

ПРИЛОЖЕНИЕ 5 К ПОЛОЖЕНИЮ КОМПАНИИ «ИССЛЕДОВАНИЕ КЕРНА»

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
КЕРНА. ПРОФИЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛНОРАЗМЕРНОГО
КЕРНА, ПРОБОПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ КЕРНА**

№ П1-01.03 Р-0136

ВЕРСИЯ 1.00

**МОСКВА
2017**

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КЕРНА. ПРОФИЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛНОРАЗМЕРНОГО КЕРНА	3
2. КАМЕРАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ КЕРНА.....	31
3. РАЗМЕТКА КЕРНА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	67
4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ РАЗЛИЧНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ, ЭКСТРАКЦИЯ И СУШКА	71
5. ЭКСТРАКЦИЯ ОБРАЗЦОВ КЕРНА	79

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КЕРНА. ПРОФИЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛНОРАЗМЕРНОГО КЕРНА

Важно: программа работ должна быть детально проработана до поступления керна в испытательную лабораторию.

В мировой практике работ, лабораторные исследования керна проводятся как на свежем керне (кern не очищенный от УВ, с сохраненной насыщенностью), так и на керне прошедшем этап очистки (экстракции), отдельным направлением является проведение лабораторных исследований на керновом материале прошедшем этап «старения», т.е. создание условий для восстановления естественной смачиваемости. Изучение свежего, экстрагированного и «состаренного» керна требует различной организации работ, а также и применение различных этапов работ с керном.

Керн может поступать как отобранный по обычной технологии многоразовыми КОС типа «Недра», так и с помощью КОС с одноразовыми керноприемными трубами. Дополнительно керн может быть законсервирован с помощью различных технологий (воск, парафин, специальные сосуды и др.), а также специальным образом стабилизирован (с помощью полиуретановой пены, гипса, эпоксидной смолы, заморозки и т.д.).

Типовая схема изучения керна представлена на рисунке 1. При наличии законсервированных образцов отобранных для определения нефтеводонасыщенности, комплекс работ должен быть дополнен этапами проверки качества парафинирования образцов, изготовления образцов и изучения на аппарате Закса.

1. Приемка керна

Важно: на всех этапах работ с неконсолидированным (слабо сцементированным), трещиноватым керном необходимо полностью исключить ударные воздействия на тубусы с керном и сам керн.

После поступления керна в испытательный центр (кернохранилище) проводится его приемка.

Порядок работ:

- сравнить количество керна со сводкой по отбору керна (Актом приема-передачи), и убедиться, что керн не был утерян во время транспортировки. Указать все повреждения и деформации керна, полученные во время работы с керном на скважине и во время транспортировки;
- проверить на предмет соответствия с суммарной глубиной нумерацию и порядок транспортных контейнеров (ящиков);
- проверить наличие маркировки тубусов;
- оценить герметичность тубусов;
- по окончании осмотра керна составляется Акт сдачи-приемки керна в КНИПИ в двух экземплярах. Один экземпляр направляется в ОГ (Приложение 1 к Положению

Компании «Исследование керна» № П1-01.03 Р-0136).

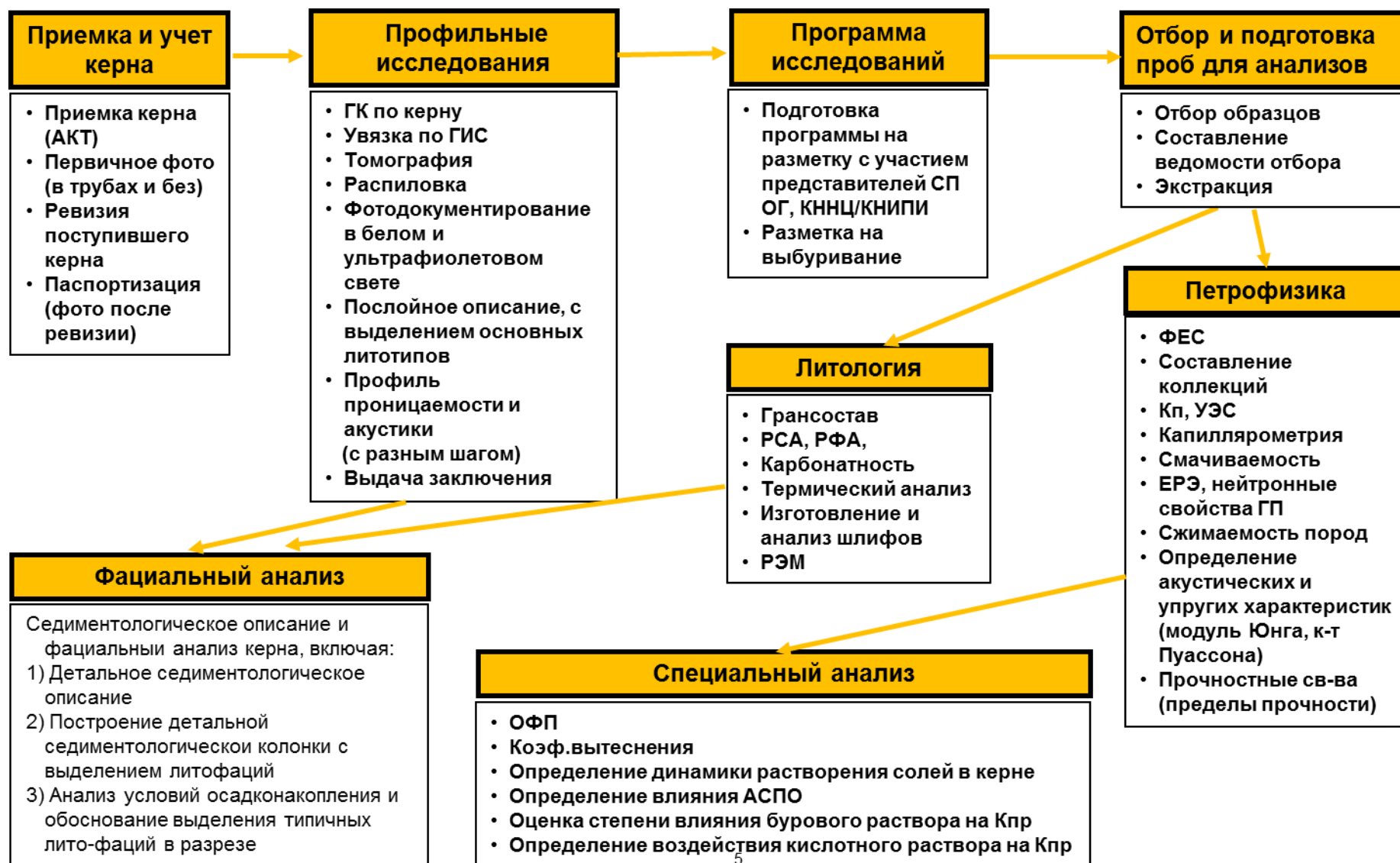


Рис. 1 Типовая схема изучения керна

2. Профильные исследования

Целью профильных работ является получение информации о качестве керна, о его привязке к ГИС, выполнение подготовительных работ для проведения лабораторных исследований, уточнение мест отбора образцов.

3. РКТ

В РКТ, керн сканируется высоко коллимированным пучком рентгеновских лучей. Датчики, расположенные на другой стороне керна измеряют интенсивность пропущенного пучка. Источник рентгеновских лучей и/или датчики вращаются вокруг образца или образец вращается в плоскости источник-детектор. С целью получения пространственного распределения коэффициента затухания рентгеновского луча при прохождении через образец, наряду с числовыми расчетами проводится серия измерений затухающего рентгеновского излучения, обработка полученных изображений производится на персональном компьютере с помощью специализированного ПО.

РКТ керна решает следующие задачи:

1. Контроль качества отбираемого керна, образцов;
2. Уточнение привязки керна к ГИС (сложные интервалы, с неоднозначной увязкой по профильному ГК) по сопоставлению ГГК-П и рентгеновской плотности;
3. Построение развертки 360 градусов для ориентировки керна по напластованию и сторонам света, привязка керна к ГИС (микроимеджеры);
4. Выбор интервалов для изготовления образцов по различным технологиям и на различные исследования;
5. Оценка пустотности керна;
6. Уточнение минералогического состава ГП (метод двух энергий);
7. Оценка насыщенности модели керна при выполнении фильтрационных экспериментов (требуется специализированное оборудование).

Важно: организация лабораторных исследований неконсолидированного (слабо сцементированного) керна без проведения РКТ не рекомендуется.

Обязательным условием является соблюдение требований техники безопасности.

Объект исследования: весь керн, поступающий в КНИПИ согласно договора на исследования.

Форма отчета:

Стандартный форма отчета содержит томограммы 2D по каждому тубусу вдоль оси керна (в плоскости XZ и YZ (рисунок 2 и 3) и перпендикулярные срезы в наиболее интересных участках (от 2 до 10 срезов на 1 метр). Текстовая часть отчета должна содержать результаты качественной и количественной оценки повреждений, а также наличие неоднородностей в представленном керне.

Пример отчета представлен на рисунок 4 и Таблице 1 настоящего раздела.

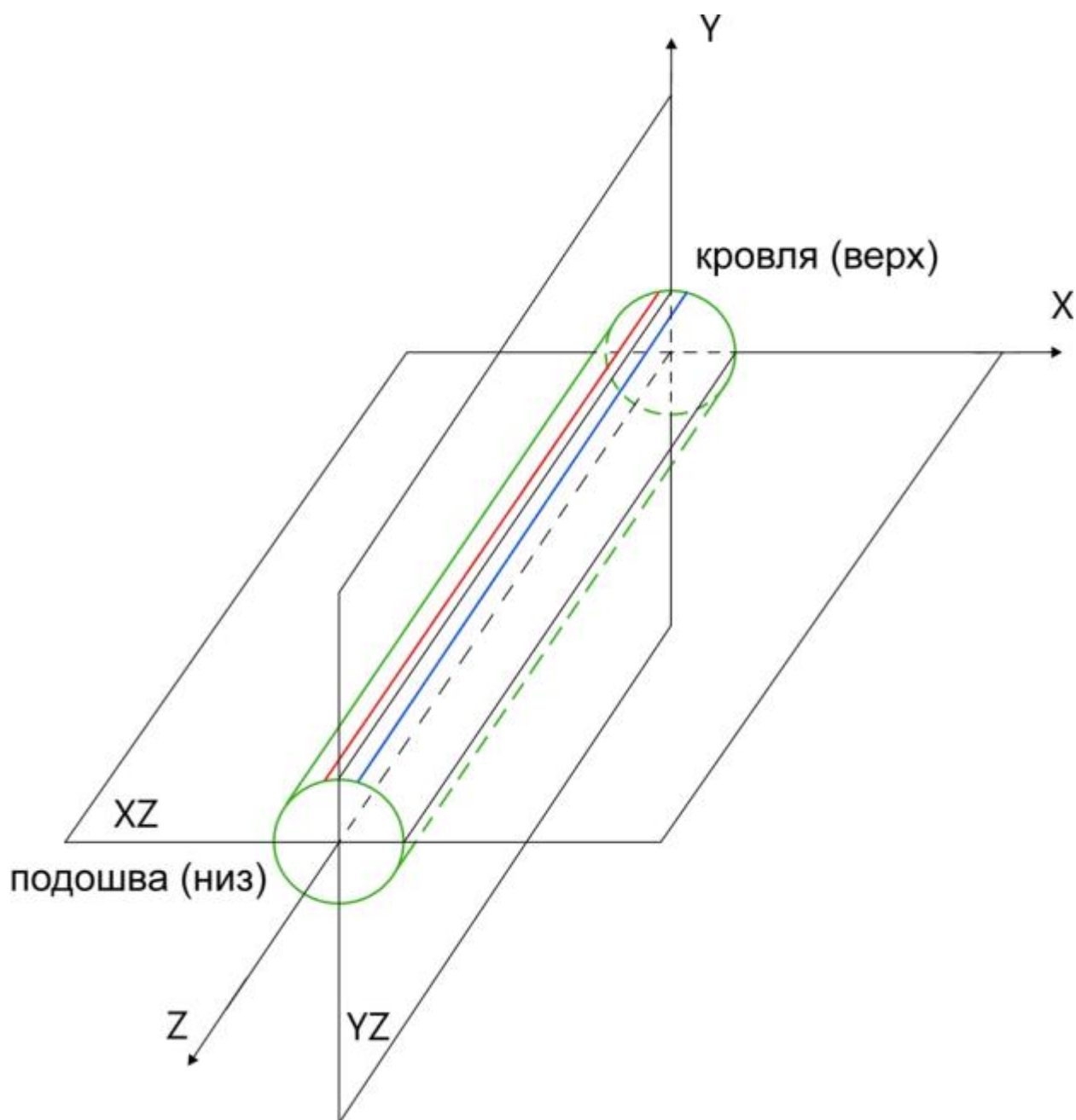


Рис.2 Пространственная ориентация исследуемого тубуса с керном при исследовании РКТ

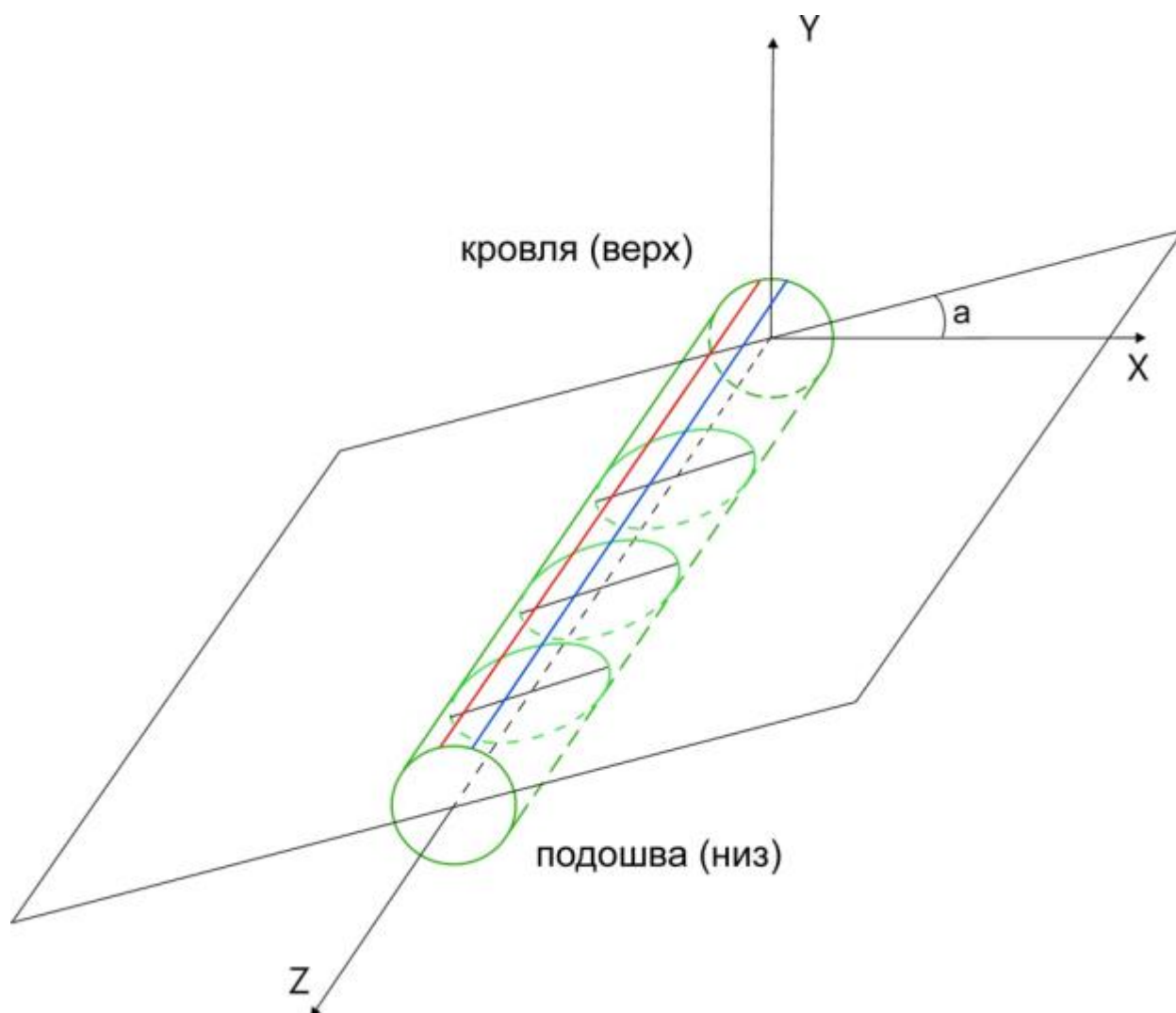


Рис.3 Определение угла плоскости максимального наклона слоев

Порядок работ по РКТ:

1. Провести подготовку рентгеновского томографа к измерениям в соответствии с инструкцией по эксплуатации;
2. Бережно поместить тубус на специализированный стол (горизонтальный или вертикальный);
3. Провести съемку томограммы;
4. Оценить качество томограммы;
5. При хорошем качестве перейти к съемке следующего тубуса;
6. По окончании съемки выполнить работы по интерпретации полученных томограмм, с выдачей отчета, в котором должны быть следующие данные – определение рентгеновской плотности вдоль керна, качественная и количественная оценка трещин, информация о напластовании, томограммы 2D по каждому тубусу вдоль оси керна и перпендикулярно.

