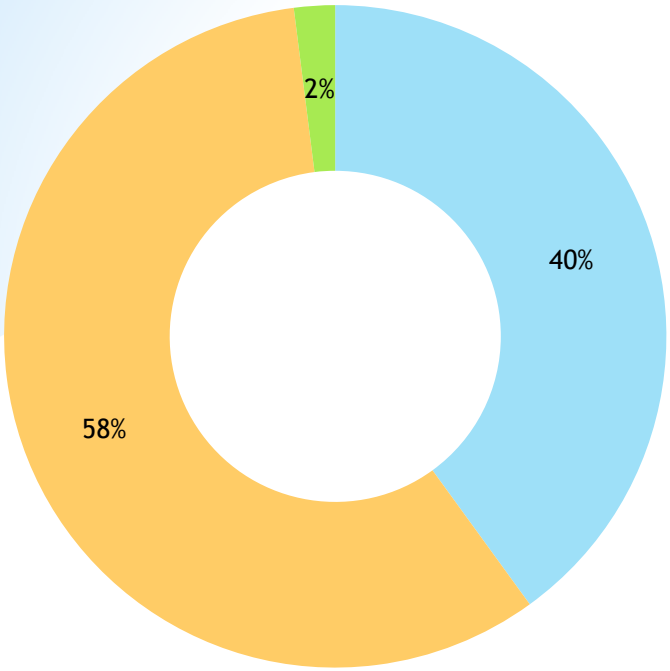
Применение капиллярной дефектоскопии в нефтяной геологии для выделения и оценки трещиноватости в горных породах

К.И. Багринцева, Р.С. Сауткин, Г.И. Шершуков

ФГУП «ВНИГНИ»

Москва 2013

Добыча УВ из различных типов месторождений (по миру)

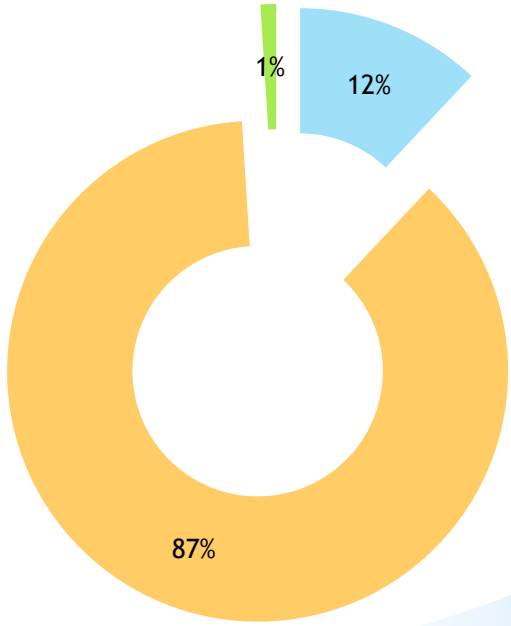


карбонатные месторождения

терригенные месторождения

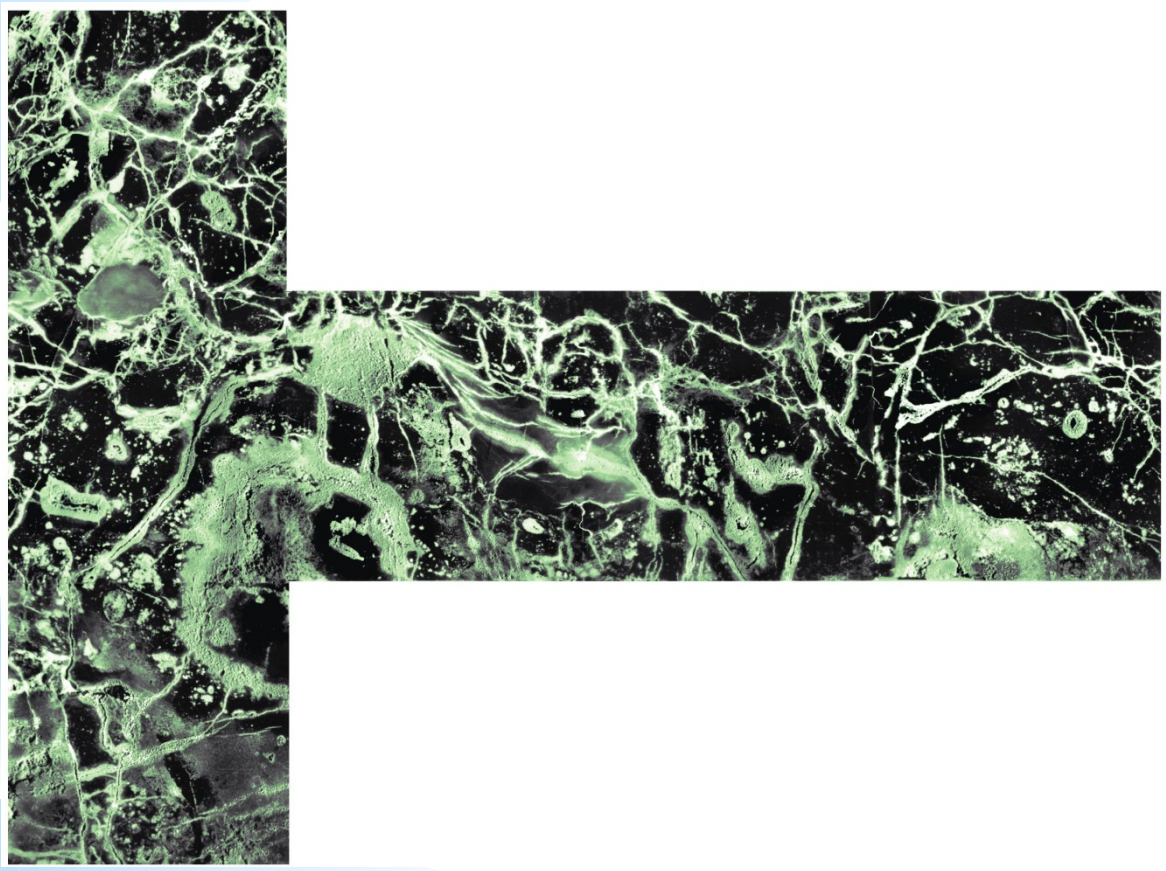
другие месторождения

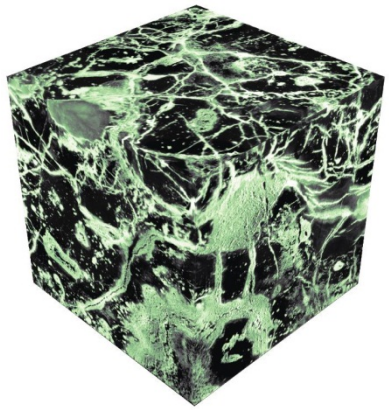
Добыча УВ из различных типов месторождений в Росии



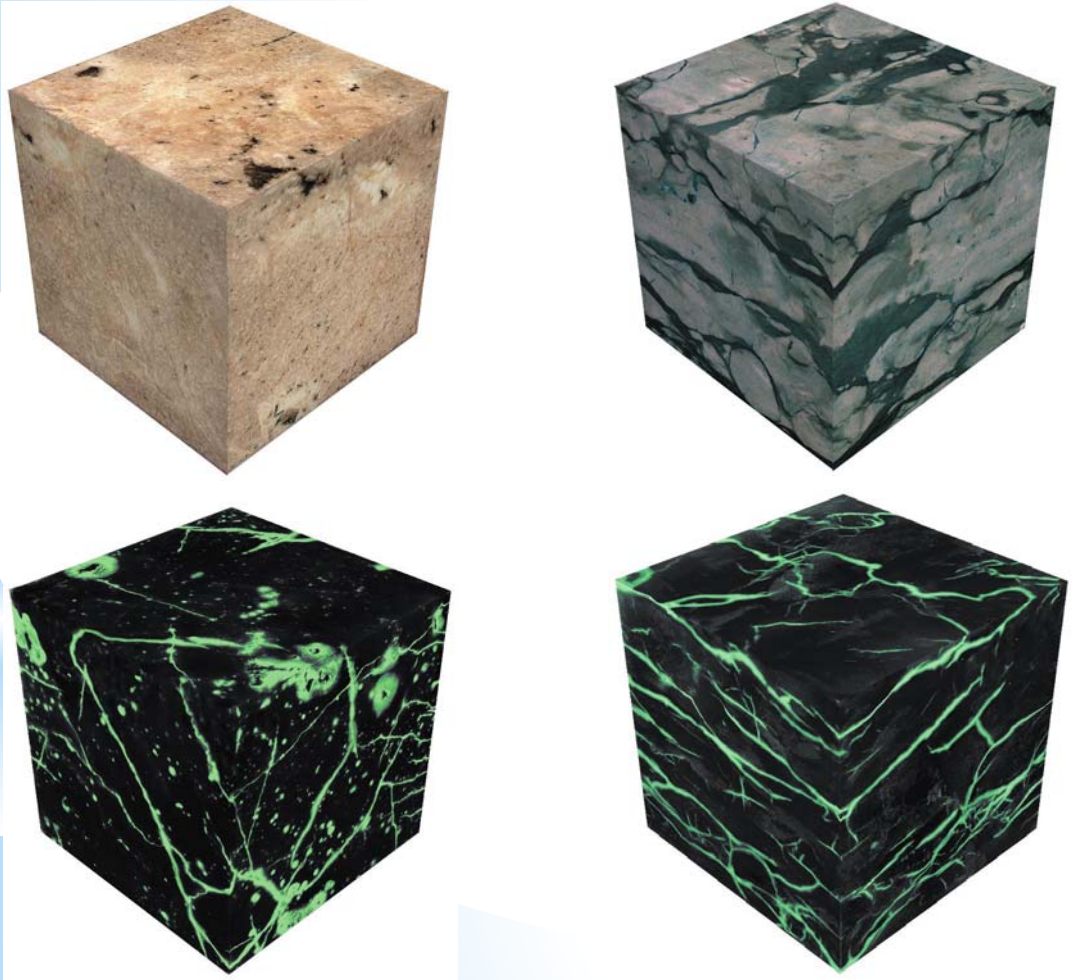
Цель

- ✓ Выявление структуры пустотного пространства и его дифференциация:
  - трещины
  - поры
  - каверны (пустоты)





Метод капиллярного насыщения карбонатных пород люминофором относится к методу дефектоскопии, применяемому в авиационной и оборонной промышленности. Он основан на изучении больших образцов кубической формы с гранью 5 см и позволяет оценить морфологию, зияние и взаимосвязь трещин.



Основой метода является капиллярное проникновение люминесцирующей жидкости (Нориол-А) в мельчайшие открытие полости исследуемого образца, заполнение внутренних пустот и обнаружение зияющих трещин, каверн и/или пор при просмотре образца в источнике ультрафиолетового света после обработки его специальными сорбентами.

