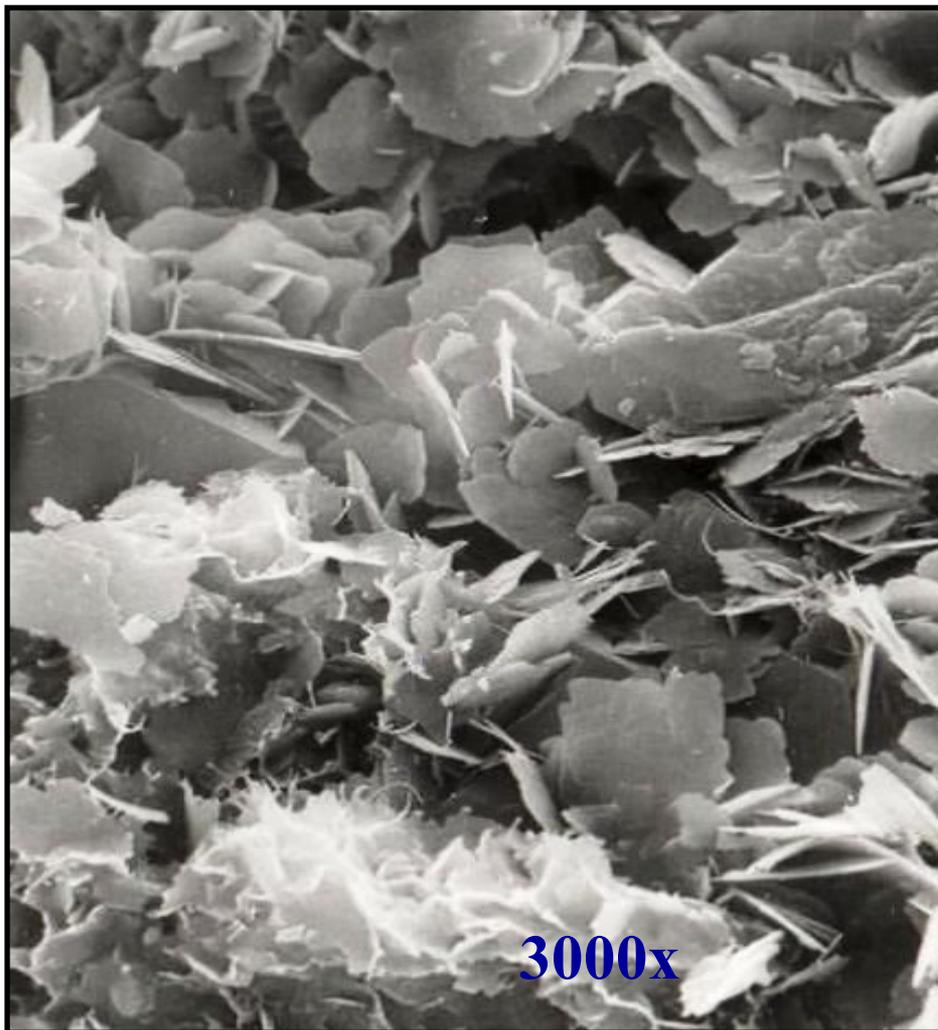


1000x

**Скважина 30-Р Медвежья,
интервал 3744-3754 м,
песчаник (юра)**

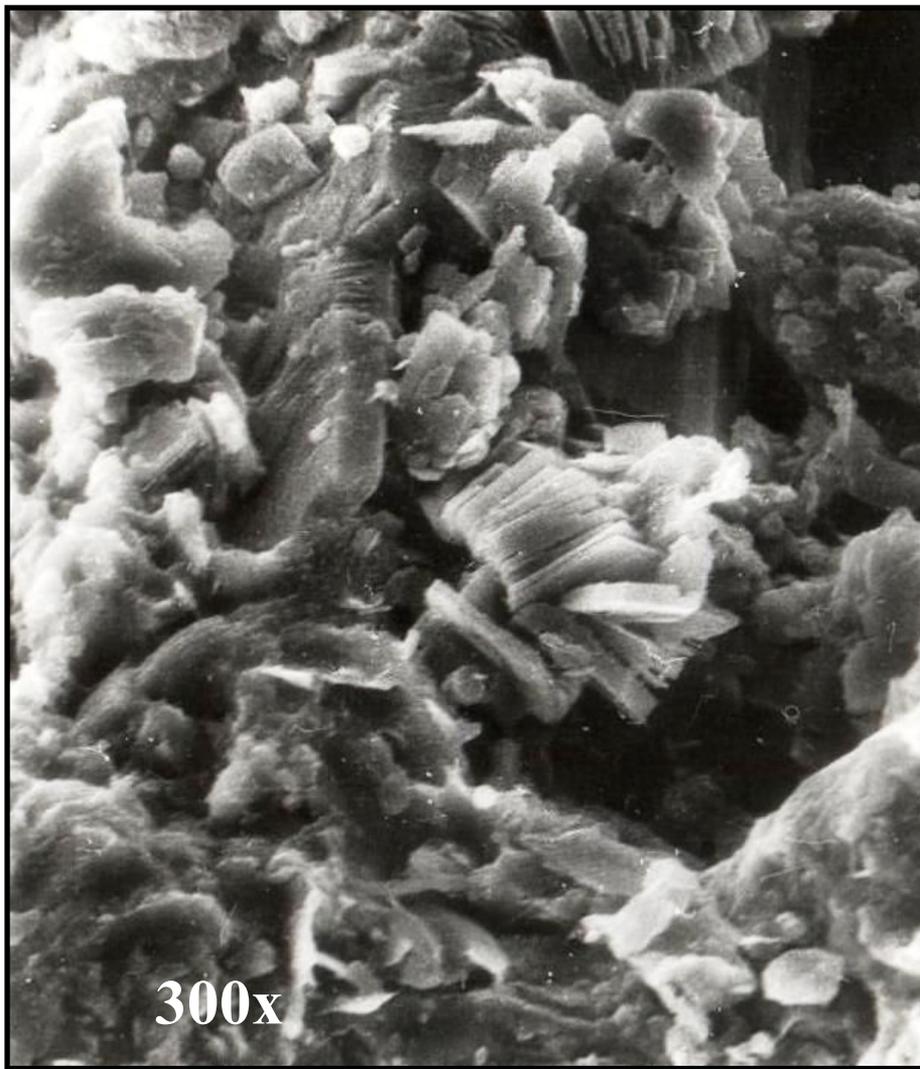
**Растровая электронная
фотография. Широкое
развитие минералов
цемента как в
периферийной, так и в
центральной части
порового канала.**