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ТОМОГРАФИИ ПОЛНОРАЗМЕРНОГО КЕРНА.

КЛАССНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, СКВАЖИНА №1

№ п/п	Интервал отбора керна				Маркировка (номер) тубуса	Кровля тубуса, м	Подошва тубуса, м	Кровля слоя, м	Подошва слоя, м	Толщина слоя, м	α , °	β , °	Описание томографического исследования	Характер повреждений	Пригодность для изготовления образцов
	№	Кровля, м	Подошва, м	Вынос керна, м											
1	1	757	757,8	0,2	K1T1	757	757,2	757	757,2	0,2	-	0	Керн разбит на куски от 3 до 8 см содержащие трещины и плотные стяжения.	техногенный	-
2	2	757,8	769,5	11,7	K2T1	757,8	758,1	757,8	757,95	0,15	-	0	Интервал без деформаций. Наблюдаются плотные стяжения размером от 1 до 3 см, распределены хаотично.	нет	+
3	2	757,8	769,5	11,7	K2T1	757,8	758,1	757,95	758,1	0,15	-	0	Плотное включение около 10 см в длину и 9 см в диаметре с трещинами внутри, остальная часть керна разрушена.	техногенный	-
4	2	757,8	769,5	11,7	K2T2	758,1	759,1	758,1	759,1	1	-	0	Интервал разбит на 4 крупных куска, без деформаций. Наблюдаются плотные стяжения размером от 0.5 до 5 см, распределены хаотично.	техногенный	+
5	2	757,8	769,5	11,7	K2T3	759,1	760,1	759,1	760,1	1	-	0	Интервал без деформаций. Наблюдаются плотные стяжения размером от 0.5 до 5 см, распределены хаотично.	нет	+
6	2	757,8	769,5	11,7	K2T4	760,1	761,1	760,1	761,1	1	-	0	Интервал без деформаций. Наблюдаются плотные стяжения размером от 0.5 до 5 см, распределены хаотично.	нет	+
7	2	757,8	769,5	11,7	K2T5	761,1	762,1	761,1	762,1	1	-	0	Часть интервала 20-30 см от кровли тубуса имеет многочисленные трещины, остальная часть без деформаций. Наблюдаются плотные стяжения размером от 0.5 до 2 см, распределены хаотично.	техногенный	+

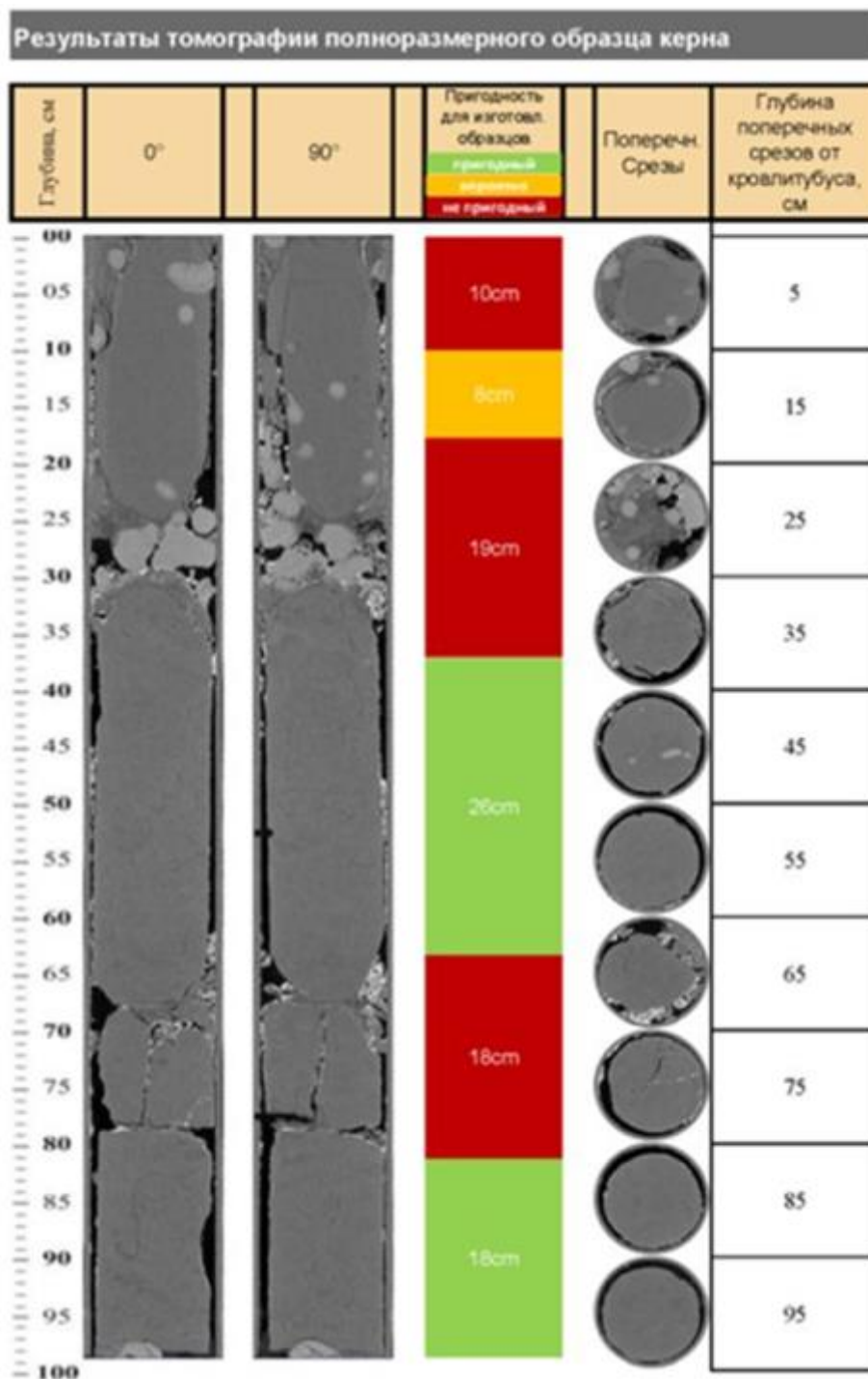


Рис.4 Пример отчета по РКТ 1 метра керна

4. ГК-С, ГГК-П каротаж керна

ГК-С и ГГК-П керна проводятся как на керновом материале помещенном в одноразовые керноприемные трубы, так и в специализированные лотки, метровой длины, а также размещенном непосредственно на конвейерную ленту установки для лабораторных исследований.

Подготовка кернового материала:

Керн, извлеченный из керноприемных труб, должен быть уложен по сколам между соседними образцами, сколы должны быть состыкованы, уложенный керн должен быть промаркирован двумя параллельными линиями красного и черного (синего) цвета. Перед нанесением маркировочных линий керн должен быть дополнительно очищен от бурового раствора мойкой керна водой (за исключением засолоненных коллекторов, керна из глин, аргиллитов, нефтематеринских пород, слабоконсолидированных и неконсолидированных пород), протиркой керна ветошью смоченной керосином (нужна специализированная зона с вытяжкой) или очищен на сухую протиркой ветошью.

Порядок работ по ГК-С и ГГК-П:

Исследование керна проводится на специализированных установках типа SPGL-300 или аналогичных, в режимах интегрального ГК с определением общей радиоактивности, ГК-С (содержание радиоактивных элементов калия (%), урана (ppm), тория (ppm)) и плотностного каротажа, по МИ, согласно инструкции по эксплуатации гамма регистратора. Керн размещается на ленте конвейера в соответствии с укладкой. Конвейерная лента перемещает керн с постоянной заданной скоростью через свинцовый домик, где размещается гамма-детектор, а также источник гамма квантов (в режиме ГГК-П). Информация, полученная во время измерения, поступает в компьютер для дальнейшей обработки. Визуализация полученных результатов ГК (ГК-С, ГГК-П) на дисплее позволяет оперативно сравнивать и увязывать кривую по керну с данными ГИС. Перед началом измерений проводится калибровка фонового излучения, а также по содержанию калия, урана, тория и плотности с использованием эталонных образцов, предоставленных производителем оборудования.

Скорость движения керна относительно детектора при измерениях устанавливается такой, чтобы обеспечить качественные результаты (получить допустимое соотношение сигнал-помеха). Допустимым считается, если соотношение произведения трех на корень квадратный из скорости счета к фоновой скорости счета превышает единицу, т.е.

$$\frac{3 \times \sqrt{\text{скорость счета}}}{\text{фоновая скорость счета}} > 1$$

Результаты измерений профильного ГК-С и ГГК-П каротажа оформляется в виде таблицы, а также в формате las-файлов.

Порядок работ:

1. Провести подготовку установки ГК-С (ГГК-П) к измерениям в соответствии с инструкцией по эксплуатации (калибровка обязательна);
2. Бережно поместить тубус на транспортирную ленту;

3. Совместить начало тубуса (верх) с нулевой отметкой на установке;
4. Провести замер профильного ГК-С и ГКК-П;
5. При необходимости провести корректировку полученных результатов по глубине, с целью исключения погрешностей вызванных наличием транспортных заглушек на тубусах (приводит к фиктивному удлинению колонки керна);
6. По окончании замера выполнить работы по интерпретации полученных данных и увязке «Керн-ГИС» в специализированном ПО, с выдачей отчета, в котором должны быть следующие данные – результаты замеров (общая радиоактивность, содержание урана, тория, калия и плотность) с привязкой к глубине по бурению и ГИС, таблицу со смещениями для увязки керна к ГИС, сводный литолого-петрофизический планшет (рисунок 5).

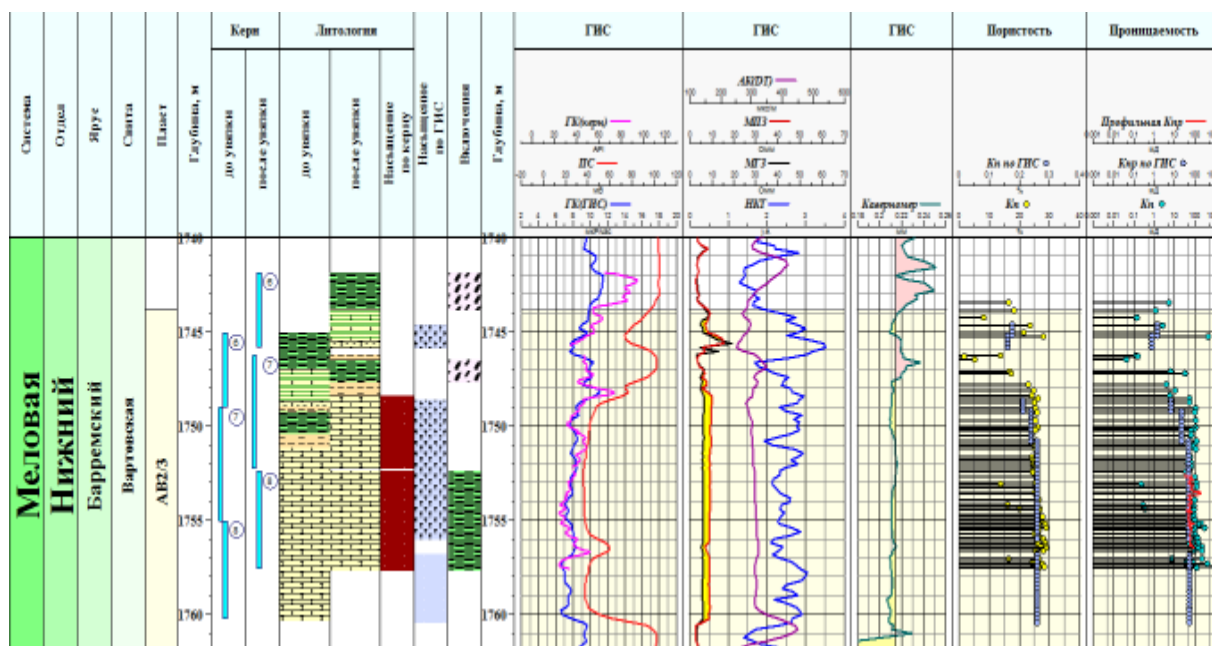


Рис. 5 Пример литолого-петрофизического планшета по скважине

5. Подготовительные работы, распиловка керна

Продольная распиловка должна выполняться только после того, как выполнены все работы на полноразмерном керне, такие как томография, профильный ГК, отбор образцов на определение нефтеводонасыщенности прямым методом, выбраны зоны изготовления полноразмерных образцов или образцов увеличенного диаметра, образцы на геомеханику и т.п.

Продольная распиловка полноразмерного керна в соотношении 1:3 осуществляется специализированным оборудованием с дисковой или ленточной пилой. Меньшая часть керна (1/3) называется «горбушка», которая предназначена для длительного хранения. Большая часть керна (2/3) используется для изготовления образцов. При проведении распиловки необходимо учитывать углы падения по напластованию, контроль за углами вскрытия пластов должен в обязательном порядке проводится с привлечением данных инклинометрии (рисунок 6). Угол падения, отображаемый на лицевой стороне керна должен быть максимальным. В Таблице 2 настоящего раздела указаны основные рекомендации по применимости различных технологий распиловки полноразмерного керна.