Полноразмерный керн из кернохранилища

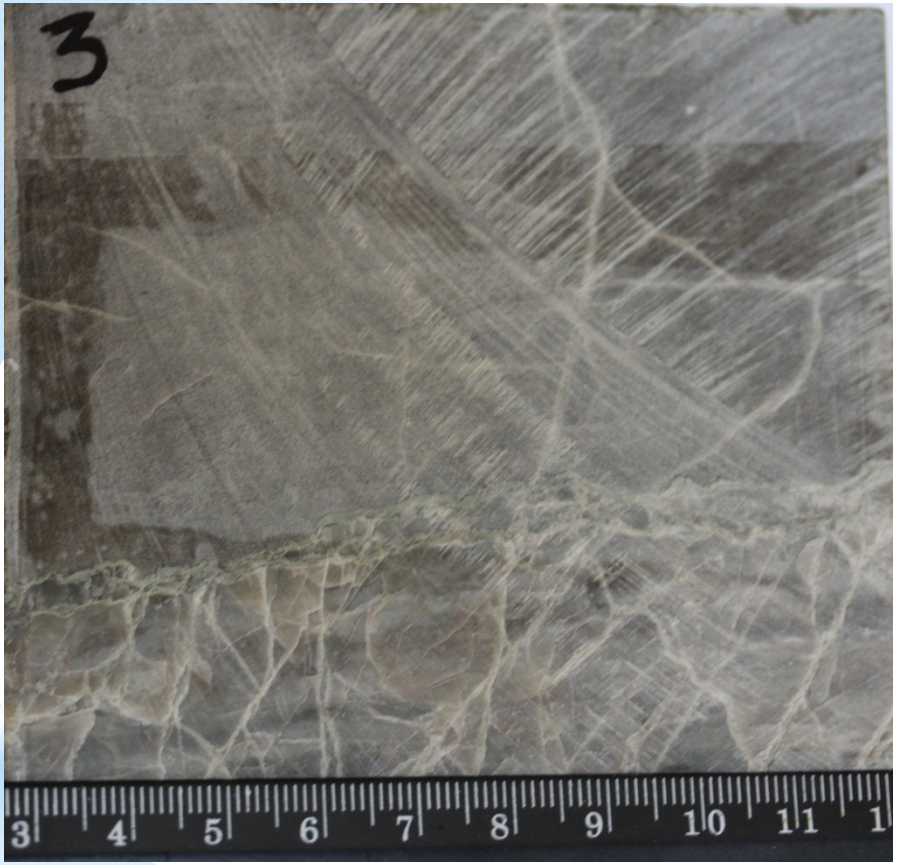
75 см

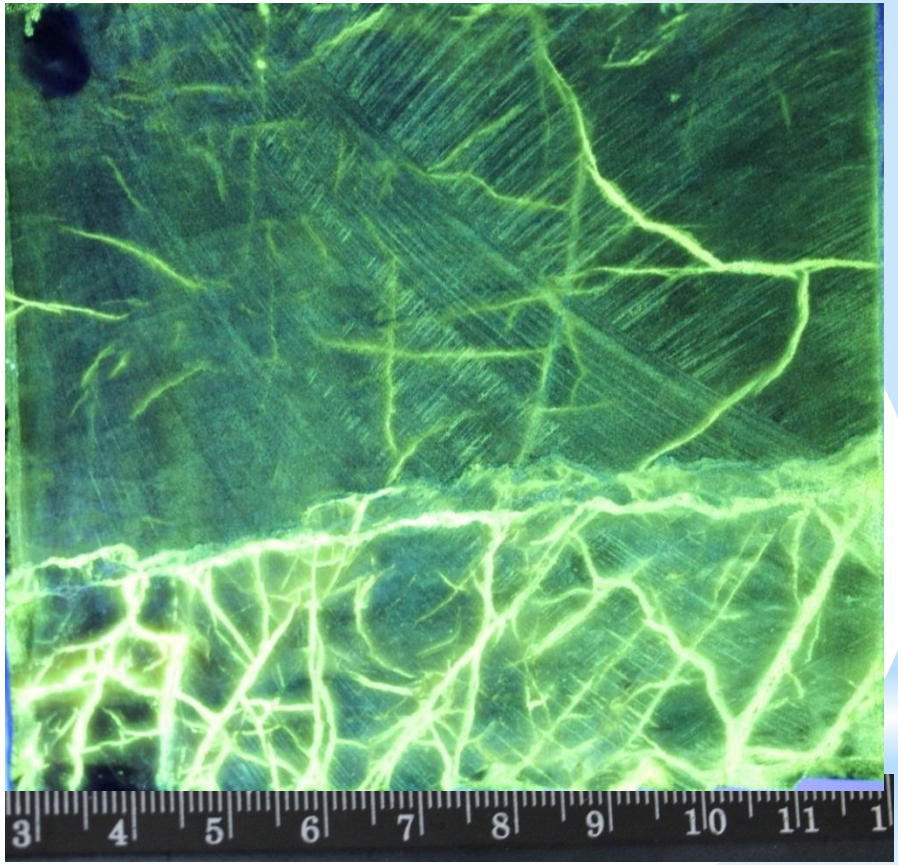
Полноразмерный трещиноватый керн

Примеры вертикальной трещиноватости скважина № 89 Юрубчено-Тохомское месторождение (Харахинов В.В. и др, 2011)

Экспресс определение трещиноватости

Керн обработанный пенетрантом (Zyglo zl-19)





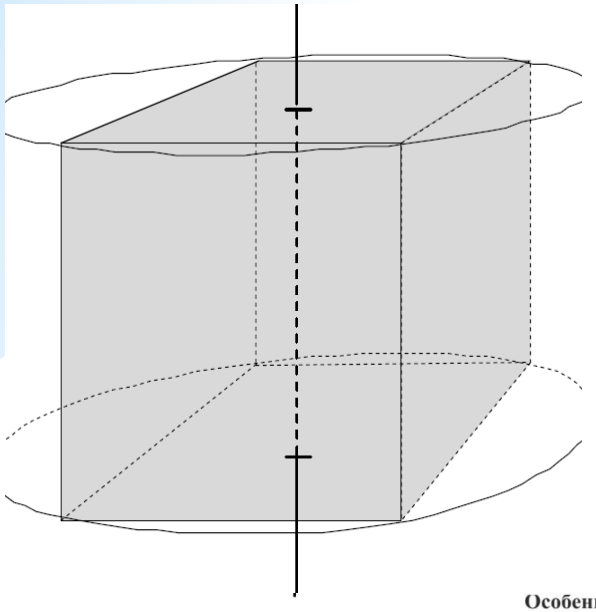
Метод капиллярного насыщения горных пород люминесцирующими жидкостями был разработан и использован для оценки особенностей строения сложного пустотного пространства карбонатных коллекторов К.И. Багринцевой (1977).

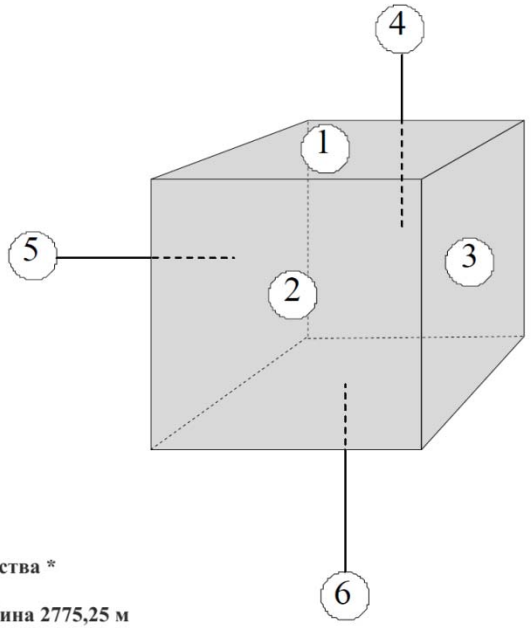
Метод простой, не требует дорогостоящего оборудования, основан на использовании нескольких физических явлений: капиллярное насыщение, эффект сорбции и люминесценция вещества в источнике ультрафиолетового света с длинной волны 365 Нм.

Метод включает ряд операций:

1. Изготовление ориентированного кубика с гранью 5 см;
2. Насыщение под вакуумом образца люминофором, снятие фона с граней кубика;
3. Обработка поверхности граней сорбентом для проявления различных видов открытых пустот, имеющихся в (породе) коллекторе;
4. Последовательное фотографирование каждой грани образца и его общего вида в источнике ультрафиолетового света;
5. Определение количественных параметров: ориентировка раскрытости и поверхностная плотность трещин по полученным фотоснимкам.

Изготовление ориентированного кубика с гранью 5 см





Особенности строения пустотного пространства *
Образец № 3
Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. 198, глубина 2775,25 м

Доломит серый, тонкослоистый, мелкокристаллический. Строматолитовая текстура подчеркивается чередованием темных микритовых доломитов и светлых, кремнистых прослоев. В породе встречаются крупные линзы, выполненные халцедоном. Доломиты подвергались интенсивному выщелачиванию, в них формировались крупные пустоты, которые постепенно в несколько стадий полностью заполнялись кремнеземом. Кремнистая линза от основной массы породы отделяется зеленоватой глауконитовой корочкой, которая образовалась на стенке полости выщелачивания. Данная полость была незаполненной в течение длительного времени.

В доломите развиты крупные и мелкие трещины, стенки которых инкрустированы кремнеземом. Трещины субвертикального и субгоризонтального простирания, секут доломитовую часть породы. Важно, что крупная кремнистая линза значительно более трещиноватая, чем доломитовая часть породы.

Насыщение образца люминофором под вакуумом

Люминофор

Наилучший эффект выявления особенностей пустотного пространства получается при использовании смеси:

- нориал-А (25 %) – естественная нефть, святящаяся в источнике УФС;
- Керосина (64,5 %);
- авиационного бензина Б-70 (10 %);
- Эмульгатора (0,05 %).

Нориол-А отличается высокой концентрацией люминесцирующих веществ и большей чистотой зеленого тона.

Полученная смесь (Люминофор) является нефтью похожей по своим физическим свойствам (вязкость, плотность и др.) на УВ изучаемого месторождения.

Выявление трещиновастости в ультрафиолетовом свете и определение её количественных параметров

Особенности строения пустотного пространства породы насыщенной люминофором

Образец № 3

Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. 198, глубина 2775,25 м

В кремнистом доломите развита сложная система хорошо взаимосообщающихся фильтрующих трещин. Наблюдается различный характер трещиноватости в основной доломитовой породе и в крупной линзовидной конкреции, выполненной халцедоном. В конкреции трещины более короткие пересекающиеся между собой, раскрытость трещин и ориентировка их существенно меньше, чем в доломите. Совокупное влияние разноориентированных трещин определяет анизотропию проницаемости. Поверхностная плотность средняя (1,15 см/см^2). Раскрытость меняется от 5 до 107 мкм.

Емкость трещин и каверн – 2,48%.

Проницаемость по направлениям (мД): I – 0,089; II – 0,13; III – 0,98.

Поверхностная плотность трещин по 6 граням кубика (см/см^2):

I	II	III	IV	V	VI	сред.
0,62	1,51	1,23	0,67	1,20	1,65	1,15

Раскрытость трещин (мкм): мин. – 5; макс. – 107; сред. – 40.

Сравнение образцов до и после насыщения люминофором

Юрубчено-Тохомское месторождение
Скважина № 61
Образец № 8654
Интервал 2296-2303,5

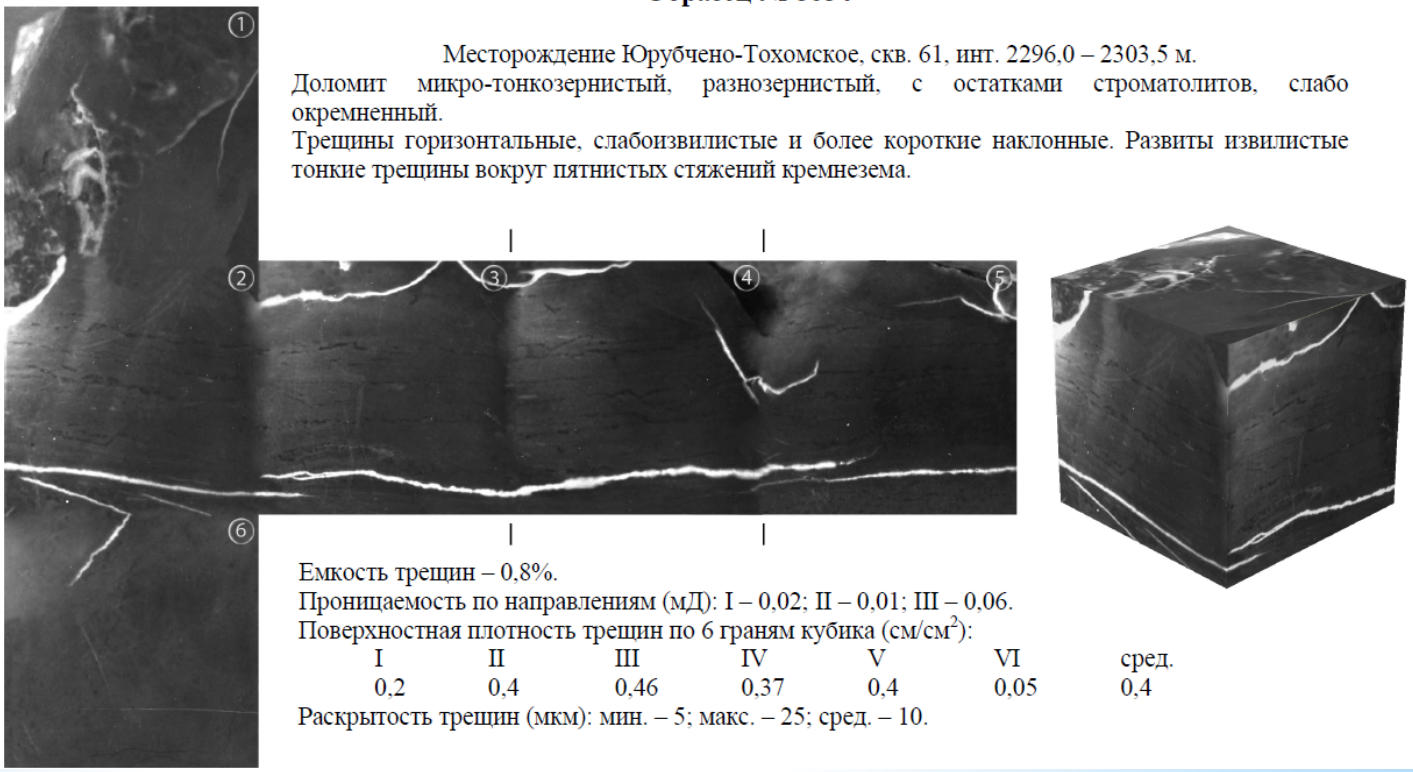
Доломит серовато-коричневого цвета, микрослоистый, строматолитовый с тонкими линзообразными включениями кремнезёма. Трещины горизонтальной ориентировки прямые с кавернами вдоль плоскостей трещин.