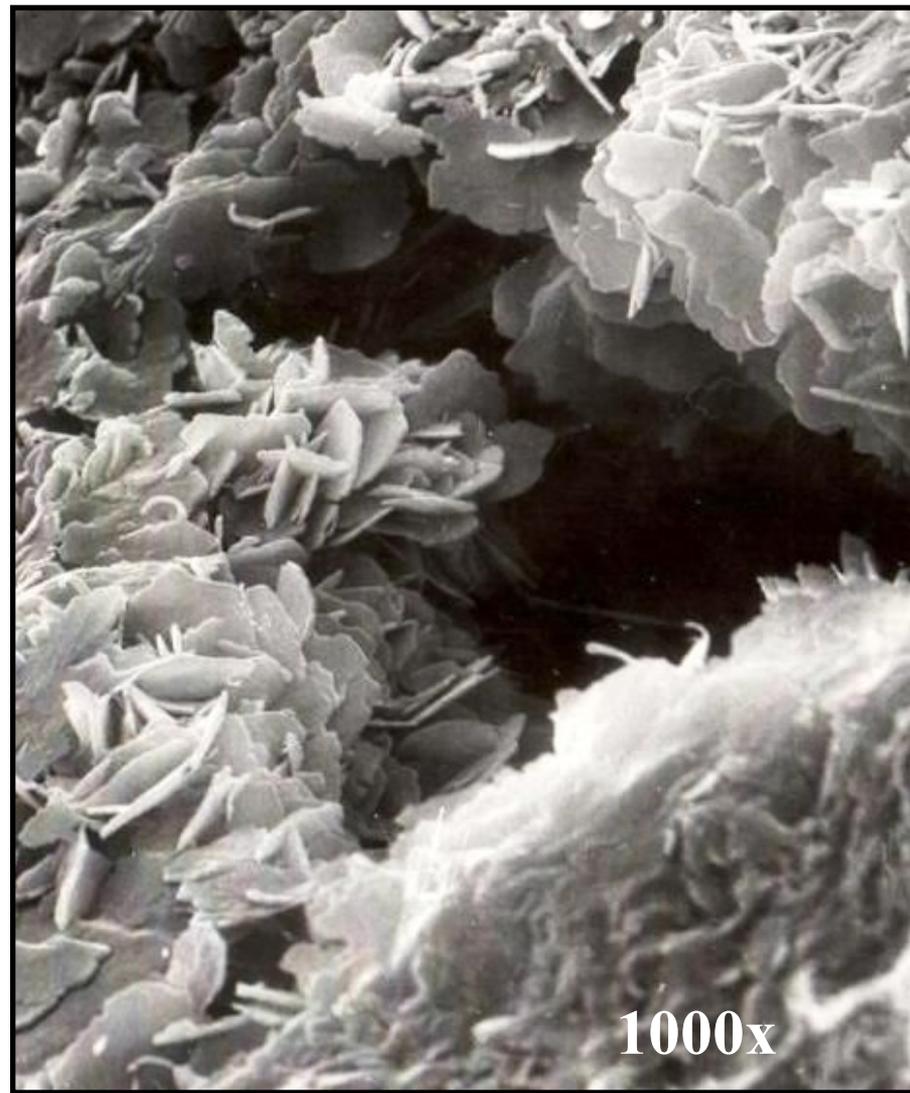
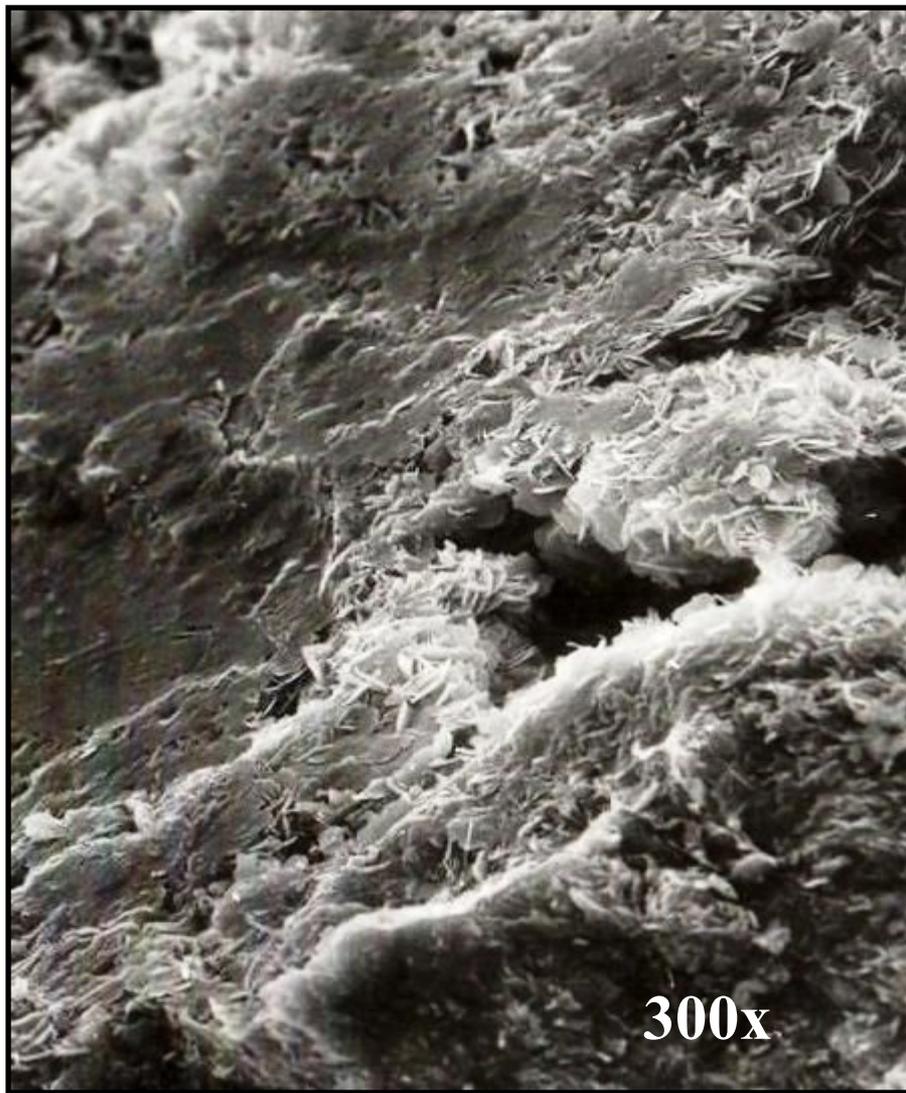


Скважина 30-Р Медвежья, интервал 3235-3251 м, песчаник.