Таблица 2

Применимость различных технологий продольной распиловки керна

№пп	Тип ГП	Циркулярная пила	Ленточная пила
1	Традиционные терригенные и карбонатные коллекторы	Охлаждение водой	На «сухую».
2	Засолоненные коллекторы	На «сухую»/керосин/масло.	На «сухую».
3	Терригенные ГП с водонабухающими минералами	На «сухую»/керосин/масло	На «сухую».
4	Нефтематеринские ГП	На «сухую»	На «сухую».
5	Неконсолидированные ГП	Менее предпочтительная. Замораживание керна в жидком азоте	На сухую, замораживание керна в жидком азоте
6	Слабоконсолидированные ГП	Менее предпочтительная. Замораживание керна в жидком азоте	На сухую, замораживание керна в жидком азоте

Для обеспечения сохранности «горбушки» кернового материала подверженному разрушению в процессе распиловки таких как глины, аргиллиты, нефтематеринские ГП рекомендуется использование технологии стабилизации керна с помощью полиуретановой пены (выполненной на буровой площадке или в испытательной лаборатории).

Порядок работ по подготовке керна извлеченного из керноприемной трубы:

1. КERN бережно извлечь из керноприемной трубы;
2. Бережно уложить (не допуская ударов) на подготовленную рабочую поверхность, исключая самопроизвольное перемещение керна;
3. Очистка на сухую боковой поверхности от бурового раствора или изолирующего агента;
4. Подготовка (рекомендуется взять метровый отрезок тонкостенного керноприемного пенала шириной 5-7 см);
5. Маркировка специализированной пластины нанесением надписей «верх» и «низ»;
6. Нанесение полиуретановой пены на боковую поверхность керна;
7. Совмещение пластины и боковой поверхности керна с фиксацией обертыванием полиэтиленовой пленкой;
8. Размещение подготовленного керна в ящик для стабилизации полиуретановой пены (время застывания пены определяется заводом изготовителем);
9. Подготовленный кERN размещается на распиловочном оборудовании и производится продольная распиловка.

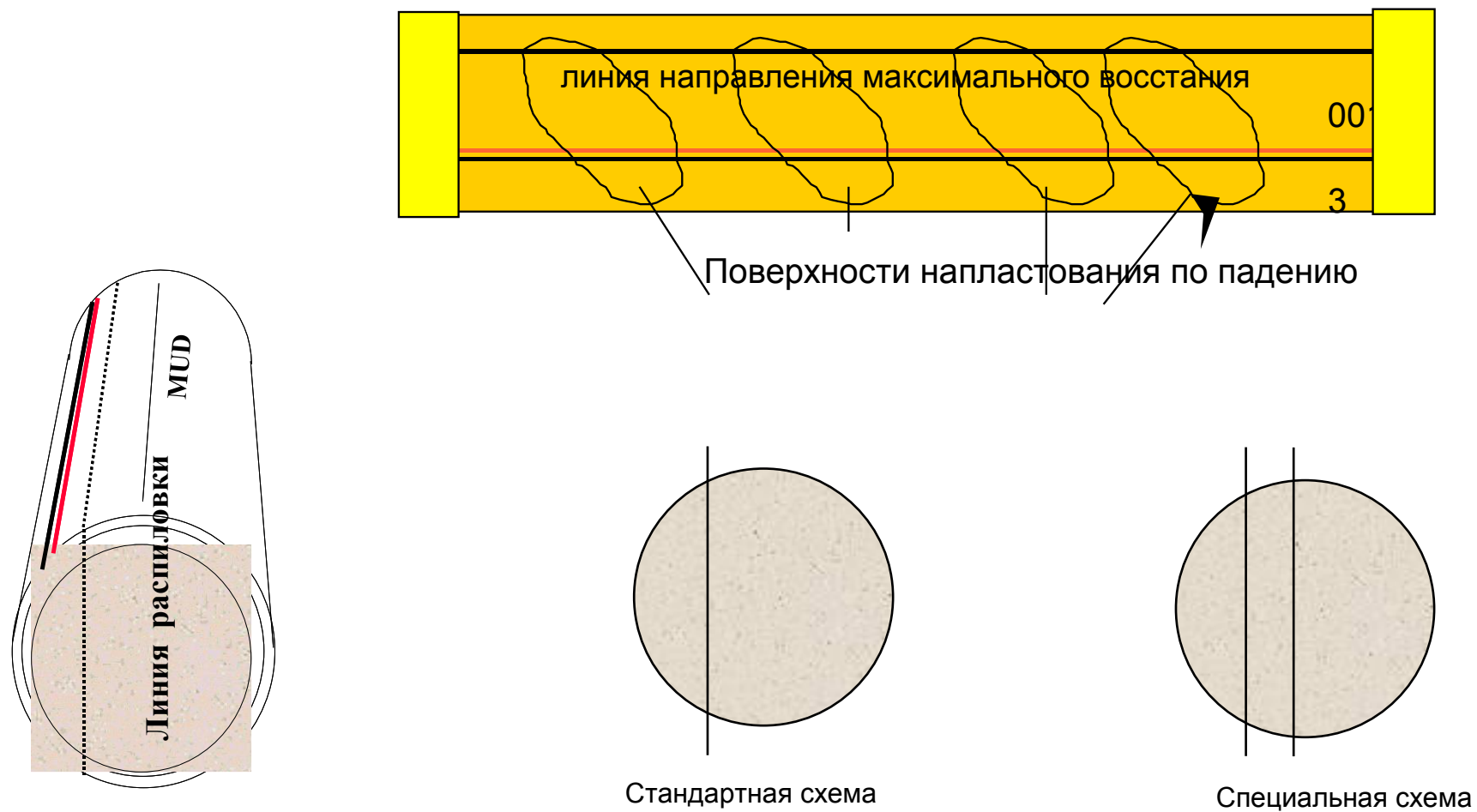


Рис.6 Схема распиловки керна

Для хранения специальных тонких срезов керна толщиной 1 см в практике лабораторных работ используются низковибрационные ленточные пилы, полученные образцы керна помещаются на специализированные лотки и фиксируются прозрачной эпоксидной смолой (рисунок 7). Такая технология позволяет минимизировать объем керна для длительного хранения в кернохранилищах.



Рис. 7 Продольно распиленные части керна толщиной в 1 см размещенные в специализированных лотках

6. Фотографирование керна

6.1. Основы фотографирования керна

Одним из важнейших этапов первичной документации керна является фотографирование в дневном и УФ свете.

Фотографирование керна – специализированный технический фотопроект, который требует как понимания физических свойств геологического материала, так и понимания природы происхождения освещения и схемы процесса.

Фотографирование керна производится на специализированной установке в белом и УФ свете с использованием цифровой фотокамеры с высоким разрешением не хуже чем у Canon EOS-5D, укрепленной на специальном штативе. Фотокамера подключена к персональному компьютеру, с которого осуществляется управление процессом фотографирования. В комплект установки также входит специальный стол-подставка с движущейся поверхностью, где размещается керн, и аппаратура для освещения в белом и ультрафиолетовом свете. Для выкладки полноразмерного керна используются специальные лотки длиной 1 метр, керн выкладывается согласно данным о долблении и о выносах внутри каждого интервала отбора. Обычно керн фотографируется при естественном (5500 K) и при ультрафиолетовом свете (254-365 нм). Фотографирование в УФ свете происходит с использованием BLB-ламп, снабженных встроенным узкополосным световым «возбуждающим» фильтром для выделения оптимального спектра излучения и уменьшения пропускания видимого света. УФ-барьерный фильтр, прикрепляемый к объективу камеры, блокирует УФ излучение и пропускает к светочувствительной матрице камеры только видимую часть спектра. На фотографиях в УФ свете можно увидеть углеводородо-содержащие зоны, поскольку большинство нефтей флюоресцируют в темноте в цветовом диапазоне от оранжево-коричневого для тяжелых нефтей и до светло-желтого для легкой нефти; конденсат может иметь от слабо белого до голубовато-белого цвета. Зоны отсутствия углеводорода будут окрашены в пурпурный цвет, и некоторые минералы, такие как известняк, также будут иметь розовый цвет. Для качественного фотографирования керна должны быть отработаны режимы и выбраны оптимальные параметры фотографирования для получения фотоизображений, удовлетворяющие условиям получения неискаженного цветового спектра, передающего текстуру и цветовую гамму минералов и углеводородных включений. Наилучшим решением является использование специальных аппаратных калибраторов и специализированного ПО, позволяющих настроить оборудование для корректной передачи цветовой характеристики горных пород (например, калибратор X-Rite Monaco OPTIX XR PRO и ПО X-Rite Monaco EZcolor).

6.2. Требования к помещению

Лабораторию для фотографирования керна лучше всего размещать на первом этаже, откуда есть доступ к керноскладу. Фотолаборатория представляет собой отдельное помещение с открытым пространством площадью 6 x 7 м и высотой не менее 4 м. Дополнительная высота необходима для того, чтобы обеспечить полное равномерное освещение пространства.

Размеры рабочего пространства могут варьироваться, но в любом случае необходимо обеспечить достаточно места вокруг стола для раскладки керна. Стол для раскладки керна, штатив с камерой и осветительное оборудование занимают примерно 3 x 3 м.

Рекомендуется установить двойные двери на входе в фотолабораторию.

Все окна должны быть затемнены, включая дверные стекла. Стены и потолки рекомендуется окрасить в черный матовый цвет.

6.3. Освещение

Яркое освещение и рассеянное освещение.

Профессиональное освещение, используемое в портретной фотографии, намеренно рассеянное, для того, чтобы уменьшить световой контраст на объекте и скрыть текстурные различия.

Основной задачей при фотографировании керна является усиление текстурных различий, выявляемых на срезе ГП.

Этот эффект можно достичь, изменяя направление света и используя световой контраст. Прямые фотовспышки или свет, отраженный от посеребренных материалов, обеспечивают более яркий свет, который образует затененные и освещенные области, что ведет к более четкому изображению текстуры. Это создает трехмерный эффект на получаемом изображении.

Яркий свет имеет два недостатка.

Во-первых, выявляются изъяны на горной породе, включая следы от пилы. Необходимо усовершенствовать технологию продольной распиловки керна, которая бы отвечала всем требованиям фотографии.

Во-вторых, яркий свет контролировать сложнее, чем рассеянный. Оператор должен обладать достаточной квалификацией в данной области.

6.4. Фотографирование в видимом свете

Расположение осветительного оборудования.

На рисунке 8 и 9 показаны различные схемы размещения осветителей.

При помощи яркого освещения довольно трудно достичь равномерного освещения широкого пространства. При фотографировании нескольких рядов керна обычно несколько ухудшается качество текстуры.

1. Соберите зонтичные отражатели согласно инструкции;
2. Установите зонтичные отражатели на осветительных стойках;
3. Отражатель направлен на центр зонтика, а тот, в свою очередь – на керн;
4. Установите сопутствующее синхронизирующее оборудование;
5. Для начала установите импульсные лампы на $\frac{3}{4}$ полной мощности, а модельный свет – на 100%;
6. Разместите каждую осветительную стойку на расстоянии 0,66 м от стола для керна по центральной оси, и поднимите их как можно выше;

7. Направьте зонтики так, чтобы перекрыть противоположные концы стола;
8. Точной настройки зонтичного освещения можно достигнуть, изменяя мощность импульсных ламп, передвигая осветительные стойки на более удаленное расстояние от стола, и устанавливая угол падения.