Особенности строения пустотного пространства пород насыщенных люминофором
Образец № 8654

Месторождение Юрубчено-Тохомское, скв. 61, инт. 2296,0 – 2303,5 м.

Доломит микро-тонкозернистый, разнозернистый, с остатками строматолитов, слабо окремненный.

Трещины горизонтальные, слабоизвилистые и более короткие наклонные. Развиты извилистые тонкие трещины вокруг пятнистых стяжений кремнезема.



Емкость трещин – 0,8%.

Проницаемость по направлениям (мД): I – 0,02; II – 0,01; III – 0,06.

Поверхностная плотность трещин по 6 граням кубика (см/см^2):

I	II	III	IV	V	VI	сред.
0,2	0,4	0,46	0,37	0,4	0,05	0,4

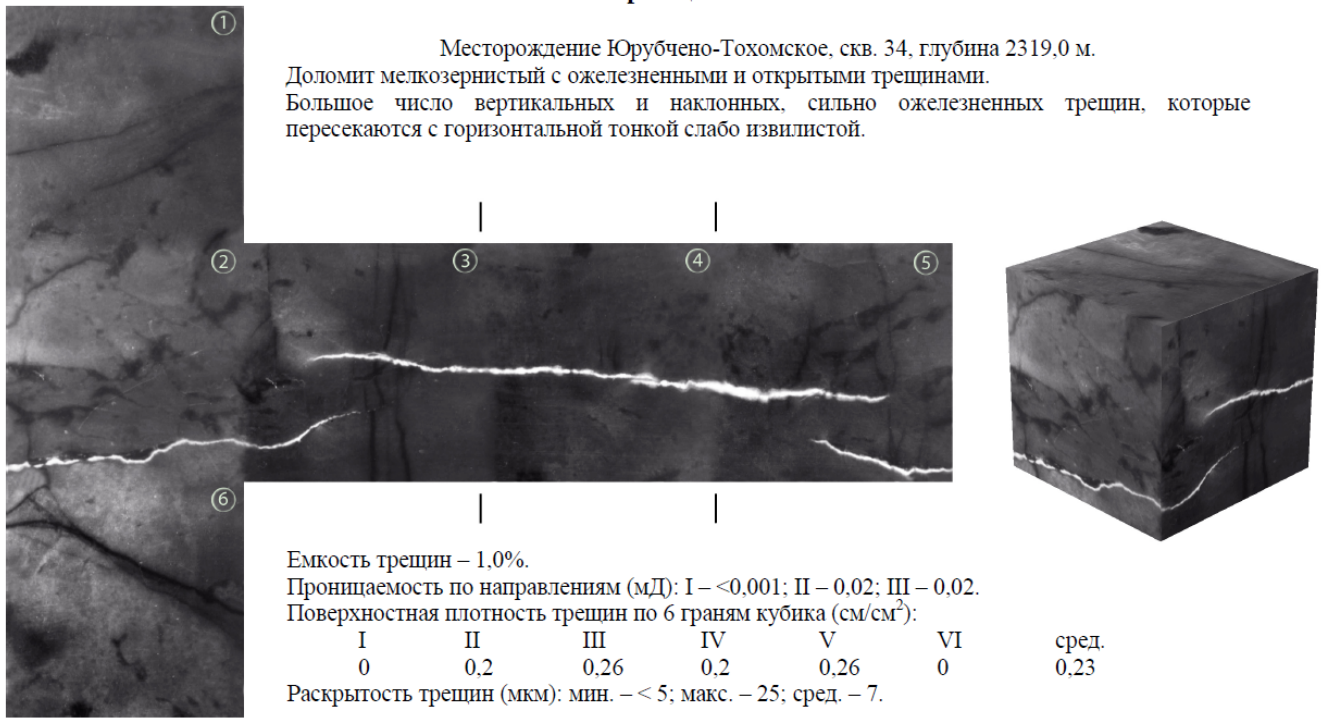
Раскрытость трещин (мкм): мин. – 5; макс. – 25; сред. – 10.

Минерализованные и зияющие трещины

Юрубчено-Тохомское месторождение
Скважина № 34
Образец № 8675
Глубина 2319,0 м

Доломит мелкозернистый светлосерого цвета с большим числом тонких, ожелезнённых трещин вертикальной и наклонной ориентировки. Гидроокислы железа распространены в виде мелких включений. Тонкая извилистая трещина, заполненная чёрным ОВ, прослеживается вдоль всех граней по наслоению.

Особенности строения пустотного пространства пород насыщенных люминофором
Образец № 8675



Месторождение Юрубчено-Тохомское, скв. 34, глубина 2319,0 м.
Доломит мелкозернистый с ожелезненными и открытыми трещинами.
Большое число вертикальных и наклонных, сильно ожелезненных трещин, которые пересекаются с горизонтальной тонкой слабо извилистой.

Емкость трещин – 1,0%.
Проницаемость по направлениям (мД): I – <0,001; II – 0,02; III – 0,02.
Поверхностная плотность трещин по 6 граням кубика (см/см^2):

I	II	III	IV	V	VI	сред.
0	0,2	0,26	0,2	0,26	0	0,23

Раскрытость трещин (мкм): мин. – < 5; макс. – 25; сред. – 7.

Особенности строения пустотного пространства *

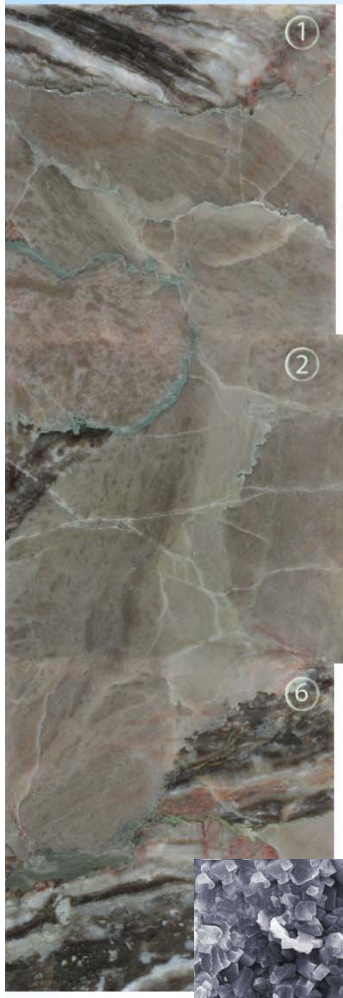
Образец № 18

Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. 272, глубина 2575,94 м

Доломитово-кремнистая брекчия с реликтами первичного строматолитового доломита, коричневого тонкослоистого, с линзами кремнезема белого цвета.

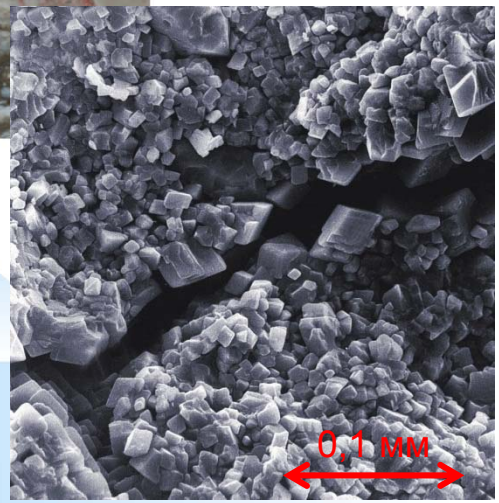
Наблюдаются обломки коричневого доломита неправильной формы , интенсивно разбитые трещинами. Внутри доломита встречаются слоистые линзы белого и темно-серого цвета, они окаймлены извилистыми трещинами, заполненными частично кремнеземом и глауконитом.

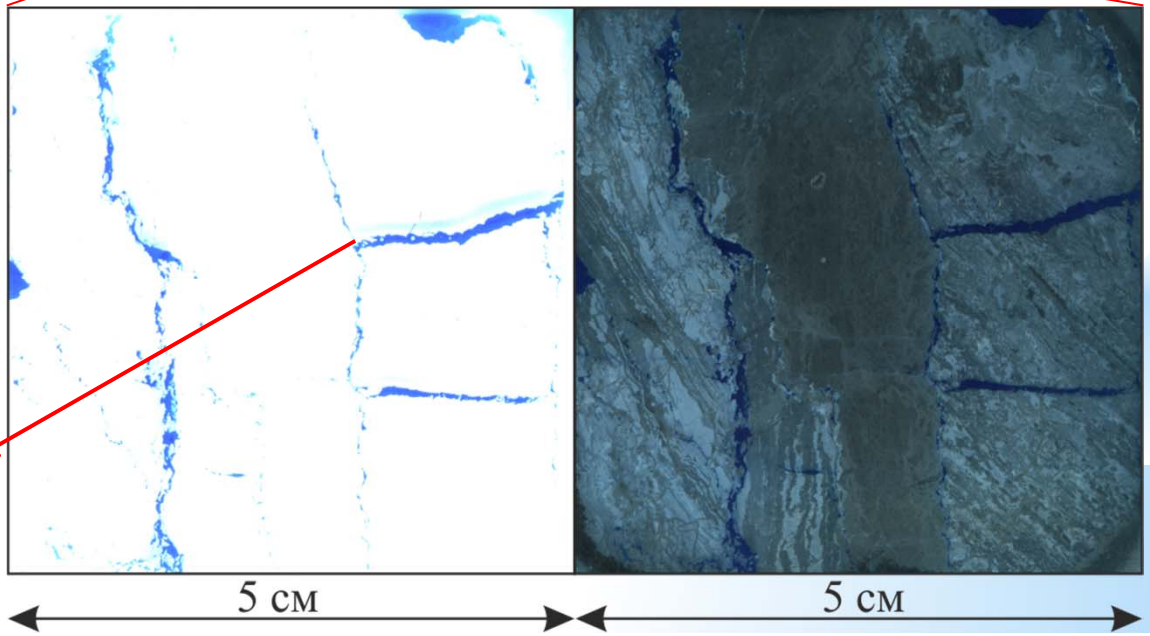
В доломите развита система трещин сложной морфологии.