Растровая электронная фотография. Цемент выполнен глинистыми минералами: хлоритом, гидрослюдой, каолинитом.



**Поровое пространство полимиктового песчаника
заполнено каолинитом. Нижний мел. Скважина 45-
Р Геофизическая**

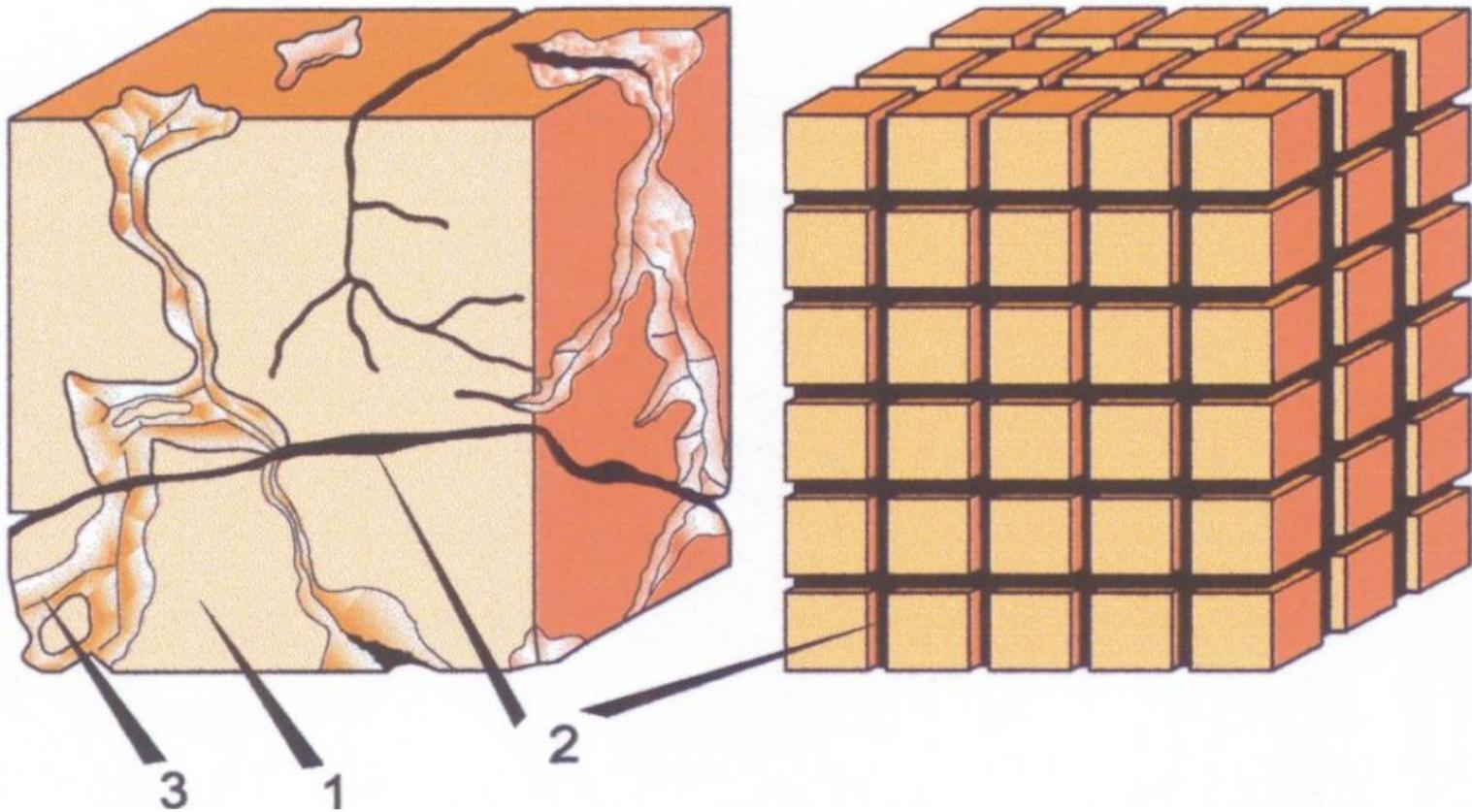


**Скважина 50-Р Геофизическая, интервал 2785-2799, песчаник.
Растровая электронная фотография. Поверхность порового
канала образована глинистыми минералами.**