ВИДИМЫЙ СВЕТ

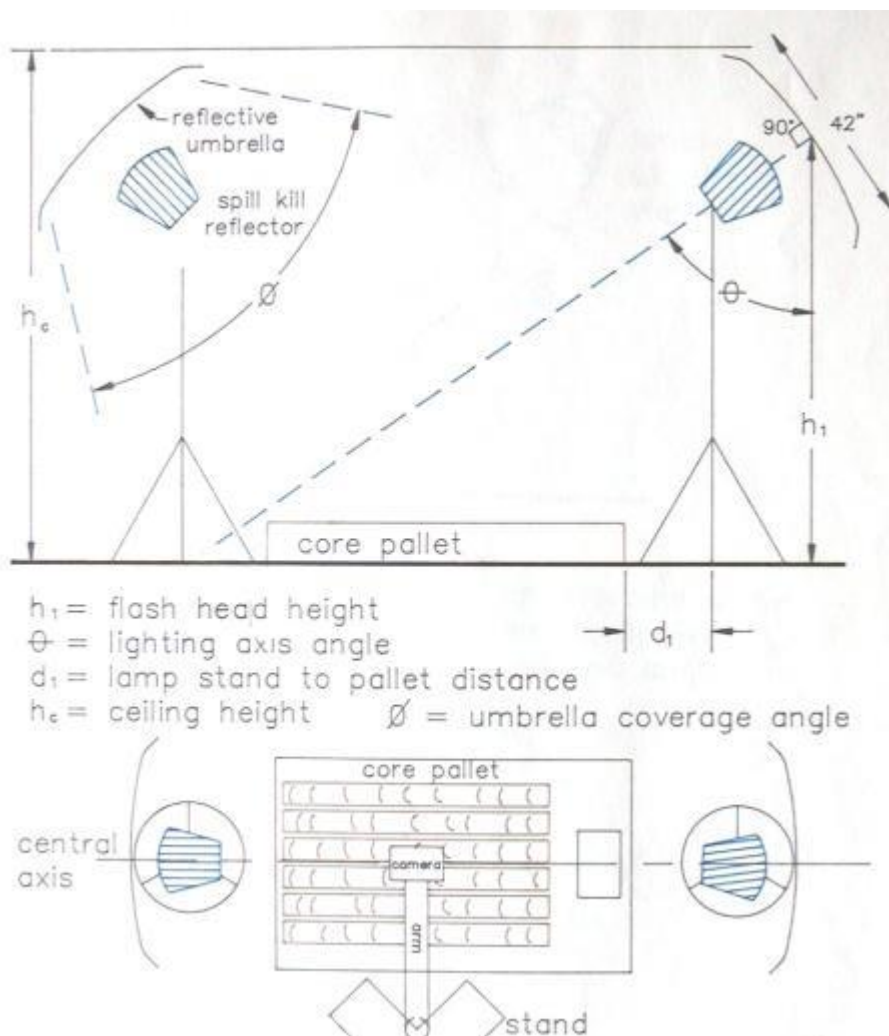


Рис. 8 Расположение фотовспышек при высоте потолка < 3 м

ВИДИМЫЙ СВЕТ

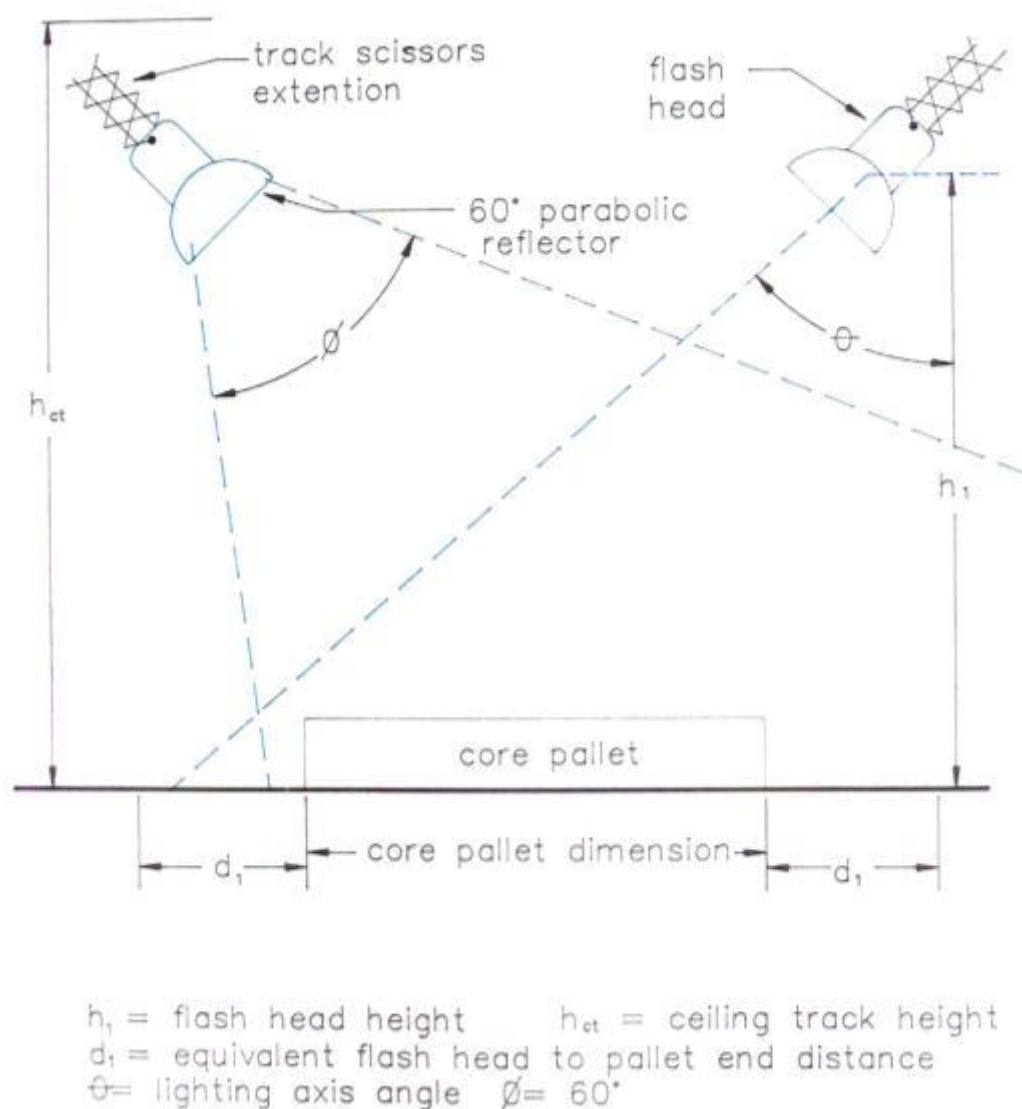


Рис. 9 Расположение фотовспышек, закрепленных на потолке

6.5. Расположение камеры и объекта фотографирования

1. Настройте высоту держателя камеры так, чтобы керн полностью попадал в кадр.
2. Убедитесь в том, что камера расположена параллельно столу с керном. Любые отклонения приведут к искажению снимка.

6.6. Фотографирование в УФ свете

Для фотографирования в УФ-свете в основном необходимо то же самое оборудование, что и при фотографировании в видимом свете, плюс некоторые дополнения.

Две двойные УФ-лампы со встроенными фильтрами. Они установлены на столе керна.

Светофильтр, устанавливаемый на камеру, для поглощения отраженного УФ-излучения (рисунок 10 и 11).

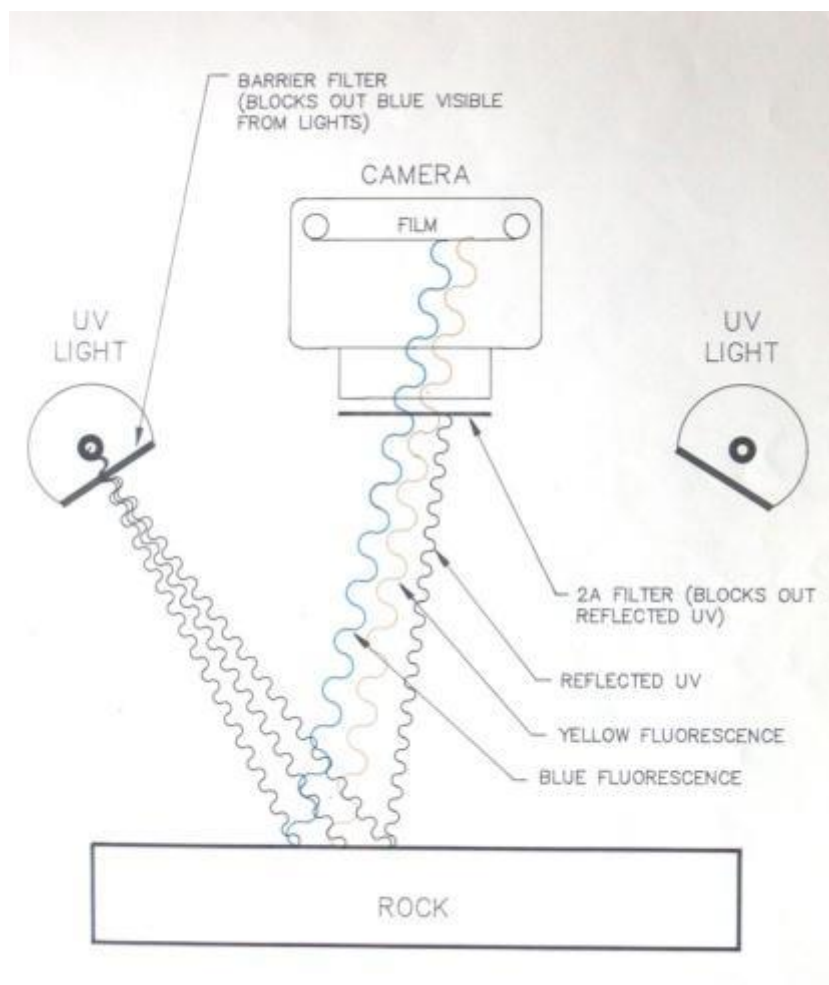


Рис. 10 Траектории света при УФ-фотографии

Цвет и интенсивность флюоресценции изменяется в зависимости от молекулярного веса вызывающего ее УВ.

С уменьшением яркости флюоресценции необходимо увеличить время экспозиции фотографии.

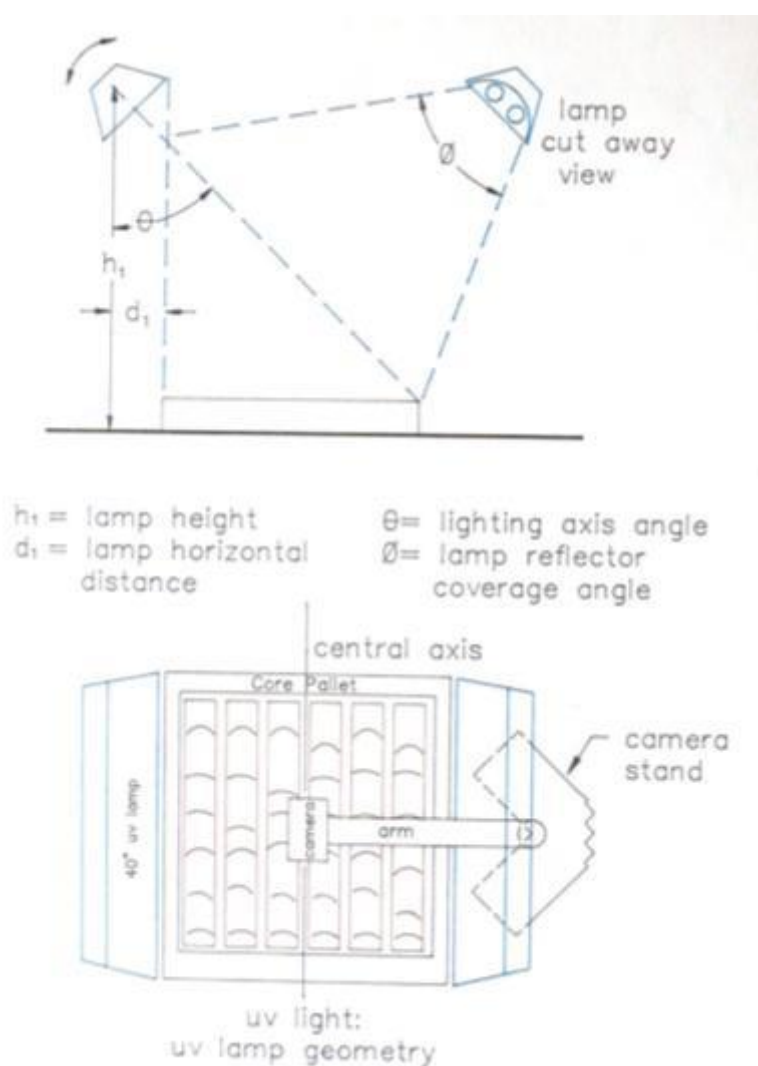


Рис. 11 Расположение ламп УФ света

Следующая таблица была разработана для пленочных камер и может быть использована как основа для цифровых камер. Качество цифровых камер улучшается экспоненциально, поэтому нельзя привести какие-то определенные времена экспозиции.

Цвет флюоресценции	Время эксп.		Stop
Бело-голубой	1 сек	@	f8
Голубой	1-8 сек	@	f8
Желтый	8-16 сек	@	f8
Золотой	12-24 сек	@	f8
Зеленый	12-24 сек	@	f8
Коричневый	24-60 сек	@	f8
Красный	32-120 сек	@	f8

6.7. Оборудование

Этот раздел условен, поскольку в состав отдельных систем могут входить различные камеры, форматы или компоненты, сделанные на заказ.

Основные компоненты системы:

1. Стол для расположения керна с лампами УФ-освещения;
2. Профессиональный штатив для камеры;
3. Профессиональная система освещения;
4. Цифровая камера с принадлежностями;
5. Компьютер с монитором высокого разрешения, жестким диском большой емкости, оперативной памятью максимально большой емкости;
6. ПО: Photoshop, Corel Draw или аналогичные.

6.8. Инструкции по обращению со столом для раскладки керна

Единственное, что требуется от оператора – установить угол и высоту УФ-ламп.

Стойки УФ-ламп имеют с обоих концов фиксируемые шарниры.

Оба нижних шарнира необходимо ослабить с обеих сторон, чтобы установить угол наклона стойки. Затем необходимо ослабить оба верхних шарнира, чтобы установить угол наклона УФ-ламп.

Затем туго затяните все четыре зажима, чтобы углы наклона стоек и ламп не изменялись при раскладке керна на столе.

Силовые кабели УФ-ламп следует расположить так, чтобы они не мешали при работе.

6.9. Обработка изображений

Для адекватной оценки окраски ГП и характера насыщения по результатам фотографирования керна на итоговые снимки рекомендуется размещать цветокалибровочные таблицы. Оптимальным фоном для размещения фотографий является черная подложка (рисунок 12).

Имя файла цифрового изображения керна должно включать в себя следующую информацию: название скважины, номер интервала и глубина отбора керна.

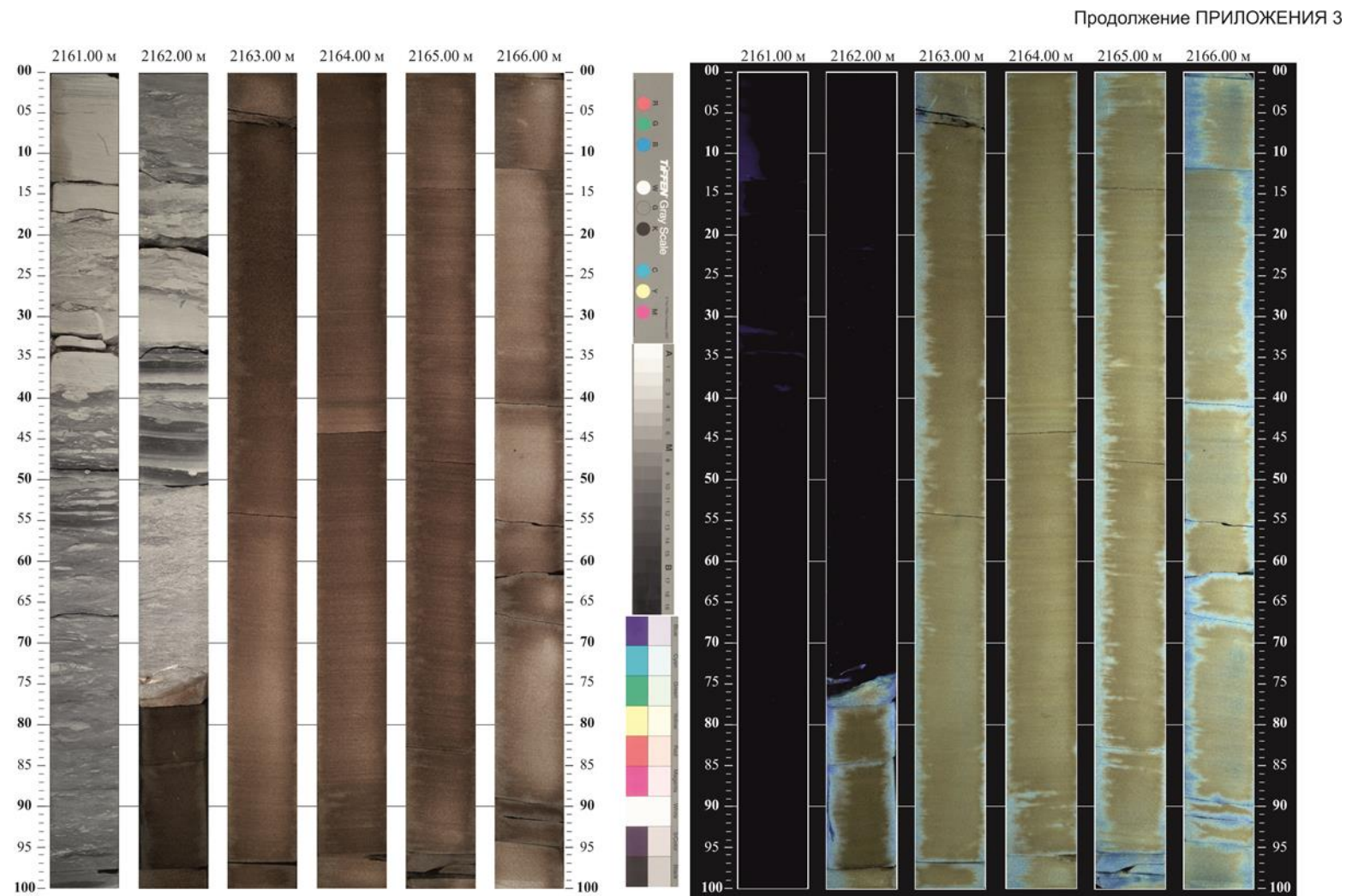


Рис. 2.1 Чудское месторождение, скважина 8-П,
интервал 2161.00-2173.00 м, вынос керна 11.87 м.
Фотографирование в дневном и ультрафиолетовом свете,
начало

Рис. 12 Пример оформления фотографирования керна в белом и УФ свете

7. Оценка флюидонасыщенности, повышение информативности изучения керна по данным фотографирования керна

Естественная флюидонасыщенность ГП является ее важнейшей особенностью, которая нередко сохраняется в керне только в первые недели после разгерметизации. Поэтому при послойном описании важно максимально точно ее охарактеризовать.