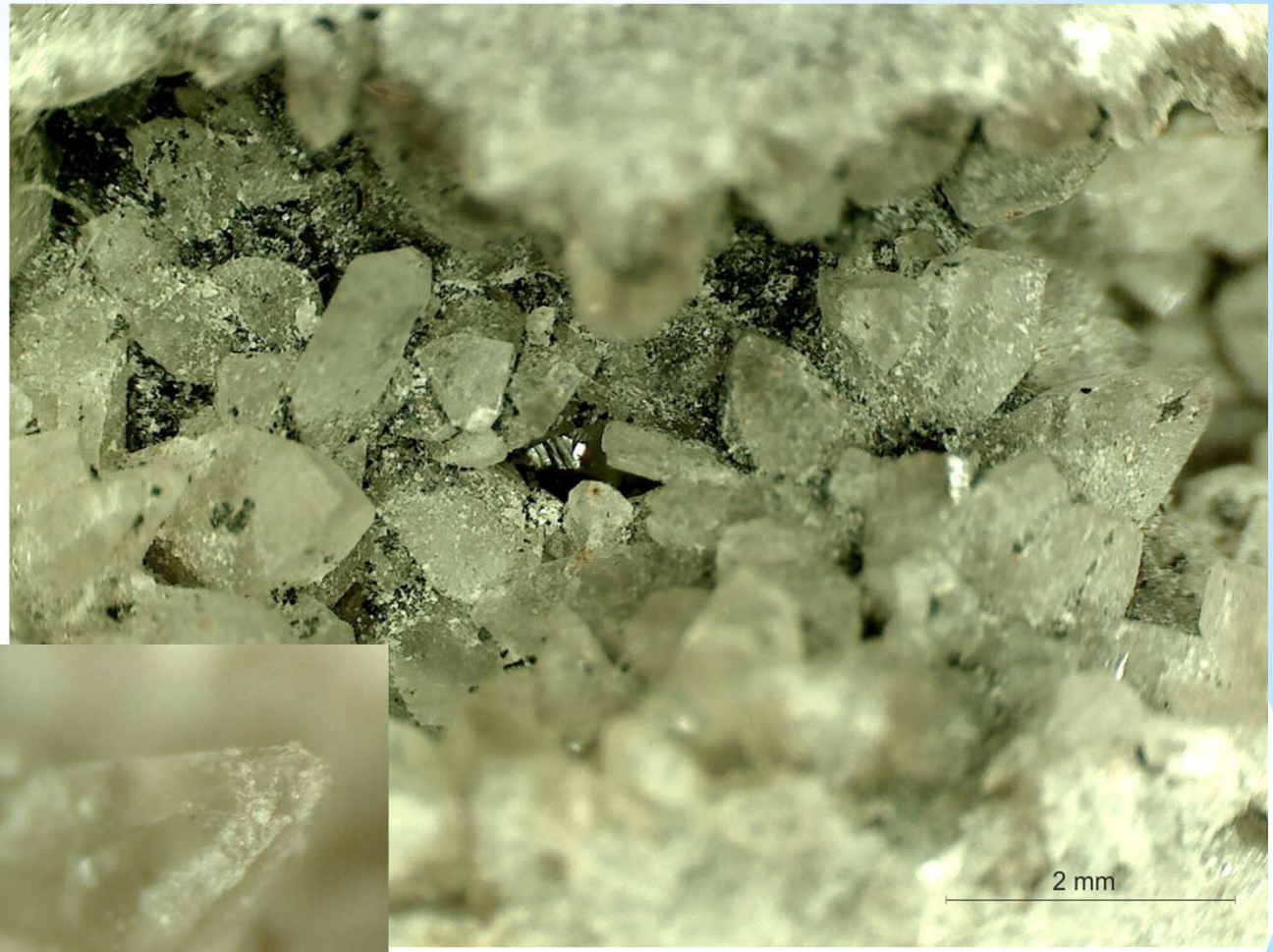
Шлиф

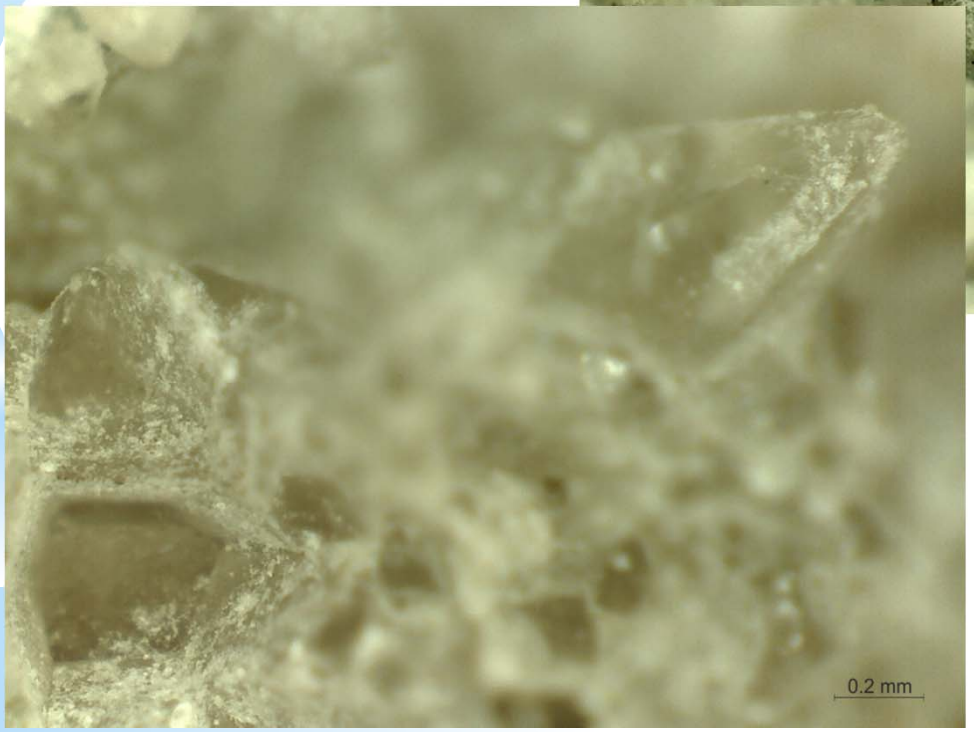
РЭМ





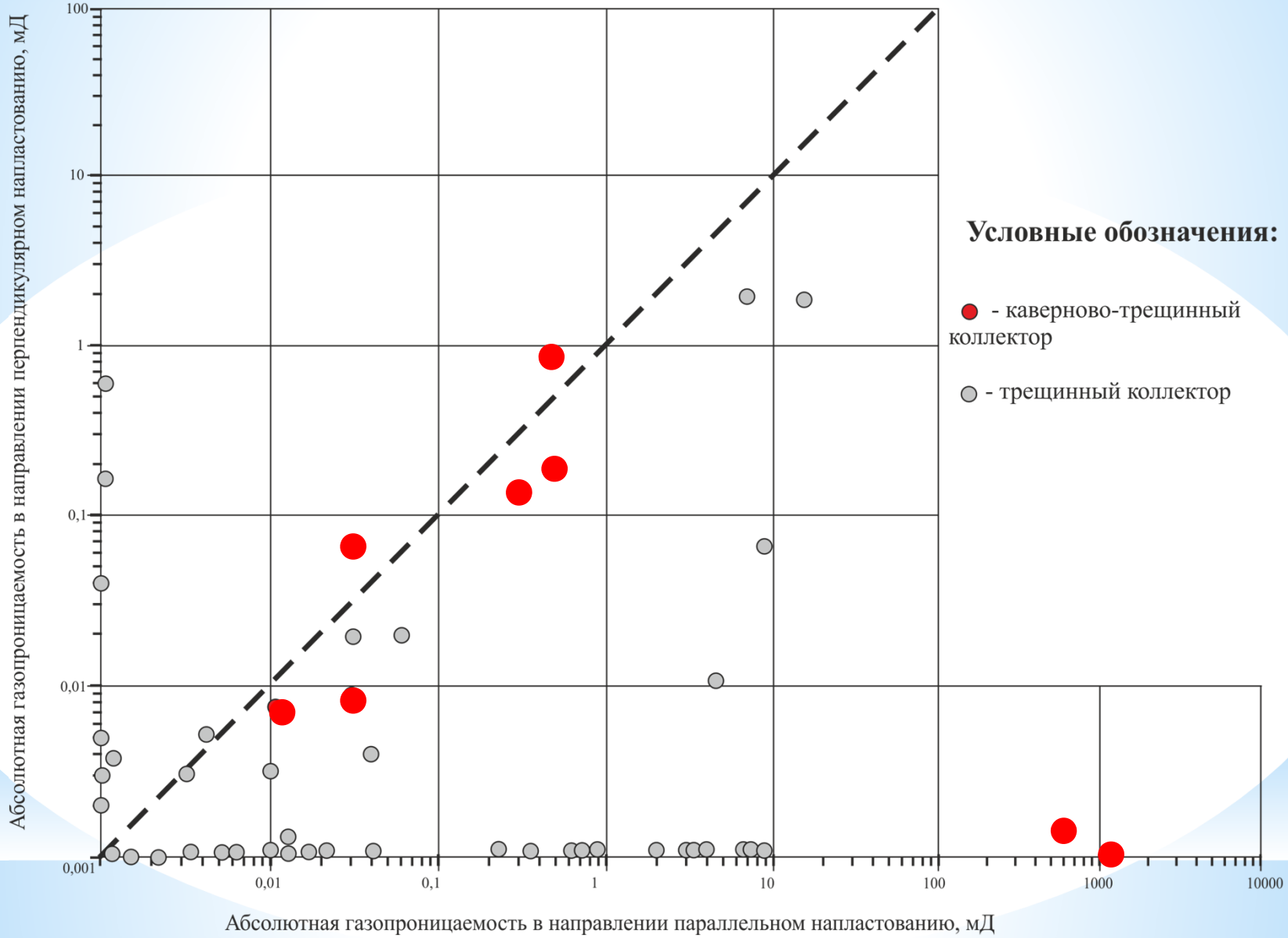
Наличие кристаллов подтверждает природное происхождение пустот





Проницаемость сложных типов коллекторов

Изменение газопроницаемости в двух взаимно перпендикулярных направлениях

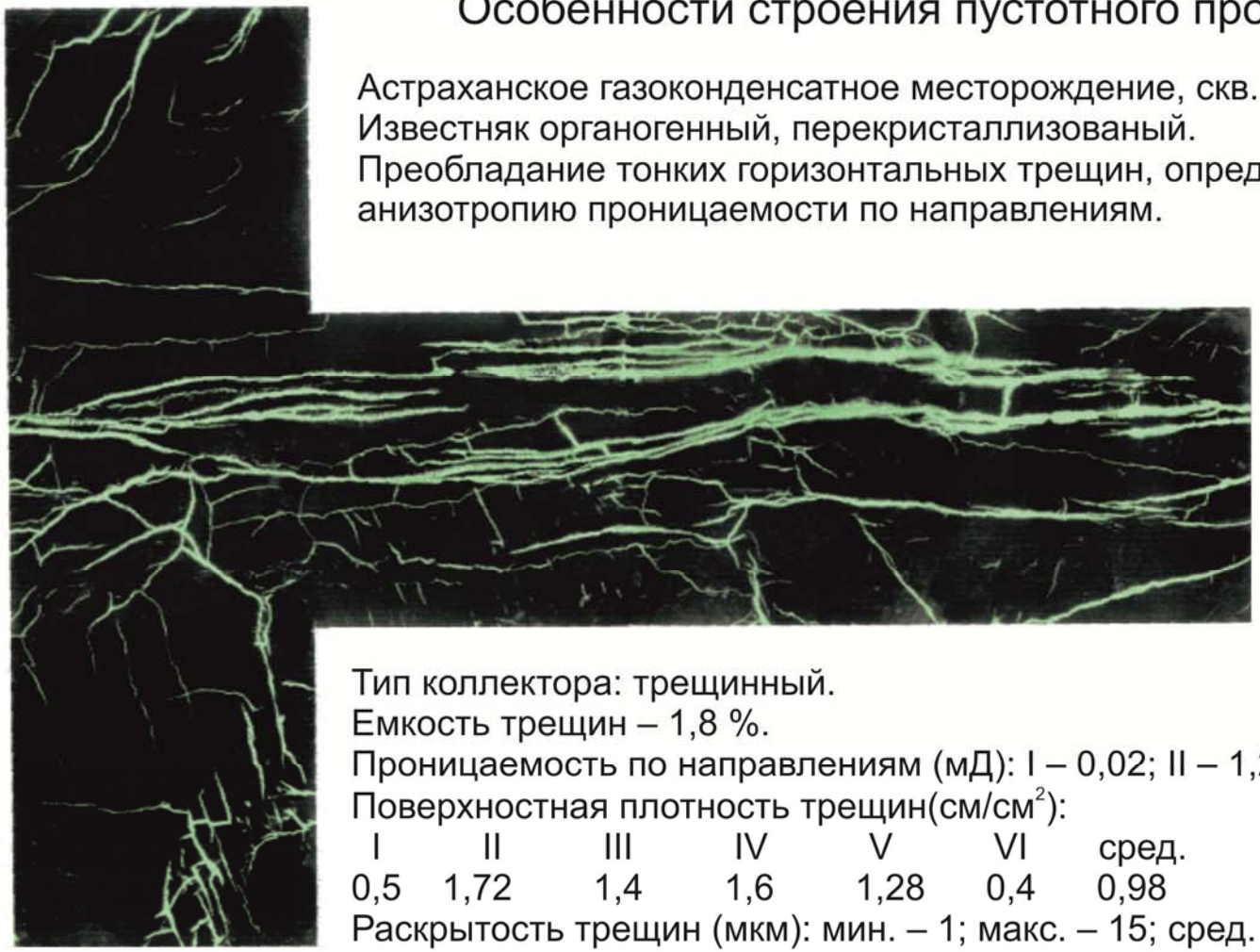


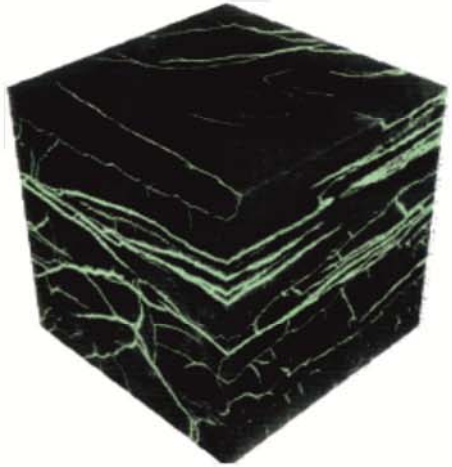
Проницаемость горных пород – способность пропускать через себя жидкость и газы при гидростатических давлениях.