Другим исключительно важным физическим параметром характеризующим коллекторские (прежде всего фильтрационные) свойства горных пород и их промышленное значение, является **проницаемость** - *способность пород пропускать через себя жидкости или газы при наличии перепада давления*. За единицу проницаемости (1 мкм²) принимается такая проницаемость, при которой через поперечное сечение в 1 см² и перепаде давления в 0,1 МПа за 1 с проходит 1 см³ жидкости вязкостью в 0,001 Па · с.

Очень часто породы, обладая довольно большой пористостью (например, глины пористость которых достигает иногда 40-50%), практически лишены проницаемости, вследствие чего не могут отдавать содержащиеся в их порах нефть или газ. Поэтому для оценки практической значимости коллекторов их емкостно-фильтрационной характеристики необходимо иметь сведения не столько о пористости, сколько о проницаемости. Если пористость обуславливает емкость коллектора, то проницаемость определяет пропускную способность коллектора следовательно, производительность скважин и в известной мере коэффициент суммарной нефтегазоотдачи пласта.

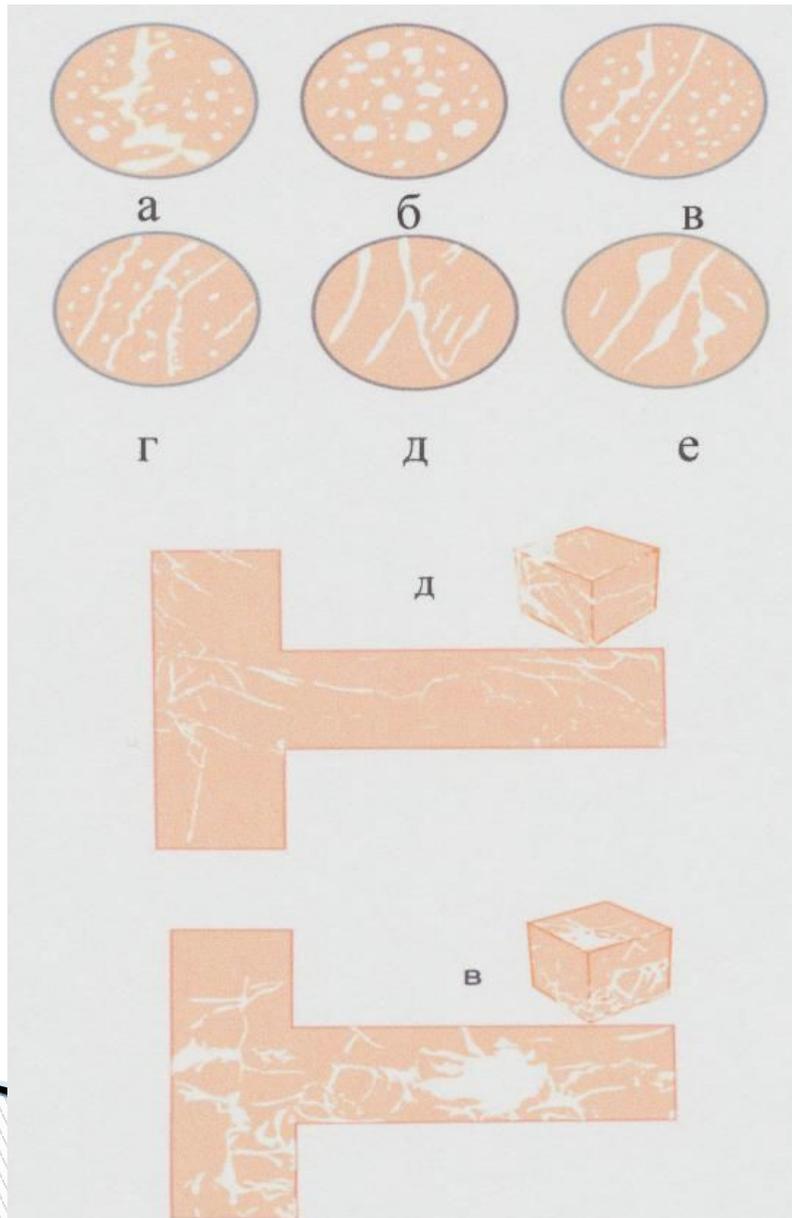
МОДЕЛЬ ТРЕЩИННО-КАВЕРНОЗНОГО КАРБОНАТНОГО КОЛЛЕКТОРА



1 – Матрица 2 – Макротрещины 3 – Измененная часть породы с кавернами и микротрещинами