ГП может быть насыщена нефтью, водой, газами. Насыщение может быть однородным (нефть) или смешанным (нефть-вода, газ-нефть). В отличие от литологических определений при характеристике сложной флюидонасыщенности преобладающий флюид ставится в определении на второе место. Например: нефте-водонасыщенный известняк насыщен преимущественно водой.

Для определения характера флюидонасыщения важную роль играют фотоизображения, выполненные в УФ. Прежде всего, они дают ценную информацию о насыщенности пустотного пространства пород разреза УВ и их типе (тяжелая нефть, легкая нефть, газ). Методика основывается на одном из физических свойств молекул УВ – возможности их перехода из основного в возбужденное состояние при поглощении световой энергии, поступающей извне, и последующем полном или частичном ее излучении в спектре видимого света (*люминесценция*). Для природных углеводородных соединений известны почти все цвета и оттенки люминесценции видимой части спектра. *Цвет люминесценции* зависит от состава УВ, структуры их молекул, содержания различных примесей, а также от внешних факторов - температуры среды, длины волны поглощаемого света, его интенсивности и др. *Интенсивность люминесценции* определяется количеством УВ в породе, но, кроме этого, она может определяться теми же причинами, что цвет.

Характеристика флюидонасыщенности УВ, при описании керна, дается для всех типов ГП, где уверенно выделяются характерные признаки (запах на свежем сколе, свечение в УФ, визуальные признаки битумонасыщения и т.д.). Не нужно указывать флюидонасыщение для керна без характерных признаков.

В таблице послойного описания характер флюидонасыщения выделен в отдельную колонку. Это позволяет в последующем, при выборе продуктивных объектов, быстро фильтровать информацию таблицы.

Для каждого района работ рекомендуется составлять атласы с количественными показателями свойств УВ сырья и цветовой характеристикой свечения керна в УФ свете (рисунок 13).

Дополнительно рекомендуется применять специальное ПО для обработки фотографий, такие как «CollScan Digital» (РГУНГ) (рисунок 14, 15), модуль обработки фото в ПО «Techlog» (Шлюмберже+ТННЦ), программа KernColor (ТННЦ).








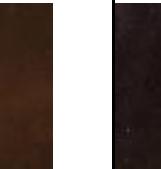
Характеристики	Месторождение, № скважины							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Тип залежи	D2ef	D2st	C3	D2st	D2st	D3dm	D3fm-III	P1+C2
Плотность нефти, кг/м ³	818,2	822,2	828,7	831,9	835	888	942,8	955
Кинематическая вязкость, мм ² /с			4,893	9,28	10,88	26,56	1635	1186-6614
Содержание в нефти парафина, % масс.	13,88	13,46	3,65	22,68	24,5	3,40	7,04	0,26
Содержание в нефти смол, % масс.	3,73	4,10	5,47	3,72	6,21	6,02	22,87	38
Содержание в нефти асфальтенов, % масс.	0,16	0,31	0,31	1,21	0,96	4,51	8,01	
Содержание в нефти серы, % масс.	0,0925	0,102	0,605	0,11	0,29	1,07	3,29	2,5
Температура застывания нефти, °С	+26	+24	-7	+26	+34	-6,5	+13	
Температура начала кипения нефти, °С		56	59	80	+75	+78	77	
Выход фракции НК-200 ⁰ С, %об.		23,0	32,0	18	20	17,25	9,0	
Выход фракции НК-300 ⁰ С, %об.		47,5	58,5	41	38	38,50	22,0	
Характер флуоресценции нефтенасыщенных участков керна в УФ свете								

Рис.13 Пример атласа с характеристиками состава нефтей и свечением керна насыщенного такими нефтями в УФ свете



Рис. 14 Повышение информативности изучения керна на основе анализа фотографий керна

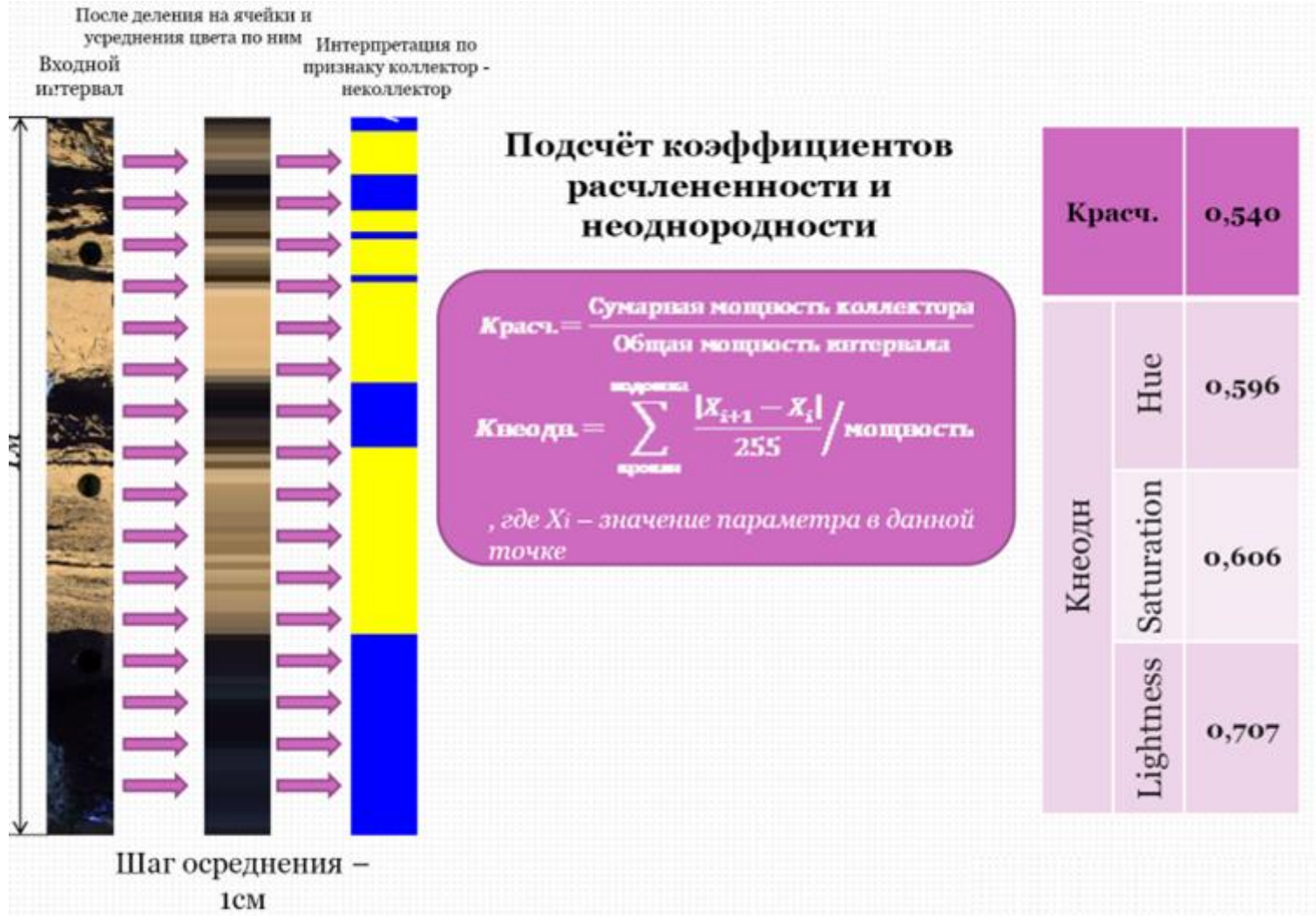


Рис. 15 Повышение информативности изучения слоистого разреза на основе анализа фотографий керна

8. Проведение замеров профильной проницаемости и акустики

Замеры проницаемости и акустики по профилю керна являются быстрым способом оценки качества коллектора. Профильная газопроницаемость и акустический каротаж (скорость продольных и поперечных волн) могут измеряться с помощью автоматизированных сканирующих пермеаметров с комбинированными датчиками (типа AvtoScan II), либо с помощью установок позволяющих зарегистрировать только один параметр (проницаемость, акустические свойства).

Проницаемость определяется методом стационарной/нестационарной фильтрации газа азота по МИ согласно инструкции по эксплуатации пермеаметра.

Стационарный режим фильтрации используется для средне и высокопроницаемых коллекторов, нестационарный режим для изучения низкопроницаемых коллекторов.

Распиленный керн укладывается на роботизированную платформу. Платформа автоматически позиционирует зондовый измеритель проницаемости / акустики на встроенном «XY» столе. Управление столом обеспечивается с помощью программного обеспечения прибора и встроенных цифровых контроллеров движения, обеспечивающих точность позиционирования 0,1 мм. Зондовый измеритель проницаемости состоит из измерительного зонда, который прижимается под давлением 16 атм к поверхности керна ГП, через апертуру зонда в образец поступает азот под давлением 3 атм.

В процессе фильтрации газ проходит сквозь горную породу и выходит наружу в атмосферу. Линии потока газа образуют полусферическую форму (рисунок 16). Уплотнение наконечника зонда, изготовленное из мягкой резины, предотвращает утечку газа в области контакта зонда с поверхностью керна. Резиновое уплотнение имеет размеры 10 мм с отверстием в центре 4 мм. Массовые измерения проводятся с шагом 5-10 см.

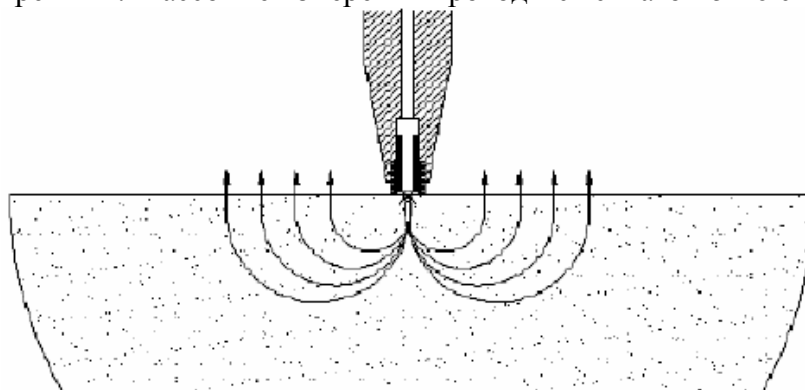


Рис. 16 Поток газа из наконечника зонда

Вычисление проницаемости осуществляется с помощью ПО по формуле:

$$K_{\text{пр}} = \frac{2Q\mu P_{\text{атм}}}{[aG_o(P^2 - P_{\text{атм}}^2)]} \quad (1.1)$$

где:

$K_{\text{пр}}$ – проницаемость (м^2);

P – давление инъекции газа (Па);

$P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление (Па);

Q – объемная скорость потока при атмосферном давлении ($\text{м}^3/\text{с}$);

μ – вязкость азота (Па с);

a – внутренний радиус уплотнения наконечника зонда (м);
 G_0 – геометрический фактор, равный 0,0059.

Замеры акустических свойств керна проводятся на установках оснащенных излучателями и приемниками акустического сигнала. На рисунке 17 показан комбинированный зонд для измерения проницаемости и акустических свойств по профилю керна.

В центре блока располагался зонд для измерения проницаемости, по бокам – зонды для измерения скоростей продольных и поперечных волн. Контакт наконечника зондов для измерения скоростей и поверхности образца керна создавался постоянной по величине давления 16 атм. Один из зондов являлся излучателем продольных и поперечных волн, другой - приемником. Частота излучения составляет 1 МГц. Скорость продольных и поперечных волн вычисляется автоматически по программе из значений времени пробега импульсов и расстояния между зондами.

Комбинированные установки наиболее предпочтительны, так как позволяют выполнить два измерения одновременно во время одного прохода сканирования.



Рис. 17 Комбинированный блок зонда ультразвуковой скорости и зонда измерения проницаемости

Наиболее достоверные результаты определения проницаемости по газу получаются при изучении образцов прошедших этап экстракции и сушки. Особенностью определения проницаемости по газу по профилю полноразмерного керна является то, что исследования проводятся на естественно насыщенном керне (т.е. когда в керне присутствует нефть, вода).

Результат измерения проницаемости методом зондовой пермеаметрии зависит от степени насыщенности, свойств жидкости, состояния поверхности керна (присутствие чужеродных твердых частиц на пути потока газа в процессе измерения, буровой раствор, растительные остатки и так далее, размер частиц и т.д.). Загрязнение поверхности необходимо удалить, по возможности, легкой щеткой, скребком, пылесосом. В случае керна, насыщенного флюидами (нефть, пластовая вода) необходимо дать время для того, чтобы поверхность керна подсохла для улучшения результатов.

Наряду с обычным замером проницаемости вдоль одной условно вертикальной линии для неоднородных интервалов с большой изменчивостью свойств рекомендуется выполнять картирование поверхности («Grid Analysis»).

2. КАМЕРАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ КЕРНА

1. Общие положения

Настоящий раздел регламентирует процедуру исследовательских работ, выполнение которых осуществляется после первичной обработки керна и профильных исследований (приемка, распаковка, чистка керна, гамма-сканирование, привязка и т.д.).

В связи со специфическими отличиями карбонатных и терригенных отложений подразделы 2 и 3 настоящего раздела регламентируют порядок их описания отдельно.

Описание керна скважины выполняется по возможности одним работником без его замены до окончания процедуры.

Результаты камерального описания керна должны быть оформлены в виде таблицы (Таблица 4).

Камеральное описание керна начинается после проведения комплекса профильных (продольных) исследований: мойки, проверки последовательности укладки, рентгеновской томографии, сканирования профильной естественной радиоактивности, продольной распиловки, фотографирования керна.

Описание керна выполняется на распиленной и сфотографированной колонке керна сверху вниз в соответствии с номерами отборов (долблений). Поддоны (коробки, лотки или ящики) с керном располагаются слева направо. Перед описанием каждого долбления обязательно нужно свериться с первичным полевым описанием, выполненным на скважине, проверить порядок разложенного керна (нумерацию поддонов или ящиков), сверить его соответствие метражу.

При описании необходимо пользоваться: 1) фотографиями керна в дневном свете и УФ; 2) материалами скважинного каротажа (ГИС) и результатами профильных исследований (привязка керна по глубине, данные профильной проницаемости); 3) соляной кислотой (HCl, 5%); 4) лупой (10х); 5) линейкой (50 см, 1 м); 6) эталонной шкалой твердости; 7) справочными материалами и литологическими шаблонами; 8) губкой и пульверизатором с водой; 9) мелом; 10) карандашом; 11) транспортиром (при необходимости); 12) молотком (в исключительных случаях).

Послойное описание выполняется с выделением естественных единиц разреза – слоев.

Слой – геологическое тело, горизонтальная протяженность которого значительно превышает его толщину. Под термином «прослой» понимается слой или пласт небольшой толщины, залегающий внутри или на границе однородного пласта или слоя и играющий резко подчиненную роль в строении данного слоистого комплекса. Мощность прослоев составляет не более 1-1.5 см.

Рекомендуется перед началом описания осмотреть весь интервал, оценить сложность строения разреза и особенности насыщения коллекторов флюидами, сопоставить разрез с материалами ГИС и произвести общую разбивку на слои. Выделяются слои видимой мощностью 40-50 см, а при наличии резко различимых признаков (например, угли) – и мощностью 5-10 см. Практический опыт работ по внутриконтинентальным терригенным

толщам показал, что средняя мощность слоев, подлежащих к самостоятельному выделению, в основном составляет 0.8-1.0 м, существенно варьируя в зависимости от конкретных изучаемых разрезов.