Горизонтальные трещины

Особенности строения пустотного пространства

Астраханское газоконденсатное месторождение, скв. 15, глубина 4230 м.
Известняк органогенный, перекристаллизованый.
Преобладание тонких горизонтальных трещин, определяющих анизотропию проницаемости по направлениям.





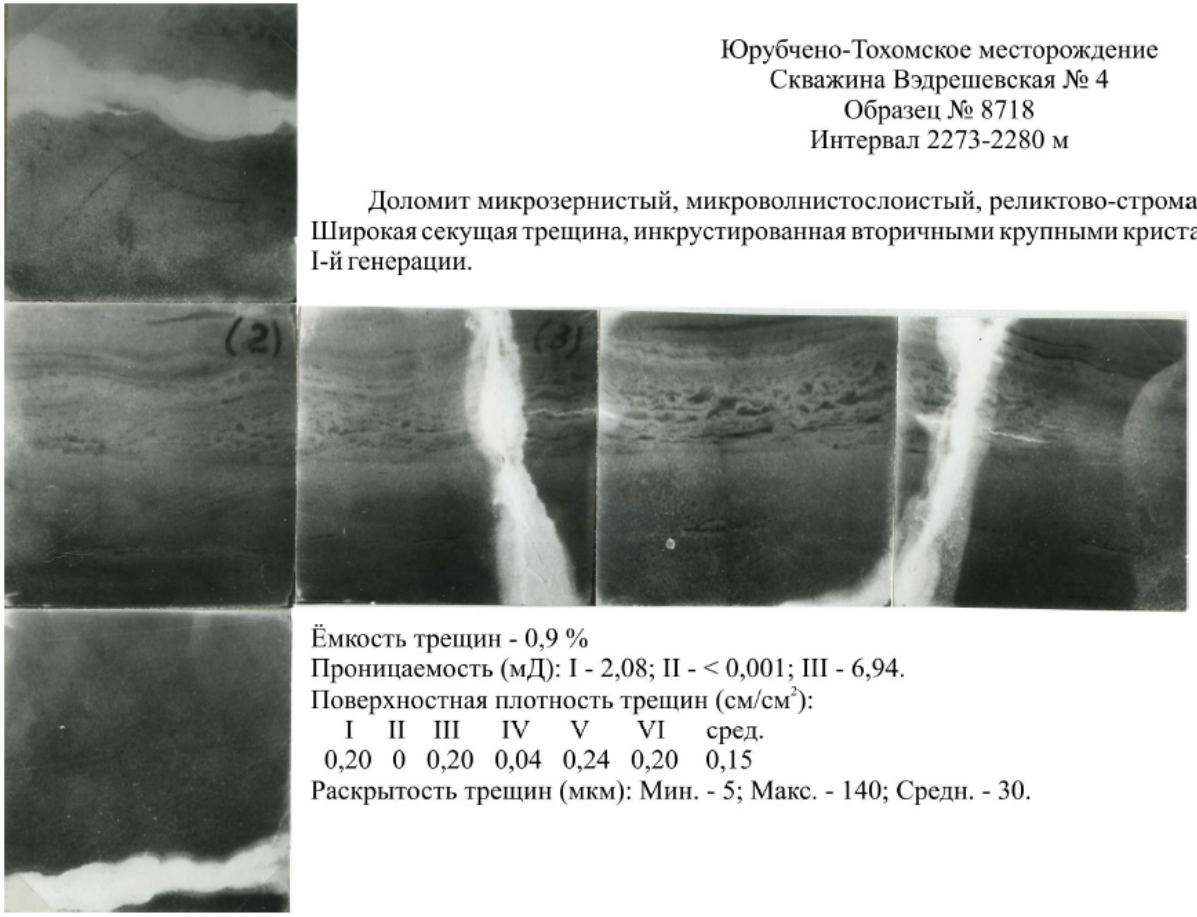
Тип коллектора: трещинный.
Емкость трещин – 1,8 %.
Проницаемость по направлениям (мД): I – 0,02; II – 1,2; III – 1,1.
Поверхностная плотность трещин(см/см^2):

I	II	III	IV	V	VI	сред.
0,5	1,72	1,4	1,6	1,28	0,4	0,98

Раскрытость трещин (мкм): мин. – 1; макс. – 15; сред. – 5; фильтр. - 7.

Особенности строения пустотного пространства пород насыщенных люминофором

Вертикальные трещины



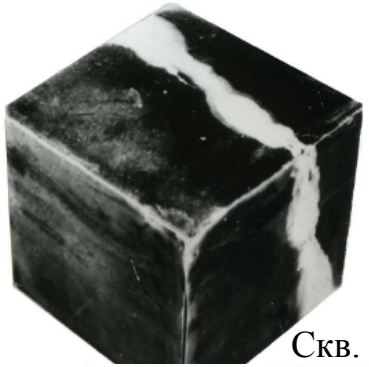
Юрубчено-Тохомское месторождение
Скважина Вэдрешевская № 4
Образец № 8718
Интервал 2273-2280 м

Доломит микрозернистый, микроволнистослоистый, реликтово-строматолитовый, трещиноватый. Широкая секущая трещина, инкрустированная вторичными крупными кристаллами. Трещина вертикальная I-й генерации.

Ёмкость трещин - 0,9 %
Проницаемость (мД): I - 2,08; II - < 0,001; III - 6,94.
Поверхностная плотность трещин (см/см^2):

I	II	III	IV	V	VI	сред.
0,20	0	0,20	0,04	0,24	0,20	0,15

Раскрытость трещин (мкм): Мин. - 5; Макс. - 140; Средн. - 30.



Скв. № 89, ЮТМ

Харахинов В.В. и др, 2011

Вертикальные широкие, но ***редкие секущие трещины***, которые заполнены углеводородом и являются эффективными. Вдоль полостей таких трещин развиты каверны. Емкость собственно каверн в ряде случаев превышает объем 5 см^3, в пласте вероятны более высокие значения эффективной емкости. Эти протяженные вертикальные и наклонные трещины обеспечивают основную фильтрацию.

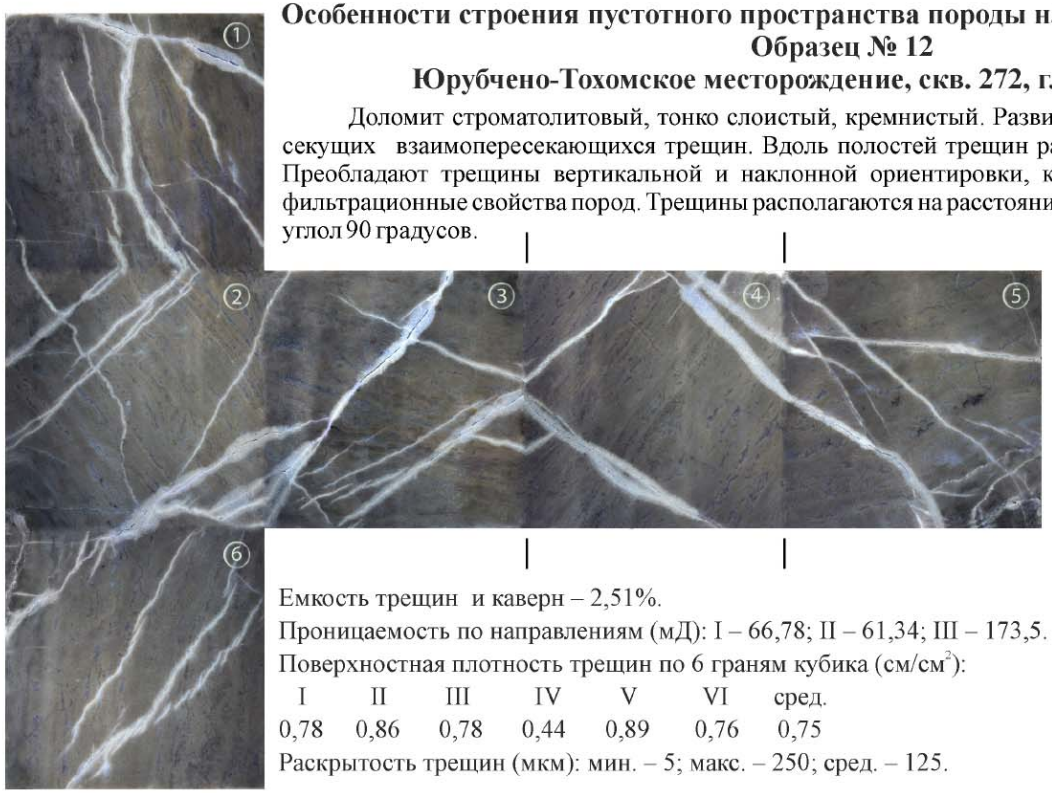
Особенности строения пустотного пространства *
Образец № 12
Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. 272, глубина 2508,82 м

Доломит кремнистый серого цвета, мелкокристаллический, по тонкой слоистости определяется первично строматолитовый генезис породы. В основной массе наблюдается чередование микритового доломита и кремнистых прослоев. Порода весьма однообразна, в ней встречаются единичные небольшие каверны.

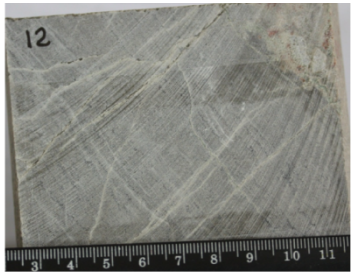
В доломите развита сложная система взаимосвязанных секущих трещин, в основном наклонных, стенки которых частично инкрустированы кремнеземом. Единичные трещины частично заполнены зеленым веществом – глауконитом. Выщелачивание проявляется в расширении полостей трещин, что обуславливает высокую проницаемость этих разностей.

Широкий «шаг» между трещинами 3-5 см, характерен для кремнистых доломитов и определяет сложность их выявления. Особенно четко это проявляется при анализе вертикальной трещиноватости, на плоскостях этих трещин отмечается рост крупных вторичных кристаллов.

Особенности строения пустотного пространства породы насыщенной люминофором
Образец № 12
Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. 272, глубина 2508,82 м



Доломит строматолитовый, тонко слоистый, кремнистый. Развита сложная система длинных секущих взаимопересекающихся трещин. Вдоль полостей трещин развиты щелевидные каверны. Преобладают трещины вертикальной и наклонной ориентировки, которые определяют высокие фильтрационные свойства пород. Трещины располагаются на расстоянии более 2 см друг от друга, под углом 90 градусов.



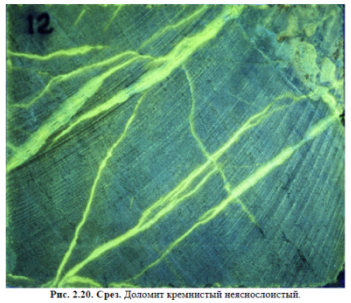


Рис. 2.20. Срез. Доломит кремнистый неяснослоистый.

Емкость трещин и каверн – 2,51%.