Модель трещинно-кавернозного коллектора в массивных породах (модификация модели Уоррена и Рута, 1963)

МОДЕЛЬ КАРБОНАТНОГО КОЛЛЕКТОРА (ПО К.И. БАГРИНЦЕВОЙ)



Строение пустотного пространства
в породах-коллекторах различных
типов:

а – каверново-порового;

б – порового;

в – трещинно-порового;

г – порово-трещинного;

д – трещинного;

е – каверново-трещинного

Коллекторские свойства горной породы определяются формой и характером пор и пустот. В зависимости от размера пор различают макро и микропористость.

Макропоры имеют размеры более

1 мм микропоры - менее 1 мм. Среди микропор выделяют также капиллярные поры - диаметр от 0,1 до 0,0002 мм и субкапиллярные (ультракапиллярные) поры- диаметр менее 0,0002 мм. Породы с субкапиллярными порам для нефти практически непроницаемы.

Пустоты, обуславливающие трещинную емкость коллекторов, также подразделяются на микротрещины (с раскрытостью: от 0,01 до 0,1 мм) и макротрещины, которые хорошо прослеживаются визуально (с раскрытостью более 0,1 мм).

Различают следующие виды проницаемости:

абсолютная (физическая) проницаемость пористой среды для газа или однородной жидкости при отсутствии физико-химического взаимодействия между жидкостью и пористой средой и при условии полного заполнения пор среды газом или жидкостью;

эффективная (фазовая) проницаемость пористой среды для данного газа или жидкости при одновременном наличии в порах другой фазы жидкости или газа;

относительная проницаемость, которая определяется отношением эффективной проницаемости к абсолютной и выражается безразмерной величиной меньше единицы.

При заполнении нефтью только 20-30 % объема порового пространства водонасыщенного коллектора фазовая проницаемость для нефти снижается почти до нуля и движение нефти практически прекращается.

Хорошими коллекторами (в отношении пористости и проницаемости) являются пески, песчаники, кавернозные и трещиноватые известняки и доломиты.

В некоторых роль коллекторов могут играть трещиноватые глинистые сланцы, аргиллиты и ангидриты, выветрелые метаморфические и изверженные породы. Так, например, плотные черные аргиллиты баженовской свиты (юра) Западной Сибири благодаря трещиноватости приобрели свойства коллекторов, из которых дебиты скважин на Салымском местоскоплении достигают 800 т/сут.

При постоянной пористости проницаемость может существенно возрасти при увеличении крупности зерна, так как прежде всего зависит от размеров пустот и зерен, слагающих горные породы. Кроме того, проницаемость пород-коллекторов зависит от плотности укладки и взаимного расположения зерен, от степени отсортированности, цементации и трещиноватости, а также от взаимосоединяемости пор, каверн и трещин, поэтому повышенной проницаемостью обладают крупнозернистые хорошо отсортированные пески, нецементированные и слабоцементированные песчаники.

Слабопроницаемыми породами являются глины, глинистые сланцы, сильноцементированные песчаники, окремненные известняки, соленосные гипсо-ангидритовые отложения (эвапориты).

Однако в ряде случаев ангидриты приобретают повышенную трещиноватость и тогда они становятся полукolleктором или полупокрышкой.