Выделенные слои отмечаются обычным мелом непосредственно на керне. Для придания большей контрастности текстурным и структурным особенностям ГП рекомендуется протирать керн влажной губкой.

Для проверки выделения слоев желательно использовать материалы каротажа, т.к. реперные уровни на кривых ГИС обычно являются естественными слоевыми границами. Кроме каротажа при выделении слоев необходимо использовать фотографии керна в УФ. Особенно важно вести корректное выделение слоев в сложных зонах перехода от нефтенасыщенной к водонасыщенной части пласта. При выделении слоев важным критерием прослеживания естественных единиц разреза является понимание процесса седиментации, как циклического процесса.

При работе с керном из сложных тектонических зон при описании необходимо отметить условия залегания слоя (угол падения). Важно указать, залегает слой горизонтально или наклонно, в последнем случае определить при помощи транспортира угол падения относительно оси керна. При определении угла падения необходимо иметь в виду возможное искривление ствола скважины или его наклон, предусмотренный проектом. Во избежание ошибочного истолкования условий залегания перед выполнением макроописания желательно ознакомиться с фактическими данными по бурению изучаемой скважины.

При описании (сверху вниз) выделенного слоя недопустимо пользоваться выражениями «в начале слоя» и «в конце слоя», а также «первая часть слоя» и «вторая часть слоя», так как при нормальном залегании хронологическое начало слоя будет документироваться в последнюю очередь. В данном случае, надо говорить о «верхней части» и «нижней части» слоя или делать поинтервальное описание с указанием глубинных отметок от видимой верхней части слоя или выделенного интервала.

Описание ведется с использованием фотографий керна с нанесенной сантиметровой шкалой. Выделенные слои необходимо выносить на рабочие фотографии с помощью карандаша. По фотографиям выполняется точное измерение мощности слоя. Фотографии, использованные при послойном описании, являются важным производственным документом. Они готовятся в одном экземпляре и после выполнения описания керна по скважине хранятся до завершения всего цикла исследований. Кроме слоевых разбивок на фотографии в последующем наносятся точки отбора образцов на различные виды исследований.

Послойное описание заносится в ноутбук (при его отсутствии – в рукописный рабочий Журнал) в виде стандартизированной таблицы послойного описания (Таблица 1 настоящего раздела). Таблица описания керна должна содержать информацию: 1) название месторождения (площади); 2) номер скважины; 3) порядковый номер долбления сверху; 4) интервал отбора по длине колонны (в метрах); 5) вынос керна (в метрах, в %); 6) номер слоя сверху внутри долбления; 7) толщина слоя (в метрах, с точностью 2 знака после запятой); 8) кровля слоя (по бурению, по ГИС); 9) стратиграфическая единица; 10) краткое описание слоя; 11) насыщение по слою (нефть, нефть+вода и др.); 12) описание слоя; 13) номера образцов (вносятся после отбора образцов на различные виды исследований). После завершения описания керна по скважине эта таблица редактируется, распечатывается и укладывается на хранение вместе с комплектом рабочих фотографий.

Таблица 4
Форма таблицы послойного описания керна

№ долбления	Кровля по бурению, м	Подосва по бурению, м	проходка, м	вынос керна, м	вынос керна, %	№ слоя	толщина слоя, м	кровля слоя по бурению, м	подосва слоя по бурению, м	кровля слоя по ГИС, м	подосва слоя по	Стратиграфическая	Стратиграфическая единица по керну	Краткое описание ГПы	Насыщение	Описание слоя	№ обр .
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

2. Порядок камерального описания керна терригенных ГП

2.1. Последовательность послойного описания терригенных ГП

Рациональный комплекс признаков, определяемых при описании терригенных ГП, включает определение следующих характеристик.

1. ГП, структура, состав:
 - а. гранулометрический состав ГП (название ГП);
 - б. изменение крупности зерен;
 - в. сортировка зерен;
 - г. окатанность зерен;
 - д. минеральный состав зерен;
 - е. характер галек и неокатанных включений (форма, состав, распределение).
2. Текстура:
 - а. тип слоистости;
 - б. четкость серий и слоев;
 - в. причины, обусловившие слоистость;
 - г. распределение материала в слойках;
 - д. толщина слоев и серий, углы наклона слойков;
 - е. переходы внутри слоя, однородность и другие признаки текстуры слоя в целом.
3. Растительные остатки.
4. Фауна.
5. Ихнофоссилии.
6. Минеральные включения:
 - а. конкреции – форма, состав, строение, распределение в ГП;
 - б. отдельные минералы – пирит и др.
7. Реакция с соляной кислотой.

8. Контакты и переходы.

В рекомендуемом, схематизированном варианте перечисление признаков выглядит следующим образом:

1. ГП, структура, состав (размерность и сортированность);
2. Цвет;
3. Флюидонасыщение;
4. Текстура (с подробным описанием слоистости);
5. Фоссилии;
6. Минеральные включения и изменения;
7. Вторичные изменения (трещиноватость и др.);
8. Прочие признаки (вскипаемость с соляной кислотой и пр.);
9. Контакты и переходы.

Важно! Если детальность определения того или иного признака зависит от целого комплекса факторов и может варьировать от простой констатации факта до его тщательного анализа, то последовательность их характеристики должна выдерживаться неукоснительно.

2.2. Порода, структура, состав

Гранулометрические классификации (греч. «гранула» - зерно), основанные на размере зерен, являются главными. По этому признаку дается название ГП: гравелит, песчаник и т.д.

Отнесение ГП к тому или иному классу по размерности производится путем сравнения с эталонными образцами, по преобладанию основной фракции (50% объема ГП и более). Для оценки песчаных и грубозернистых фракций следует пользоваться лупой с делениями или обычной линейкой. Для выделения чисто глинистых разностей можно пользоваться простым приемом: при растирании аргиллит «скрипит», а алевролит «хрустит».

Следует учитывать, что при визуальном (макроскопическом) описании керна даётся лишь предварительное название ГП, которое затем уточняется данными комплекса анализов (микроскопического, гранулометрического, рентгеноструктурного и др.).

При определении размеров частиц традиционно используется обычная линейная размерная шкала, дающая возможность выражать результаты измерения в единицах длины (в мм). Исходя из природного логнормального распределения частиц, более целесообразна для применения логарифмическая шкала. Наибольшим распространением пользуется шкала с основанием 2, преобразованная в шкалу Ф «фи». Перевод из масштаба линейных единиц реализуется по формуле:

$$\varphi = -\log_2 S.$$

В Таблице 5 приводятся два варианта классификации наиболее распространенных песчаных и алевроитовых ГП: слева – наиболее распространенная и рекомендуемая основными инструктивными материалами в России; справа – наиболее используемая в мировой практике шкала «фи». Дополнительно указаны возможные варианты их некоторого комбинирования для отдельных границ, а также более подробного деления.

Таблица 5
Классификация песчаных и алевритовых ГП

Подразделения (принятые)			Размер частиц (ф)		Подразделения (рекомендуемые)	Вариант подраз- деления	Вариант подразде- лений
			мм	Ф-шкала			
Гравелит (гравий)	1		2	-1	Гравелит		
			1.68	-0.75	грубозернистый	Песчаник	гз
			1.41	-0.5			
			1.19	-0.25			
	1	0	крупнозернистый	кз			
Песчаник (песок)	крупно- зернистый	0.5			0.84		0.25
					0.71		0.5
					0.59		0.75
			0.5	1			
	средне- зернистый	0.25	0.42	1.25	среднезернистый		сз
			0.35	1.5			
			0.3	1.75			
			0.25	2	мелкозернистый	мз	
	мелко- зернистый	0.10	0.21	2.25			
			0.177	2.5			
			0.149	2.75			
			0.125	3			
Алевролит (алеврит)	крупно- зернис	0.05	0.105	3.25	тонкозернистый	тз	
			0.088	3.5			
			0.074	3.75			
			0.0625	4	крупнозернистый		0.05
	мелкозер- нистый	0.01	0.53	4.25			
			0.0445	4.5			
			0.037	4.75			
			0.031	5			
Аргиллит (глина)			0.0156	6	мелкозернистый	Алевролит	крупнозерн. среднезерн. мелкозерн. тонкозерн.
			0.0078	7			
			0.0039	8			

Отнесение ГП к тому или иному классу по размерности, производится по преобладанию основной фракции (50% и более от объема ГП). Если явного преобладания какой-либо одной фракции не установлено, то при наличии двух смежных фракций, в сумме значительно превышающих 50%, породе присваивается двойное название (например, мелко-среднезернистый песчаник). Наличие примеси до 40% или до 50% выражается в добавлении к названию ГП соответствующего прилагательного. Например: при содержании второстепенного компонента от 10 до 25% употребляется прилагательное с окончанием «истый» (алевритистый песчаник), а при содержании от 25 до 40% - с окончанием «ый» (алевритовый песчаник).

Классификация смешанных песчано-алеврито-глинистых осадков и ГП на треугольной диаграмме по их гранулометрическому составу представлены на рисунке 18.

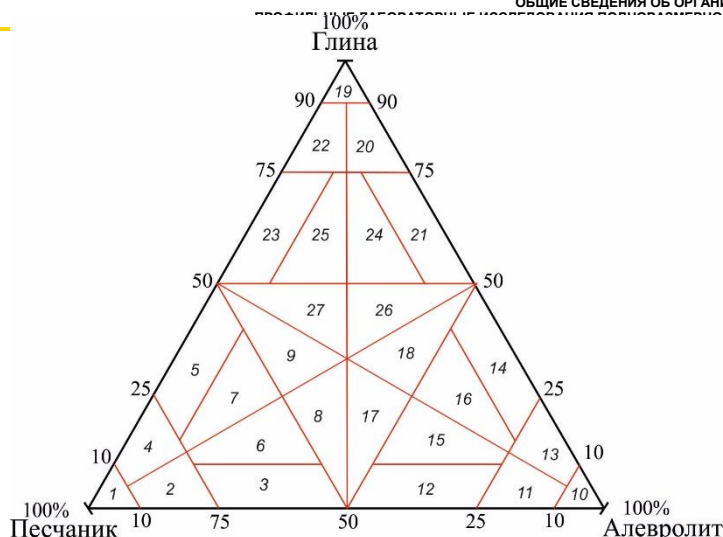


Рис. 18 Классификация смешанных песчано-алевро-глинистых осадков и ГП по гранулометрическому составу. Название и состав пород см. в Таблице 3

Таблица 6
Номенклатура песчаных, алевритовых и глинистых ГП смешанного гранулометрического состава

№поля на рис.	Название пород	Содержание фракции, %		
		песка	алеврита	глины
I. Семейство песков				
1	песок чистый	100-90	0-10	0-10
2	алевритистый	90-75	10-25	0-12.5
3	алевритовый	75-50	20-50	0-10
4	глинистый	90-75	0-12.5	5-25
5	сильноглинистый	75-50	0-10	20-50
6	алевритово-глинистый	50-75	15-40	10-25
7	алевритисто-сильноглинистый	75-50	10-20	12.5-42
8	глинисто-алевритовый	50-33.3	50-20	0-33.3
9	алевритисто-сильноглинистый	50-33.3	0-33.3	22-50
II. Семейство алевритов				
10	алеврит чистый	0-10	100-90	0-10
11	песчанистый	5-25	90-75	0-12.5
12	песчаный	20-50	75-50	0-10
13	глинистый	0-12.5	90-75	5-25
14	сильноглинистый	0-10	75-50	20-50
15	песчано-глинистый	15-40	75-50	10-25
16	песчано-сильноглинистый	20-40	75-50	12.5-42
17	глинисто-песчаный	50-25	33.3-50	0-33.3
18	песчанистый сильноглинистый	0-33.3	50-33.3	22-50
III. Семейство глин				
19	глина чистая	0-10	0-10	100-90
20	алевритистая	0-12.5	5-25	90-75
21	алевритовая	0-10	20-50	75-50
22	песчанистая	5-25	0-12.5	90-75
23	песчаная	20-50	0-10	75-50
24	песчанисто-алевритовая	10-15	20-40	75-50
25	алевритисто-песчаная	20-40	10-25	75-50
26	песчано-алевритовая	0-33.3	25-50	33.3-50
27	глина алевритисто-песчаная	25-50	0-33.3	33.3-50

Сортировку зерен обломочного материала можно определить визуально (Таблица 7) и использовать палетку. Для глинистых и тонкоалевритовых ГП аналогично сортированности применяется понятие отмученности – от очень хорошей до очень плохой.

Таблица 7
Сортированность обломочного материала

Балл	Визуальная характеристика	
	Название	Количество фракции
0	Очень плохая	Несколько различных по размерности

1	Плохая	Три и более, каждая в объеме не более 30%
2	Средняя	Две-три, в целом составляющие более 50% объема
3	Хорошая	Одна более 50% и две-три смежных по размеру
4	Очень хорошая	Абсолютное преобладание одной

Алеврито-песчаные ГП подразделяются не только на основании структурных особенностей, но и по составу слагающего их обломочного материала. По этому признаку обычно принято выделять мономиктовые, олигомиктовые и полимиктовые песчаные и алевритовые ГП. К мономиктовым относят ГП, состоящие на 90% и более из обломков одного минерала или ГП. Чаще всего встречаются кварцевые песчаники.

Олигомиктовые – ГП, сложенные в основном обломками двух различных минералов или ГП, или обломками одного минерала и одной ГП (например: песчаники, сложенные в основном обломками кварца и кремнистых ГП).

Полимиктовые – ГП, сложенные обломками различных минералов и ГП, содержащихся в соизмеримых количествах. Это по существу ГП смешанного состава.

Перечисленные названия являются обобщающими, они характеризуют группы ГП. В названии же конкретной ГП обязательно должны указываться главнейшие из слагающих ее компонентов. Среди многочисленных классификаций ГП наиболее удачной служит модель, приведенная на рисунок 19.

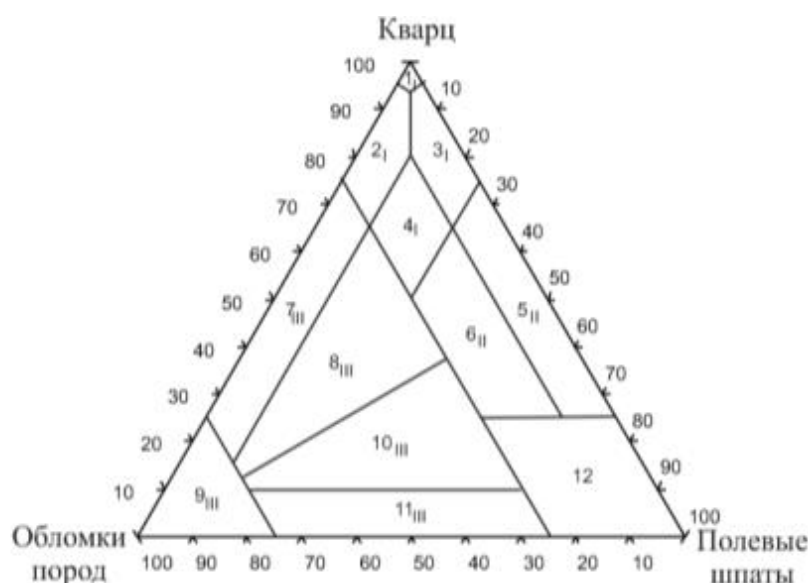


Рис. 19 Классификация песчаников

Кварцевая группа: 1_I – мономиктовые кварцевые песчаники; 2_I – кремнекластито-кварцевые песчаники; 3_I – полевошпато-кварцевые песчаники; 4_I – мезомиктовые кварцевые песчаники. Аркозная группа: - 5_{II} – собственно аркозы; 6_{II} – граувакковые аркозы. Граувакковая группа: 7_{III} – кварцевые граувакки; 8_{III} – полевошпато-кварцевые граувакки; 9_{III} – собственно граувакки; 10_{III} – кварцево-полевошпатовые граувакки; 11_{III} – полевошпатовые граувакки; 12 – поле не собственно терригенного происхождения.