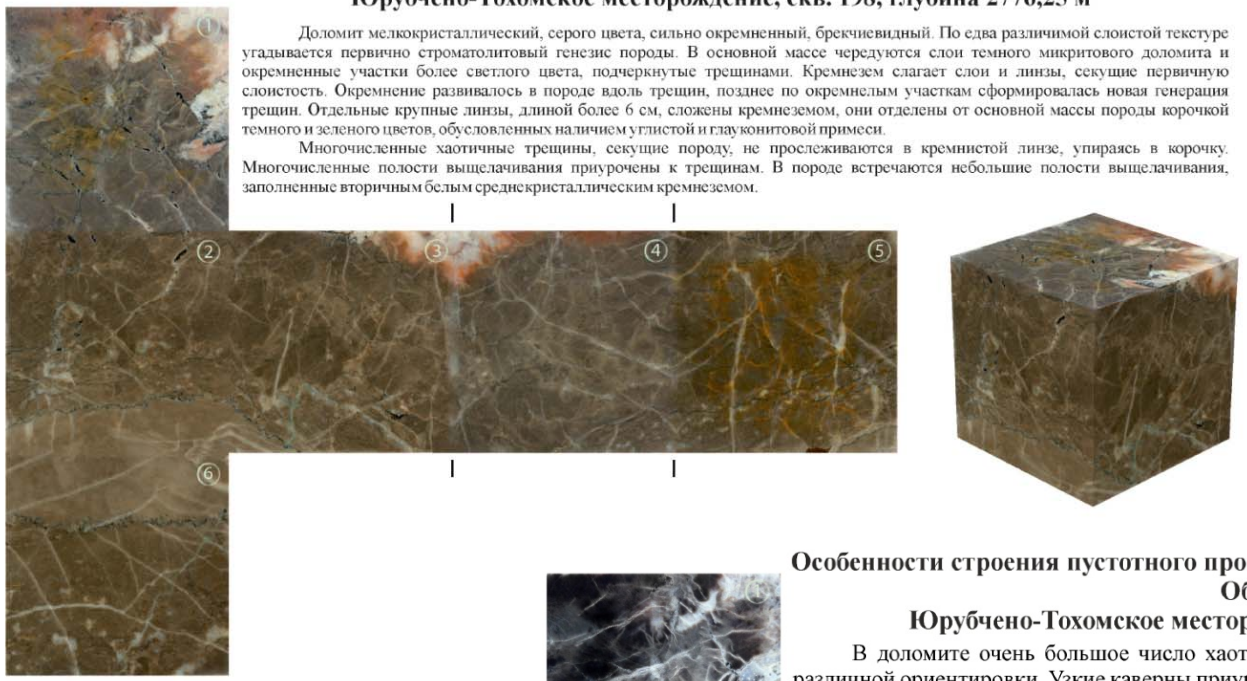
Проницаемость по направлениям (мД): I – 66,78; II – 61,34; III – 173,5.

Поверхностная плотность трещин по 6 граням кубика (см/см^2):

I	II	III	IV	V	VI	сред.
0,78	0,86	0,78	0,44	0,89	0,76	0,75

Раскрытость трещин (мкм): мин. – 5; макс. – 250; сред. – 125.

Особенности строения пустотного пространства *
Образец № 5
Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. 198, глубина 2776,25 м



Доломит мелкокристаллический, серого цвета, сильно окремненный, брекчиевидный. По едва различимой слоистой текстуре угадывается первично строматолитовый генезис породы. В основной массе чередуются слои темного микритового доломита и окремненные участки более светлого цвета, подчеркнутые трещинами. Кремнезем слагает слои и линзы, секущие первичную слоистость. Окремнение развивалось в породе вдоль трещин, позднее по окремнелым участкам сформировалась новая генерация трещин. Отдельные крупные линзы, длиной более 6 см, сложены кремнеземом, они отделены от основной массы породы корочкой темного и зеленого цветов, обусловленных наличием углистой и глауконитовой примеси.

Многочисленные хаотичные трещины, секущие породу, не прослеживаются в кремнистой линзе, упираясь в корочку. Многочисленные полости выщелачивания приурочены к трещинам. В породе встречаются небольшие полости выщелачивания, заполненные вторичным белым среднекристаллическим кремнеземом.

В породе развита ***система взаимосообщающихся трещин***, обеспечивающая проницаемость в вертикальном и горизонтальном направлении. Вдоль трещин отмечены многочисленные пустоты выщелачивания – увеличивающие емкостные свойства коллектора.

Скважина: **Юрубчено-Тохомская – 198**
Образец № 5
Интервал: 2774,85 – 2784,33
Место взятия: 1,4 от н.к.

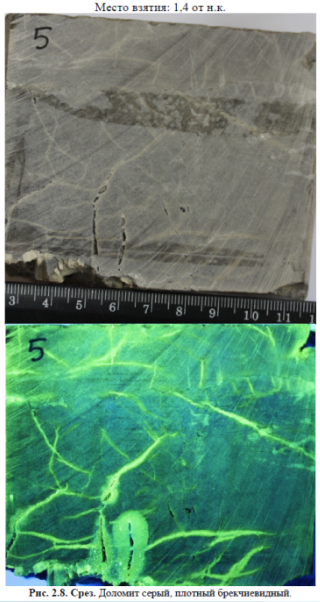
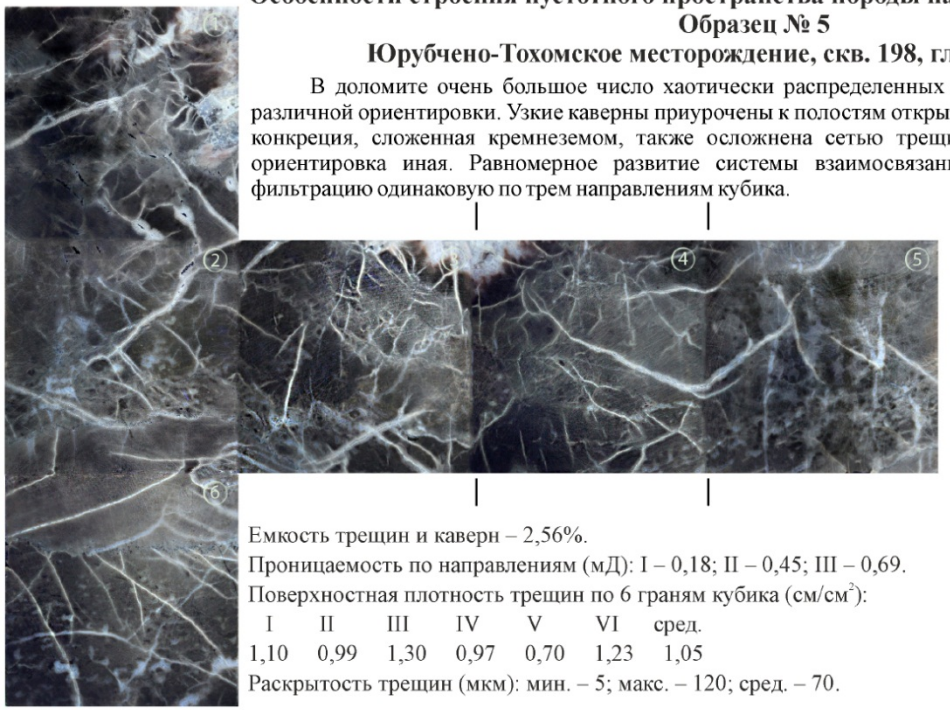
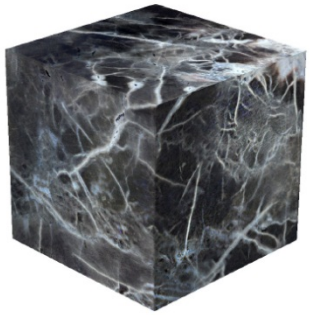


Рис. 2.8. Срез. Доломит серый, плотный брекчиевидный.

Особенности строения пустотного пространства породы насыщенной люминофором
Образец № 5
Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. 198, глубина 2776,25 м



В доломите очень большое число хаотически распределенных тонких коротких трещин различной ориентировки. Узкие каверны приурочены к полостям открытых трещин. Линзовидная конкреция, сложенная кремнеземом, также осложнена сетью трещин, но морфология их и ориентировка иная. Равномерное развитие системы взаимосвязанных трещин обусловило фильтрацию одинаковую по трем направлениям кубика.

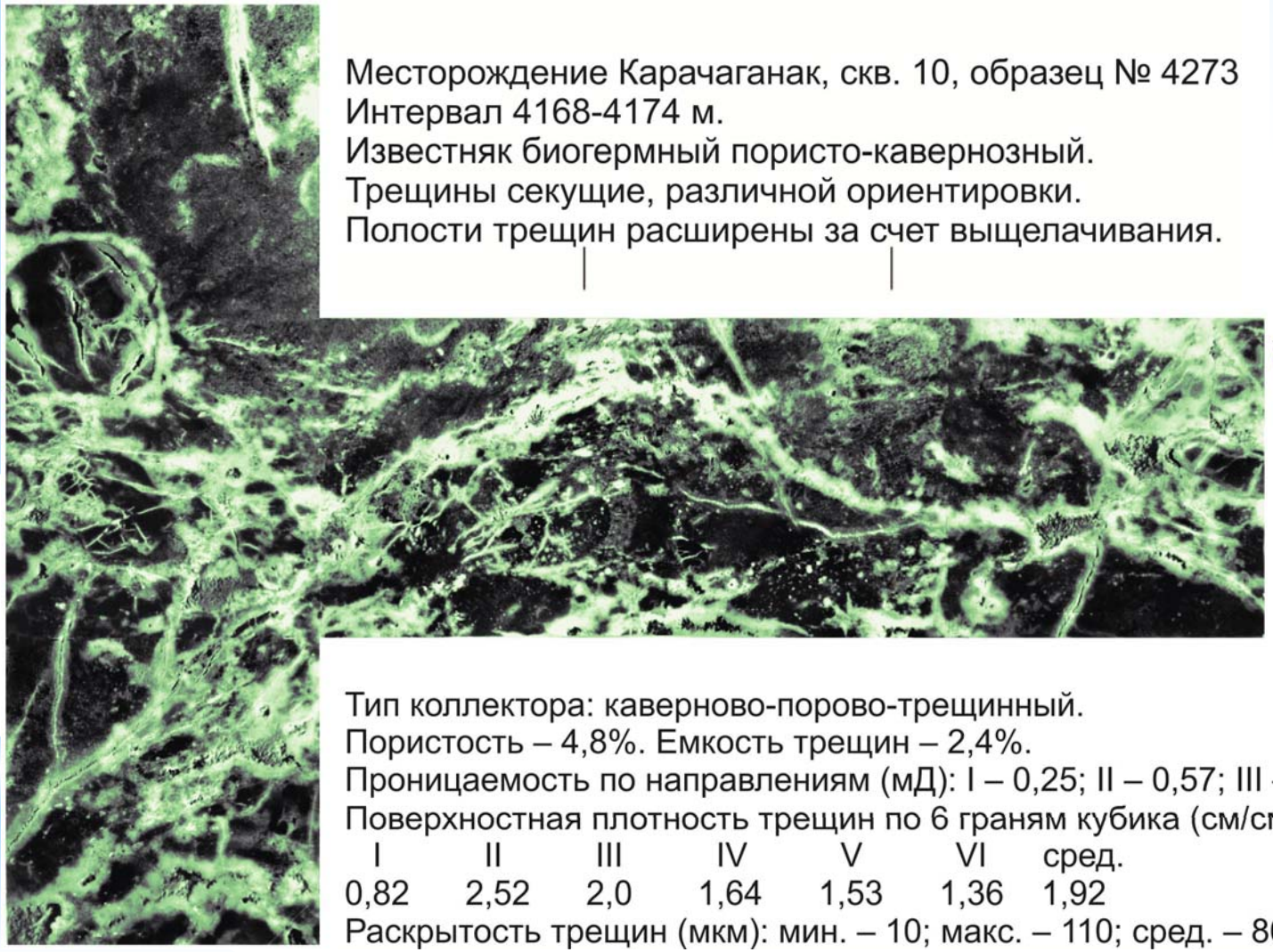


Емкость трещин и каверн – 2,56%.
Проницаемость по направлениям (мД): I – 0,18; II – 0,45; III – 0,69.
Поверхностная плотность трещин по 6 граням кубика (см/см^2):

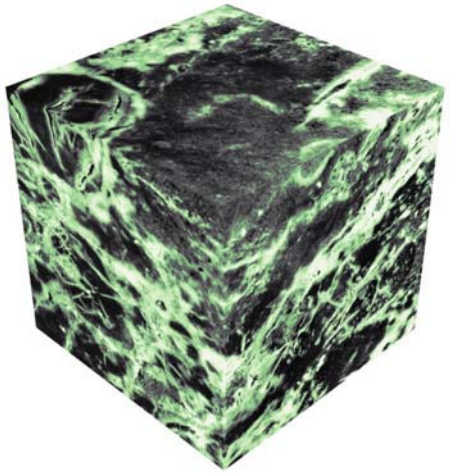
I	II	III	IV	V	VI	сред.
1,10	0,99	1,30	0,97	0,70	1,23	1,05

Раскрытость трещин (мкм): мин. – 5; макс. – 120; сред. – 70.