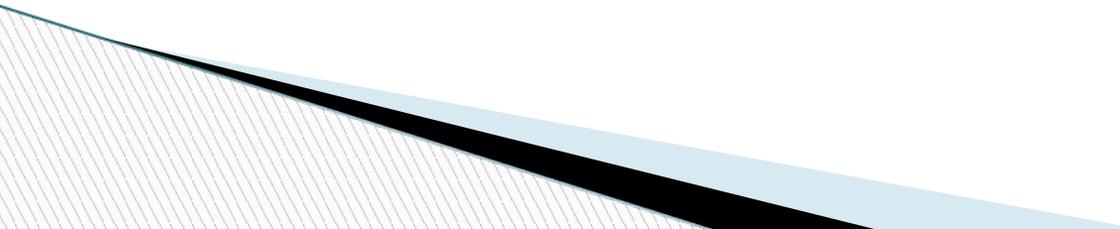
Способность пород-коллекторов пропускать через себя флюид зависит от свойств как породы, так и движущегося в ней флюида (нефти, газа, воды).

Экспериментальные данные А. А. Ханина показали, что при одной и той же проницаемости (по газу) суммарное значение открытой пористости будет выше у песчано-алевритовых пород более тонкого гранулометрического состава, так как в них развиты поры более тонких сечений. Суммарный открытый объем этих пор будет больше объема пор пород, сложенных более крупным по размеру обломочным материалом.

При одном и том же содержании цементирующего вещества резкое падение проницаемости прежде всего наблюдается у пород с большей плотностью, плохой отсортированностью и окатанностью зерен, так как цементация существенно уменьшает пористость, что, ведет к увеличению плотности пород. При равномерно-поровом типе цемента, однородном гранулометрическом составе и одинаковой компоновке зерен в породах наблюдается уменьшение проницаемости с увеличением плотности.

Следует также отметить, что коллекторы характеризуются разной величиной проницаемости вдоль напластования пород и перпендикулярно к нему, в первом случае проницаемость значительно больше, чем во втором.

В пределах отдельных пластов, залежей на месторождении рекомендуется составление карт равной пористости и проницаемости. Такие карты представляют большой практический интерес при подсчете запасов нефти и газа, а также при составлении проектов разработки местоскоплений.



КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ

По характеру проницаемости Г. И. Теодорович выделяет три большие группы коллекторов нефти и газа: *равномерно проницаемые; неравномерно-проницаемые и трещиноватые.*

По величине проницаемости все породы-коллекторы делятся на пять классов:

Класс	Коллекторы	Коэффициент Проницаемости мкм ²
I	Очень хорошо проницаемые	>1
II	Хорошо проницаемые	0,1-1
III	Среднепроницаемые	0,01-0,1
IV	Слабопроницаемые	0,001-0,01
V	Непроницаемые	<0,001

Практическое значение с точки зрения нефтенакопления и нефтеотдачи имеют коллекторы *первых трех классов, а для газов также и IV класс.*

Исследования П.П. Авдусина и М. А. Цветковой показали, что проницаемость зависит прежде всего от структуры порового пространства.

Классификационная схема коллекторов по величине открытой пористости:

Класс	Открытая пористость, %
A	>20
B	15-20
C	10-15
D	5-10
E	<5

ОЦЕНОЧНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕСЧАНО-АЛЕВРОЛИТОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА

Класс коллектора	Типы пород по преобладающей гранулометрической фракции*	Открытая пористость (%), определенная		Проницаемость мкм ²	Емкостно-фильтрационная способность
		Микропроекционным методом (по бакелиту)	с поправкой на остаточную воду		
I	Песчаник среднезернистый » мелкозернистый Алевролит крупнозернистый Алевролит мелкозернистый	≥12 ≥16 ≥27	≥16 ≥20 ≥23 ≥29	≥1	Очень высокая
II	Песчаник среднезернистый »	10-12 14-16 22-27	15-16 18-20 27-29	0,5-1	Высокая
III	Песчаник среднезернистый » мелкозернистый Алевролит крупнозернистый Алевролит мелкозернистый	08-10 10-14 16-22	11-15 14-18 16-21 20-27	0,1-0,5	Средняя
IV	Песчаник среднезернистый » мелкозернистый Алевролит крупнозернистый Алевролит мелкозернистый	6-8 8-10 12-16	5-10 5-14 10-16 12-20	0,01-0,1	Пониженная
V	Песчаник среднезернистый » мелкозернистый Алевролит крупнозернистый Алевролит мелкозернистый	<6 ≤8 <12	≤5 <8 <10 <12	<0,01	Низкая

*Диаметр частиц, мм:
 Песчаник среднезернистый 0,50-0,25;
 Мелкозернистый 0,25-0,10;
 Алевролит крупнозернистый 0,10-0,05;
 Мелкозернистый 0,05-0,01.