2.3. Цвет

Цвет для осадочных ГП – важнейшая характеристика. Окраска терригенных пород часто определяется составом обломков и цементом. По нему можно судить о составе породообразующих минералов и незначительных примесях, если они окрашивают ГП в характерный цвет: красный, розовый, охристо-желтый – окислы железа; черный, серый – окислы марганца и органическое вещество; зеленый – глауконит, хлорит и другие минералы с закисными соединениями железа; желтый – ярозит, лимонит и др.

2.4. Флюидонасыщение

Особое внимание при макроскопическом просмотре керна надо сосредоточить на выявлении нефтегазопроявлений и битуминозности ГП. Следует иметь в виду, что легкая нефть обычно дает слабые внешние признаки (изменение цвета ГП), но на свежих плоскостях излома чувствуется сильный запах бензина. Наоборот, тяжелая нефть дает обильные признаки, но на свежих плоскостях излома отсутствует запах бензина. Наличие газа в ГП не сопровождается изменением окраски, однако при этом порода имеет резкий характерный запах. В свежевынесенном керне этот запах улавливается без нарушения сплошности керна колонки. Но, с течением времени поверхностные поры ГП дегазируются естественным путем, и для определения газонасыщенности необходимо расколоть керн молотком, образовав свежий излом.

При изучении керна можно наблюдать налеты и примазки нефтяных компонентов на стенках трещин. Обычно они темноокрашенные (компоненты асфальтовых и смолисто-асфальтовых фракций). Легкие и средние компоненты (бесцветные и светлоокрашенные) даже при интенсивном нефтяном запахе ГП остаются невидимыми.

Нефтедержащие ГП узнаются по цвету и запаху. Нефть может быть распределена в породе равномерно или, неравномерно. Неравномерные признаки нефтенасыщения в виде «пятнистости» по всему интервалу керна чаще всего наблюдаются в переходных зонах, ближе к водонефтяным контактам или в неоднородном пласте.

Самым простым способом определения в песчаниках признаков нефтенасыщения является капля воды. Если капнуть на свежий скол образца керна каплю воды, и она не расплывается, а держится на поверхности (явление гидрофобности) или скатывается полностью, то керн насыщен УВ. В случае впитывания капли воды поверхностью керна (явления гидрофильности), порода водонасыщенная.

Известно, что битумы, содержащиеся в породе, люминесцируют под влиянием УФ излучения. Однако явление люминесценции наблюдается только для сильно битуминозных ГП. Когда исследуются слабо битуминозные ГП (содержание битума ниже 1%), обнаружить при помощи люминесценции органические соединения не удастся.

При изучении ГП в УФ свете необходимо описывать цвет, интенсивность окраски, распределение в породе (равномерное, неравномерное). Цвет люминесценции является одним из основных его свойств. Для минеральных веществ и природных битумов (УВ) известны почти все цвета и оттенки видимой части спектра (Таблица 8).

Таблица 8
Характер люминесценции основных компонентов битума

КОМПОНЕНТЫ	ЦВЕТ ЗОН ОТ ПЕРИФЕРИИ К ЦЕНТРУ
Масла	Голубой, желтый
Смолы	Желтый, бурый (оранжевый)
Асфальтены	Светло-желтый, коричневый
Битум	Голубой, желтый, бурый, коричневый

2.5. Текстура

Текстура - расположение зерен в породе – полнее всего изучается в обнажении, менее полно - в керне буровых скважин и образцах.

Для терригенных ГП условно можно выделить четыре основных типа текстур: массивные, слоистые, слоеватые, т.е. с неотчетливой слоистостью, с нарушенной слоистостью.

Обобщенная типизация текстур показана в Таблице 9.

Таблица 9
Типы текстур осадочных ГП

Текстура			Слоистость		
Тип	Вид	Схем. изображение	Тип	Вид	Схем. изображение
Неслоистая	однородная (массивная)		Косая	параллельная	
	беспорядочная			слабосрезанная	
	пятнистая			сильносрезанная (в т. ч. перекрестная)	
	узловатая		Косо-волнистая	слабосрезанная	
	комковатая			сильносрезанная (мульдобразная)	
	гранулированная			флазерная	
Неяснослоистая	градационная		Линзовидная (линзовидно-волнистая)	слабосмещенная	
	слоеватость	редкими включениями		сильносмещенная	
		слойками		лингоидная	
		сплошная (наслоение)	Полго-волнистая	параллельная	
	скрытая (микрослоистость)			непараллельная слабосмещенная	
Нарушенная	оползанием		Горизонтальная	непараллельная сильносмещенная	
	взмучиванием, в т.ч. фьямме			равномерная	
	следами жизнедеятельности (иллоеды, корневые и пр.)	частичное		направленно изменяющаяся (в т. ч. ритмичная)	
		полное		неравномерная (неоднородная)	

Термин «массивная слоистость» иногда используется при описании осадков внешне более или менее однородных. Однако даже в наиболее однородных осадках специальными методами (например, рентгеновским) выявляется внутренняя слоистость. Массивная слоистость может иметь место в тонко- и грубозернистых осадках. Некоторые типы ее могут быть обусловлены интенсивной биотурбирующей деятельностью. Рекомендуется термин «массивная слоистость» применять в особых случаях, когда всеми методами исследования не выявлено какой-либо внутренней текстуры.

Слоистые текстуры – основные в осадочных ГП. Слоистостью называют анизотропную текстуру, возникающую в процессе накопления осадка при изменении материала в вертикальном, точнее в перпендикулярном поверхности напластования направлении или при параллельном расположении уплощенных компонентов осадка, обозначающем поверхность наслоения.

Для понимания механизма формирования слоистых текстур важное значение имеет оценка знаков ряби, образующихся в результате воздействия течений или волн на поверхности ранее накопившихся осадков (рисунок 20). Рябь течений практически всегда асимметрична.

Наиболее широко для характеристики их формы используется индекс ряби $RI=S/H$ и индекс асимметрии ряби $RSI=Sa/Sb$. Для мелкой ряби течения RI преимущественно составляет 8-15, $RSI>2.5$, а для ряби волнения $RI=6-8$ и $RSI=1-3$. Значения RI более 15 и RSI более 3.8, характеризуют только рябь течения, RI менее 4 и RSI менее 2.5 – рябь волнения.

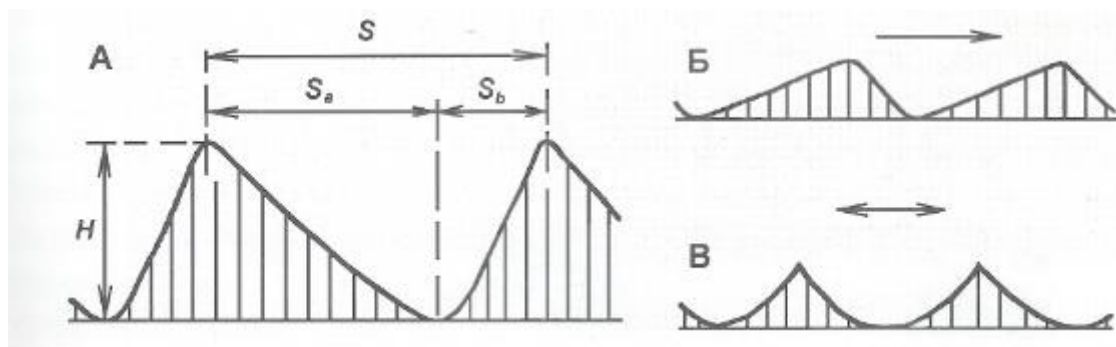


Рис. 20 Рябь в осадочных текстурах:

А – схематический разрез знака ряби (S – длина или интервал между знаками, в т.ч. S_a – пологого склона и S_b – крутого склона; H – высота); **Б** – рябь течения; **В** – рябь волнения

Специфической разновидностью является текстура восходящих знаков ряби (рисунок 21), образующихся в результате их последовательного наложения друг на друга. Угол набегания (или вбегания) обычно не превышает 10° .

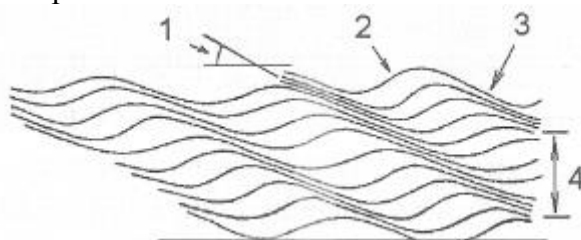


Рис. 21 Восходящие знаки ряби, фрагмент крупной серии:

1 – угол набегания; **2** – откос, обращенный в сторону течения; **3** – откос, обращенный против течения; **4** – серия

Во многих случаях, особенно при изучении достаточно грубозернистых ГП, имеет место неотчетливая слоистость, или слоеватость. Она представляет значительный интерес при изучении зерновых или мутьевых потоков. На рисунке 22 приводятся варианты типизации таких текстур, получивших название градационной слоистости. Градационные пласты представляют собой осадочные единицы, текстуры которых характеризуются сортировкой зерен по величине, имеющейся от грубо- до тонкозернистой при переходе от подошвы осадочной единицы к ее кровле и наоборот.

Пласты с градационной слоистостью обычно встречаются в толщах флишевого типа.

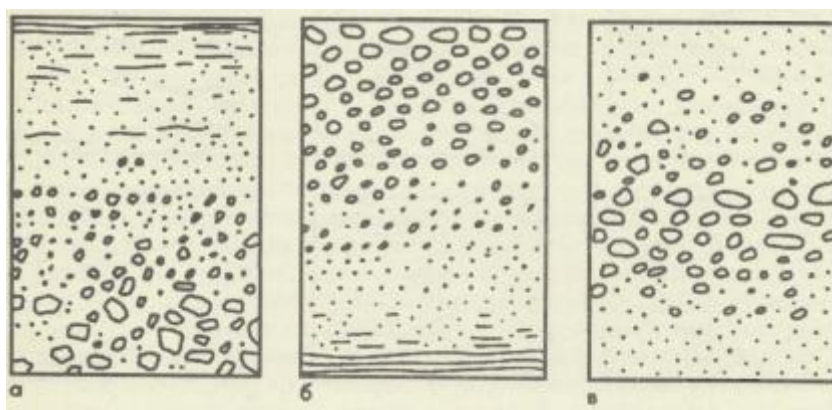


Рис. 22 Градационная слоистость:
а – нормальная (прямая градационная); б – перевернутая, или инверсионная (обратная градационная); в – симметричная

Нарушение текстур чаще связано с конседиментационными деформациями, вызванными оползнями и сопровождающими их взмучиваниями в рыхлой или слаболитифицированной массе накопившихся осадков. При сосредоточении текстуры смятия слоев внутри одного слоя она называется конволютной. Среди текстур взмучивания на особом месте стоят текстуры «пламенные» или фьямме. Для них характерно внедрение языков из нижнего слоя в верхний. Такой процесс возможен при неравномерной нагрузке на нижележащие слои, при достаточной водонасыщенности последних. Классификация нарушений слоистой текстуры представлена в Таблице 10.

Биотурбационные текстуры. Термин «биотурбационные текстуры» предложен для текстур, образованных в процессе жизнедеятельности организмов в осадке или на его поверхности. В отличие от скелетных остатков организмов биотурбационные текстуры всегда автохтонные. Достаточно крупные для распознавания и описания следы жизнедеятельности организмов называются ихнофоссилиями.

Существует метод, согласно которому на профиле учитывается процент площади, первичное напластование которой нарушено организмами. В зависимости от степени нарушения первичного напластования выделяются шесть классов (Таблица 11).

Таблица 10
Классификация нарушений слоистой текстуры

Тип нарушения	Вид		Схематическое изображение
Нарушение формы слоев или слойков (изгиб)	а) смятие	1) постепенно затухающее	
		2) в резко ограниченных пределах	
	б) изгиб (в т.ч. пloyчатость)	1) постепенно затухающее	
		2) в резко ограниченных пределах	
	в) заворот		
	г) отгибание		
	д) вдавливание		
Разрыв слоев или слойков	е) примыкание	а	
		б	
	а) включением		
	б) смещением (атектоническим)		
Внедрение одного слоя в другой	в) протыканием и пересечением		
	г) растрескиванием (вклинивание)		
	Нелубоко, только близ границы слоев	а) по изогнутой границе	
		б) заполнение углублений в нижнем слое	
		в) заполнение оседания	
	Глубоко в виде относительно узких внедрений	а) инъецирование (песчаные дайки)	
		б) внедрение вверх	
	Широкое и глубокое проникновение одного слоя в другой	а) втекание	
		б) взаимное проникновение слоев	
		в) перемешивание материала двух слоев: а) размучивание; б) взламывание	
Нарушение слоистости животными и растениями	а) слоистость еще отчетлива		
	б) слоистость почти исчезает		

Следы подразделяются на шесть комплексов, связанных с определенными зонами глубины морей: Scoyenia (преимущественно континентальные); Glossifungites (более глубоководные части литоральной зоны); Skolithos (мелководная литораль); Cruziana (следы между линией отлива и базисом действия волнения); Zoophycos (следы, расположенные от базиса действия волнения до зоны осадков суспензионных потоков); Nereites (следы на больших глубинах, в зоне отложения суспензионных потоков).

Отмечается постепенный переход от вертикальных ходов в мелководных осадках к горизонтальным и усложненным ходам в глубоководных осадках.

Таблица 11

Классификация степени биотурбации на основе нарушения первичного напластования

КЛАССЫ (VI – ИНДЕКС БИОТУРБАЦИИ)	СТЕПЕНЬ БИОТУРБАЦИИ, %	КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕПЕНИ БИОТУРБАЦИИ
0	0	Отсутствует
1	1-5	Спорадические следы
2	5-30	Слабые проявления
3	30-60	Средние проявления
4	60-90	Значительные проявления
5	90-99	Очень сильно выраженная, но напластование сохраняется
6	100	Абсолютная

Для определения ходов бентосных организмов рекомендуется использовать Ихнологический атлас под редакцией S. G. Pemberton.

2.6. Фоссилии

Изучения количества, состава и способа захоронения остатков фауны и флоры – один из основных методов реконструкции условий формирования осадка. При исследовании органических остатков следуют по возможности различать биоценозы – скопления остатков организмов в их пожизненном положении – и танатоценозы – посмертные скопления, обычно испытавшие аллохтонный перенос, чаще присущий более грубозернистым отложениям с активной гидродинамикой. Остатки фауны для терригенных отложений в общем мало характерны, однако важнее отметить их наличие, размер и целостность раковин, расположение относительно слоистости и т.д. По возможности следует указывать видовой состав, однако в целом это является объектом специальных исследований.