Сложный тип коллектора



Месторождение Карачаганак, скв. 10, образец № 4273
Интервал 4168-4174 м.
Известняк биогермный пористо-кавернозный.
Трещины секущие, различной ориентировки.
Полости трещин расширены за счет выщелачивания.



Тип коллектора: каверново-порово-трещинный.
Пористость – 4,8%. Емкость трещин – 2,4%.
Проницаемость по направлениям (мД): I – 0,25; II – 0,57; III – 1,01
Поверхностная плотность трещин по 6 граням кубика (см/см^2):

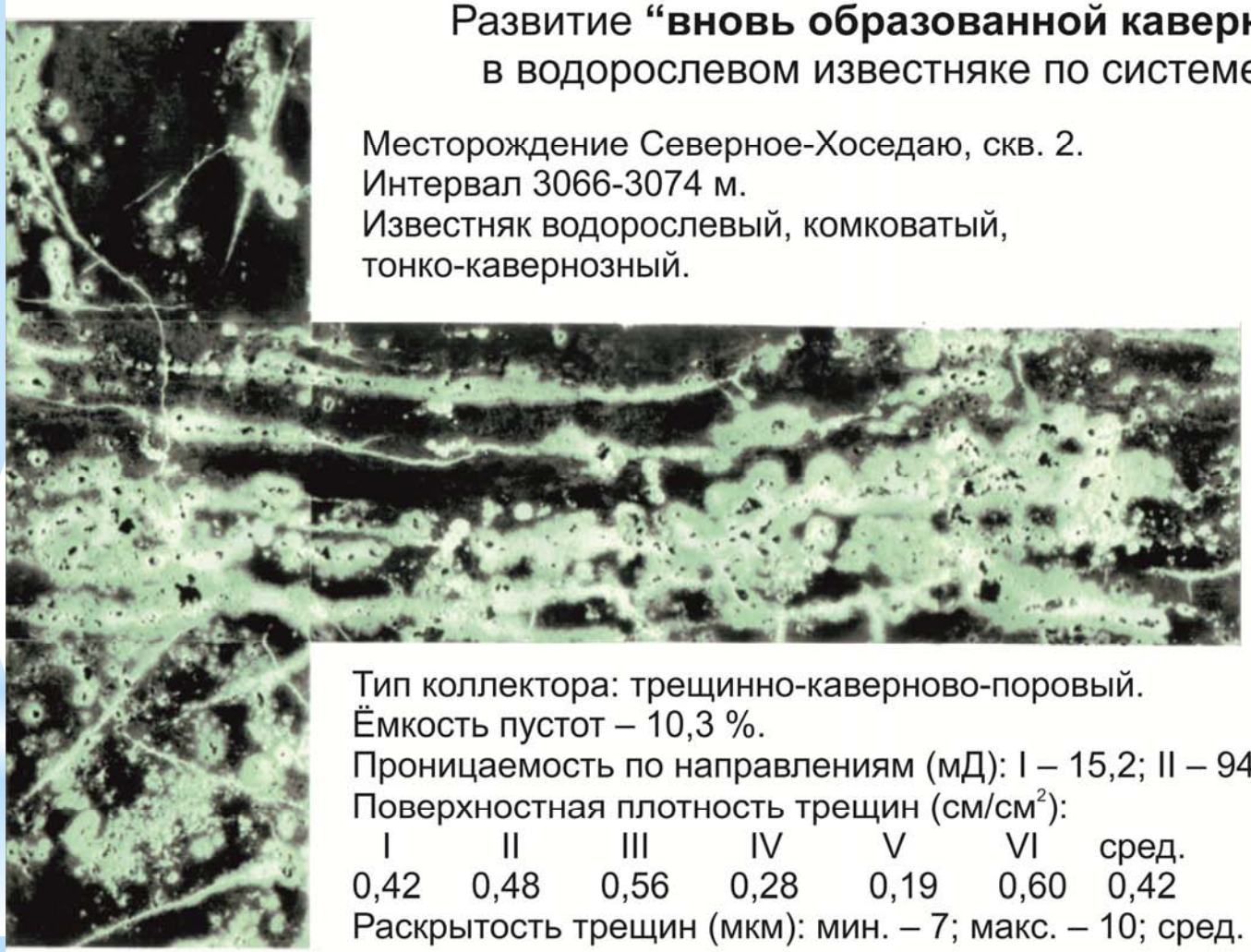
I	II	III	IV	V	VI	сред.
0,82	2,52	2,0	1,64	1,53	1,36	1,92

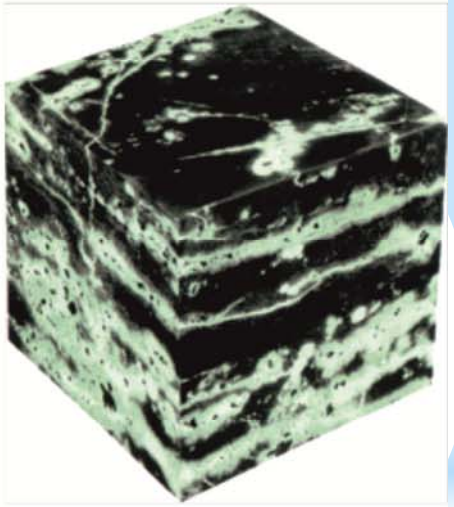
Раскрытость трещин (мкм): мин. – 10; макс. – 110; сред. – 80.

«Вновь образованная» кавернозность

Развитие **“вновь образованной кавернозности”** в водорослевом известняке по системе трещин

Месторождение Северное-Хоседаю, скв. 2.
Интервал 3066-3074 м.
Известняк водорослевый, комковатый, тонко-кавернозный.



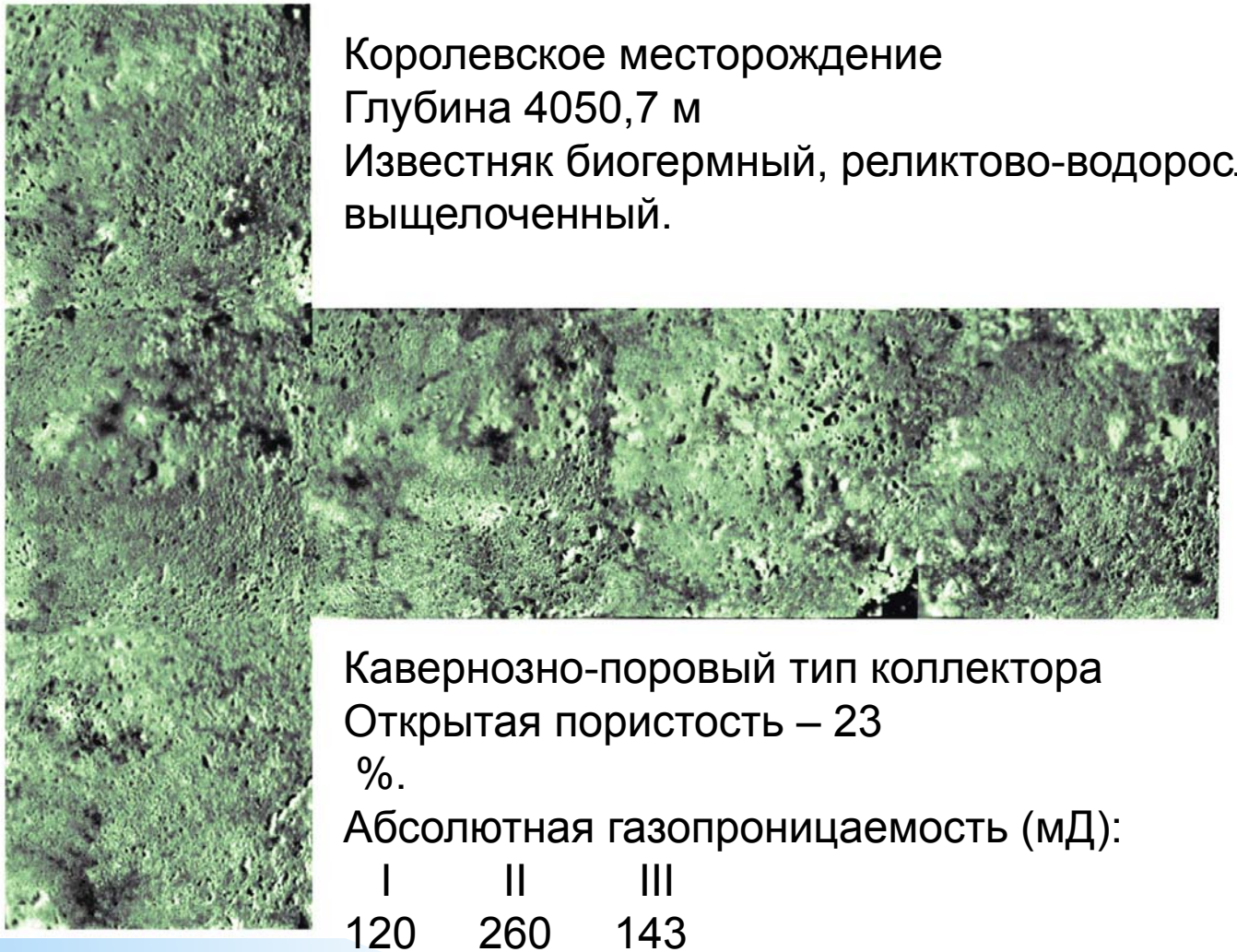


Тип коллектора: трещинно-каверново-поровый.
Ёмкость пустот – 10,3 %.
Проницаемость по направлениям (мД): I – 15,2; II – 94,2; III – 143,9.
Поверхностная плотность трещин (см/см^2):

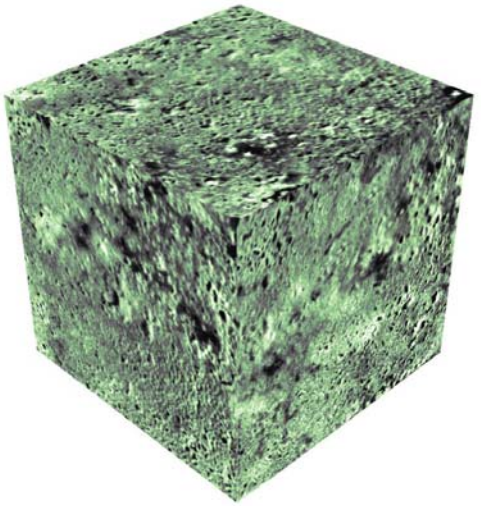
I	II	III	IV	V	VI	сред.
0,42	0,48	0,56	0,28	0,19	0,60	0,42

Раскрытость трещин (мкм): мин. – 7; макс. – 10; сред. – 7; фильт. – 7.