Породы-коллекторы первых четырех классов, обладающие значительной емкостно-фильтрационной способностью, представляют промышленный интерес. Коллекторы V класса проницаемостью менее 0,01 мкм² для нефти не могут иметь практического значения, хотя для газов такие породы-коллекторы представляют определенный промышленный интерес, в особенности при высоких пластовых давлениях.

По характеру и природе порового пространства Н. Б. Вассоевич и М. К. Калинин разделяют все коллекторы на две большие группы:

I. Коллекторы с межзерновыми (межгранулярными) порами

1. межзерновое пространство свободное

2. в межзерновом пространстве:

а) цемент

б) заполняющее вещество

в) цемент и заполняющее вещество

II. Коллекторы с межагрегатным поровым пространством

1. кавернозные:

а) микрокавернозные

б) собственно кавернозные (макро кавернозные)

2. трещиноватые:

а) микротрещиноватые

б) макротрещиноватые

В коллекторах I группы поры образуются за счет свободного от твердого минерального вещества пространства между зернами породы, а в коллекторах II группы - за счет пространства между агрегатами минералов, образующихся в основном при вторичных по отношению к породе процессах (растворении, тектонической раздроблении и т. д.).

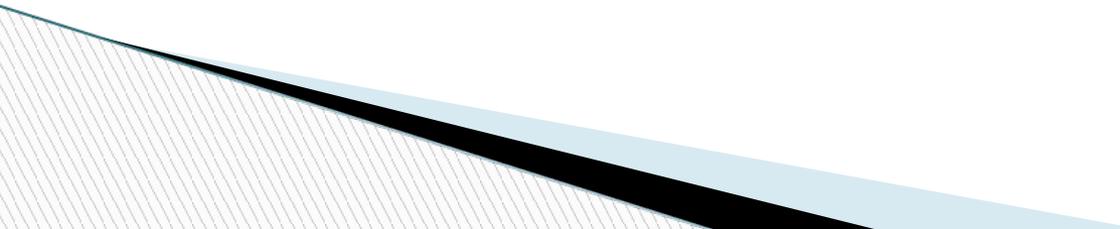
Коллекторы I группы обладают большими емкостью и проницаемостью и потому всегда имели большое практическое значение. Кавернозные и трещиноватые коллекторы II группы приобрели большое значение за последнее время. Представлены они в основном карбонатными породами - известняками доломитами или доломитизированными известняками, в которых в силу различных причин широко развиты трещиноватость и кавернозность.

Примером коллекторов II группы могут служить рифовые массивы сакмаро-артинского яруса нижней перми в Восточной Башкирии (Ишимбаевский район), коллекторские свойства которых, а следовательно, и дебиты скважин на местоскоплениях, приуроченных к рифам, резко меняются даже на незначительном расстоянии ввиду того что кавернозность и трещиноватость известняков часто имеют локальное распространение.

На некоторых местоскоплениях Волго-Уральской провинции установлено, что кавернозность и трещиноватость пород резко уменьшаются от свода к крыльям структур (например в башкирском ярусе на Покровке), вследствие чего дебиты скважин тоже падают в указанном направлении.

Ухудшение пористости и проницаемости коллекторов на крыльях может происходить не только за счет уменьшения трещиноватости, возникшей под влиянием тектонических напряжений, но и за счет выпадения карбонатного цемента за контуром нефтегазоносности вследствие окисления УВ и восстановления сульфатов. В пределах же контура нефтегазоносности вторичной цементации пор, каверн и трещин после заполнения коллектора УВ не происходит.

На Среднем и Ближнем Востоке (Иран, Ирак, Саудовская Аравия) основные запасы нефти сосредоточены в трещиноватых и кавернозных известняках мезозоя и палеогена (свита Асмари).



По зарубежным данным, добыча нефти из трещинных карбонатных коллекторов мезозоя в этих районах за последнее время резко возросла. Дебиты скважин в ряде случаев составляют 5-10 тыс. т/сут., а иногда и больше (Иран).

Породы коллекторы необходимо классифицировать также по их распространенности и выдержанности литологии (коллекторские свойства) и мощность, т.е. по основным параметрам, характеризующим их емкость способность содержать (собирать) и отдавать флюиды. По этим признакам можно выделить породы-коллекторы, имеющие региональное, зональное и локальное распространение.