«Унаследованная» кавернозность



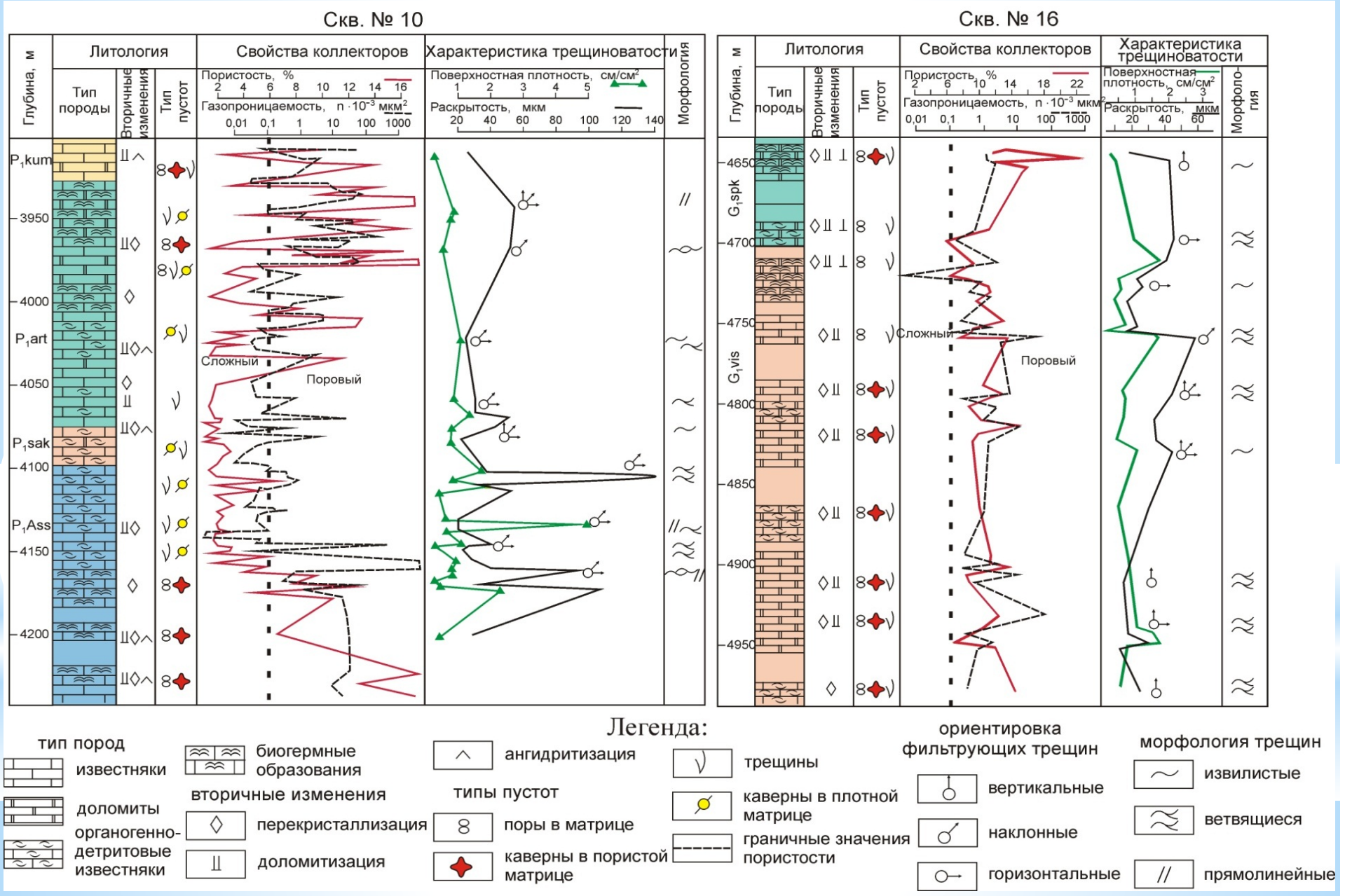
Королевское месторождение
Глубина 4050,7 м
Известняк биогермный, реликтово-водорослевый, сильно выщелоченный.



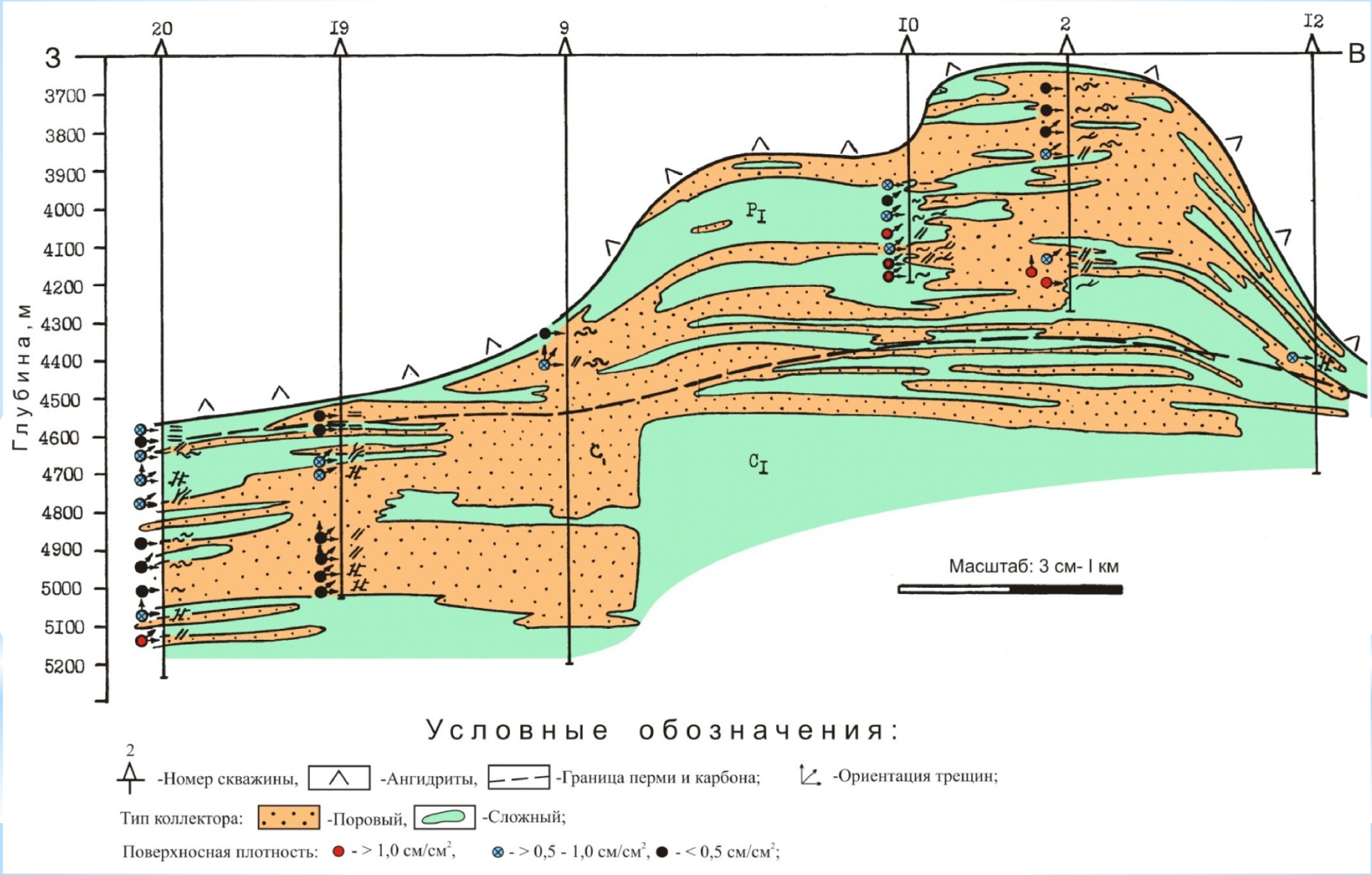
Кавернозно-поровый тип коллектора
Открытая пористость – 23
%.
Абсолютная газопроницаемость (мД):

I	II	III
120	260	143

Распределение различных типов коллекторов в разнофациальных отложениях



Модель распространения сложных типов коллекторов



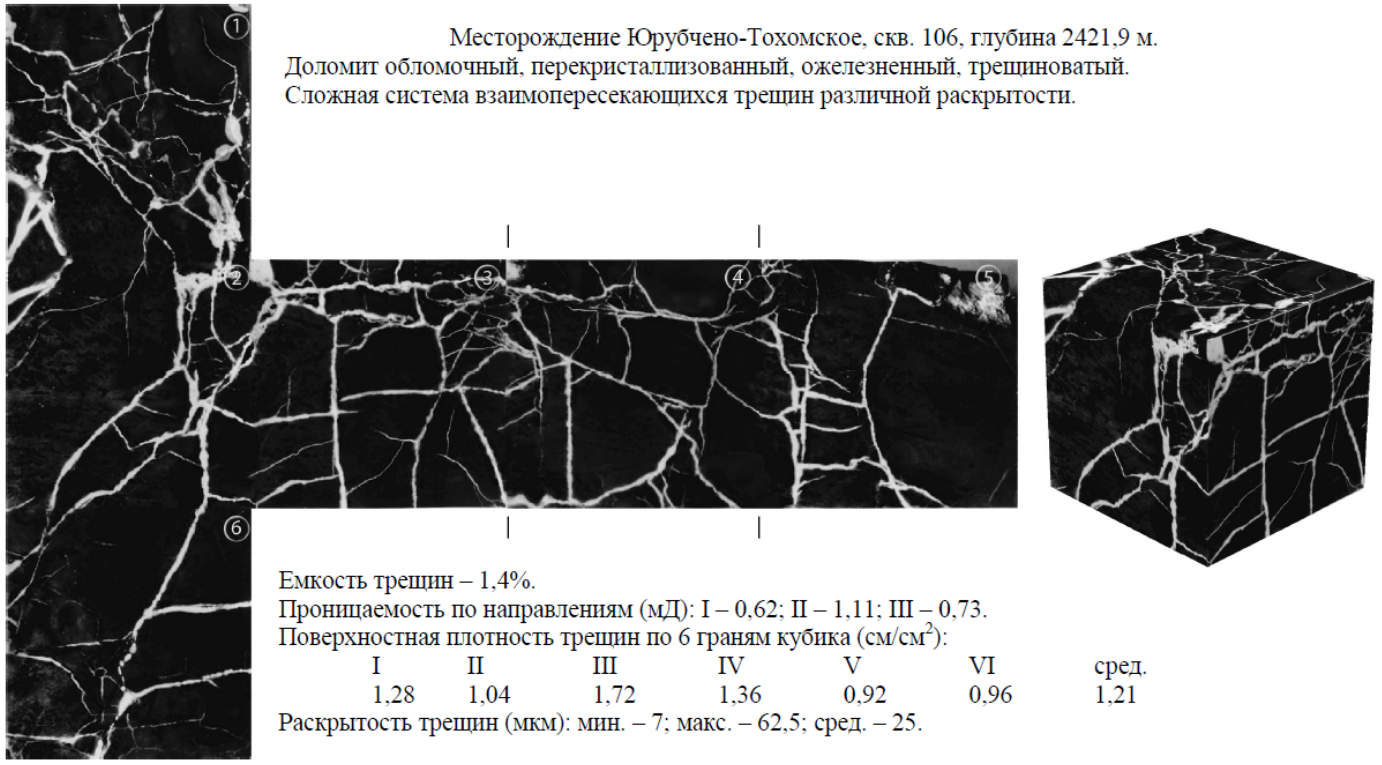
Юрубчено-Тохомское месторождение (Восточная Сибирь)

Трещинный тип коллектора мощностью 50 м, осложнённый кавернами.

Дебиты до 400 м^3/сут. нефти

Извлекаемые запасы 65 млн. т нефти - около 480 млн. бареллей

Особенности строения пустотного пространства пород насыщенных люминофором
Образец № 8766



Месторождение Юрубчено-Тохомское, скв. 106, глубина 2421,9 м.
Доломит обломочный, перекристаллизованный, ожелезненный, трещиноватый.
Сложная система взаимопересекающихся трещин различной раскрытости.

Емкость трещин – 1,4%.
Проницаемость по направлениям (мД): I – 0,62; II – 1,11; III – 0,73.
Поверхностная плотность трещин по 6 граням кубика (см/см^2):

I	II	III	IV	V	VI	сред.
1,28	1,04	1,72	1,36	0,92	0,96	1,21

Раскрытость трещин (мкм): мин. – 7; макс. – 62,5; сред. – 25.

Использование метода капиллярной пропитки пород люминофором позволяет установить:

- соотношение пустот различного вида, а именно долевое содержание пор, каверн и трещин, т.е. оценить сложный тип коллектора;
- развитие трещин, определяющих направление фильтрации – горизонтальных, вертикальных или наклонных;
- наличие взаимопересекающихся трещин различной ориентировки определяет изотропность проницаемости пород;
- морфологию и генезис пустот – возникновение каверн вдоль полостей трещин, т.е. возникновение ***“вновь образованной” кавернозности*** и обоснование дополнительной емкости;
- преобладающее развитие каверн в пористо-проницаемых породах. Они обеспечивают высокие емкость и проницаемость, т.е. развитие ***“унаследованной” кавернозности***;
- характеристику изменчивости трещин с глубиной, различную интенсивность развития трещиноватости и обосновать закономерности изменения трещиноватости пород в природном резервуаре.

В заключение следует подчеркнуть, что трещины определяют не только фильтрационные свойства и сообщаемость пластов между собой, а наличие их существенно влияет на выбор рациональной разработки месторождений.

ВНИГНИ

Спасибо за внимание!