Остатки флоры в том или ином количестве практически всегда присутствуют в угленосных отложениях и представлены полной гаммой: от хорошо сохранившихся листьев до крупных стволов. Остатки растительности часто являются хорошим индикатором условий осадконакопления.

По размеру растительные остатки делятся на следующие группы: крупные – более 3 см, крупный детрит – 1-3 см, мелкий детрит – 0.5-1 см, шлам – менее 0.5 см, возможно также использование терминов сечка – 0.2-0.5 см, атрит – менее 0.2 см. Существенное значение имеет положение растительных остатков (равномерно по слою, концентрация в отдельных слоях послойная, беспорядочная и т.д.).

2.7. Минеральные включения

Включения – несущественная и нередко в той или иной мере экзотическая часть компонентов ГП: галька в песке, конкреции и т.д. Они тщательно изучаются и описываются по обычной схеме: название, минеральный состав, цвет, форма, строение, физические признаки, вторичные изменения и др., количество, распределение по ГП и, по возможности, стадия образования. Основной состав, цемент и включения опробывают соляной кислотой на присутствие карбонатов, на размокаемость в воде и др.

По составу конкрецитообразователя различаются следующие основные минералогические группы конкреций: 1) карбонатные (сидеритовые, магниезиально-железистые, магниезиально-

железисто-кальциевые, доломитовые, кальцитовые); 2) сульфидно-железистые; 3) кремнистые (кварцевые, халцедоновые, опаловые); 4) фосфоритовые; 5) марганцевые, 6) баритовые. Среди терригенных пород конкреции чаще встречаются в глинистых и алевроитовых разностях, реже в песчаных.

Важным признаком является наличие в породе сингенетических галек, обломков и пр. при их содержании в породе не более 50%. Описание таких включений целесообразно проводить по следующим признакам: количество, определяемое визуально (редкие, единичные, примерное содержание в %); состав (мономиктовый, олигомиктовый, полимиктовый); структурные особенности (размер, окатанность и сферичность, характер поверхности).

С помощью пятибальной шкалы (рисунок 23) можно быстро произвести оценку окатанности: баллу 0 соответствует совершенно неокатанные обломки с острыми режущими краями, 1 – со слегка округленными углами и ребрами, 2 – с округленными ребрами, в которых ещё прослеживаются прямолинейные отрезки, 3 – сохранившие лишь следы первоначальной огранки, 4 – идеальноокатанные.

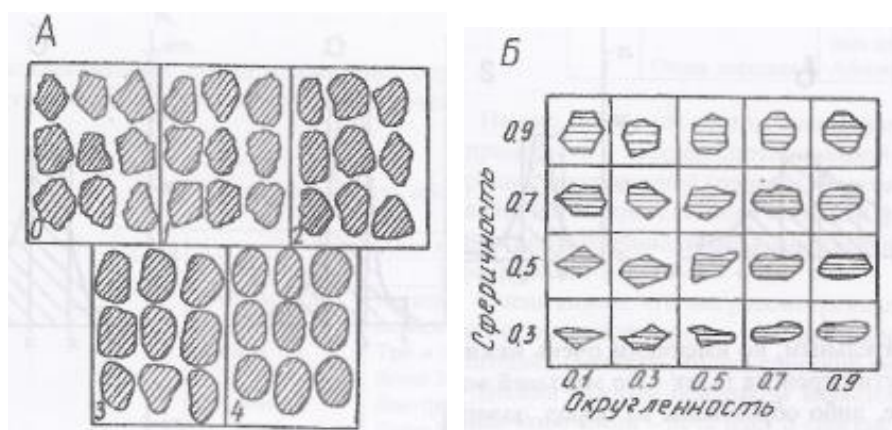


Рис. 23 Палетка для визуальной характеристики галек:
А – окатанности; Б – сферичности и округленности

2.8. Вторичные изменения

Вторичные изменения – весьма частый признак экзогенных накоплений, не только изменяющих физические свойства пород, но и проливающих свет на состав и генезис.

К вторичным изменениям относятся: трещиноватость, выветрелость, ожелезненность, окисленность и др.

Трещины и зеркала скольжения образуются на поздних стадиях становления и развития осадочных ГП в результате наложения, в основном, тектонических процессов. Необходимо тщательно отмечать все встреченные трещины, описывать характер их поверхности (извилистые, ровные, плоские и др.), угол наклона (к оси керна), частоту встречаемости, степень заполнения и состав минерального агрегата (прожилков) в них. Обязательно отмечать наличие зеркал скольжения, направление скольжения (по горизонтали, по вертикали), характер бороздок и царапин, расположение внутри пород одного слоя или на контакте различных пород, характер заполнения тектонического шва.

В терригенных отложениях мезозоя Западной Сибири часто встречаются трещины нетектонического характера, обусловленные преимущественно процессами позднего

диагенеза и наложенного эпигенеза. Такие трещины располагаются, например, в участках соприкосновения осадков с резко различными скоростями уплотнения при погружении. Или в карбонатных (и карбонатизированных) ГП при их доломитизации. Известно, что при полной доломитизации известняков происходит сокращение объема ГП до 12%, что и вызывает образование ветвящейся трещиноватости незакономерной направленности, с частым выклиниванием трещин на коротком расстоянии.

Следовательно, при описании установленных трещин, необходимо направлять усилия на выявление их генезиса. Особое внимание уделять описанию мелких смещений, видимых в керне. Отметить наклон шва к оси керна, протяжённость, амплитуду смещения и возможное их происхождение.

2.9. Прочие признаки

Среди прочих характеризующих ГП параметров особое значение имеет *карбонатность*. Визуально карбонатность определяется прокапыванием 10% соляной кислотой по пятибалльной шкале: 0 – не реагирует, 1 – слабо вскипает в порошке, 2 – бурно в порошке, 3 – слабо в куске, 4 – бурно в куске. Важно не спутать бурную реакцию первично известковистой ГП и вторично образовавшейся конкреции.

Физические свойства ГП при макроописании керна выявляются неодинаково полно. Крепость, т.е. сопротивление разрушению (не путать с твердостью, определяемой у минералов), оценивается по трех-, четырех- или пятибалльной шкале: ГП рыхлые (не держат форму, рассыпаются сами при легком нажатии пальцами), слабой крепости (рассыпаются в пальцах с нажатием), средней крепости (не ломаются в руках, но легко разбиваются молотком), крепкие (трудно разбиваются молотком) и весьма крепкие (очень трудно разбиваются молотком). Плотность, т.е. степень пористости или ее отсутствие у плотных ГП, определяется по впитыванию воды в ГП, по прилипанию к языку – в случае капиллярной пористости, по весу ГП (объемному весу) и рыхлости.

2.10. Контакты и переходы

Определением контактов между слоями как бы замыкается цикл описания ГП, возвращающий исследователя к начальному звену – разбиению разреза на слои.

Выделяются четыре типа соприкосновения двух слоев: 1) контакт размыва; 2) контакт резкий; 3) контакт отчетливый; и 4) постепенный переход, в котором выделялись два подтипа а) непосредственный и б) через переходную зону.

Виды контактов с их принципиальным схематическим изображением приведены на рисунке 24.

После получения результатов лабораторных исследований керна (петрографическое описание шлифов, гранулометрический состав, рентгеноструктурный анализ и др.) уточняется и корректируется первичное описание керна, уточняется название ГП, минеральный состав, включения и прочие признаки.

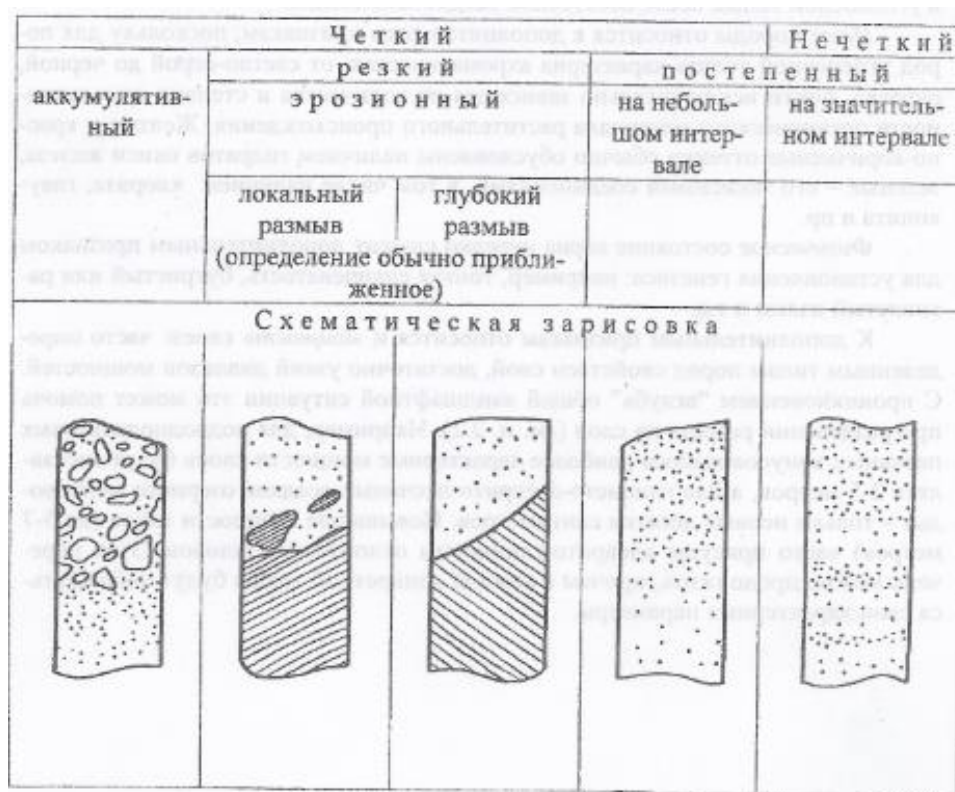


Рис. 24 Виды контактов

3. Порядок камерального описания керна карбонатных ГП

Керн карбонатных резервуаров представляет собой сложный объект исследований, т.к. для карбонатных пород характерно высокое разнообразие структурных типов с крайне разнообразным строением пустотного пространства. При литологических исследованиях карбонатного керна важно максимально полно отразить все особенности продуктивных объектов для последующего полновесного учета литологической информации при проектировании и проведении разработки и ПЗ.

Данный регламент ставит своей целью унификацию литологических исследований карбонатных пород на основе максимально широкого использования всех достижений в этом направлении.

3.1. Последовательность послойного описания карбонатного керна

При послойном описании карбонатного керна необходимо соблюдать следующий порядок описания каждого слоя:

- название ГП;
- цвет ГП;
- флюидонасыщенность;
- структура ГП;
- текстурные особенности ГП;
- особенности строения пустотного пространства (пористость, кавернозность, трещиноватость);

- вторичные изменения, в том числе признаки уплотнения, наличие включений и конкреций;
- органические остатки;
- контакт с подстилающим слоем.

Первое предложение послыйного описания должно содержать в краткой емкой форме всю характеристику слоя. Раскрытие отдельных характеристик производится в дополнительных предложениях. Они должны быть составлены ясно и просто. При описании необходимо избегать использования неясных определений.

3.2. Название ГП

При послыйном описании необходимо максимально точно определить название ГП (известняк, известняк доломитистый, доломит, мергель, ангидрит, брекчия и др.). Для выделения вещественных типов карбонатных пород используется модернизированная классификация (рисунок 25, Таблица 12 настоящего раздела). В большинстве случаев карбонатные ГП сложены кальцитом, доломитом и глинами. При описании, используя соляную кислоту, возможно определение вещественного типа ГП с той или иной степенью точности. Это зависит от различных факторов, в частности от характера распределения кальцита, доломита и глин в ГП, наличие других минералов (например, кварца), характера нефтенасыщенности (интенсивное нефтенасыщение осложняет проведение реакции с соляной кислотой).

Таблица 12
Классификация известково-доломитовых ГП

ПОРОДА	СОДЕРЖАНИЕ, МАСС. %	
	CaCO ₃	CaMg(CO ₃) ₂
Известняк	95-100	0-5
Известняк доломитистый	75-95	5-25
Известняк доломитовый	50-75	25-50
Доломит известковый	25-50	50-75
Доломит известковистый	5-25	75-95
Доломит	0-5	95-100

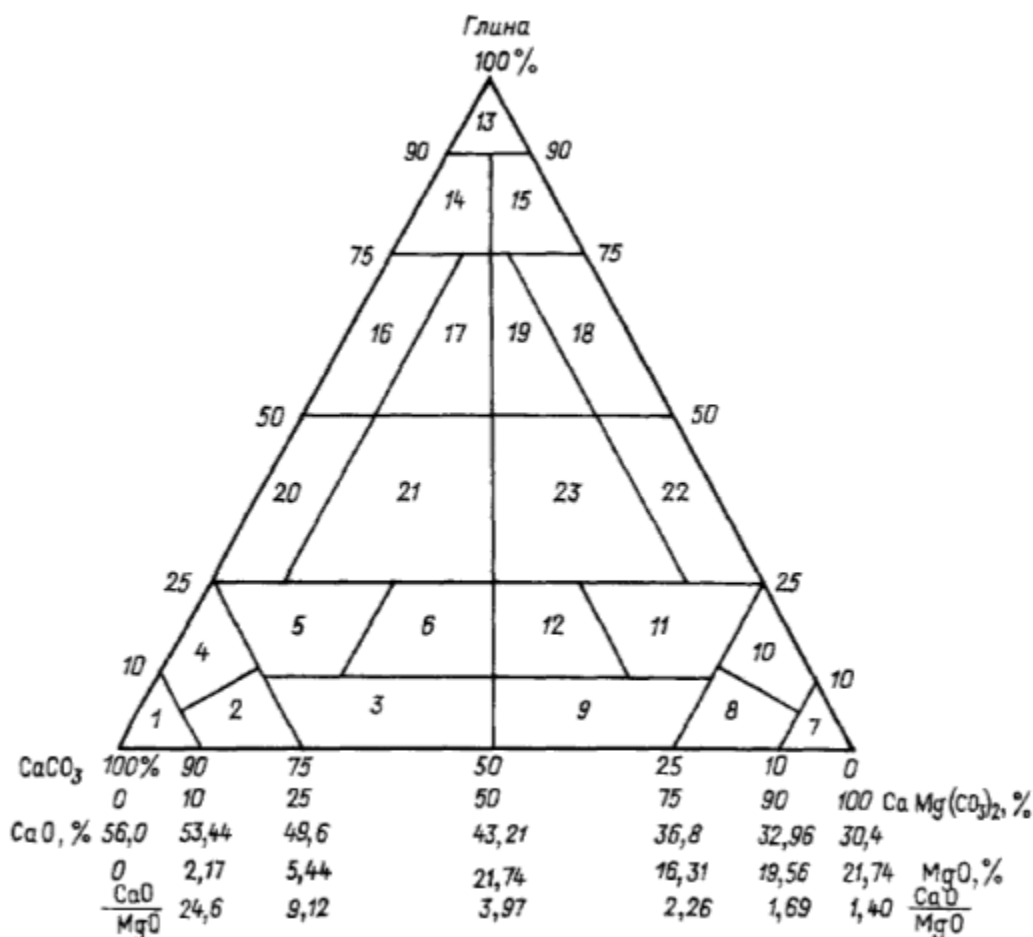


Рис. 25 Рекомендуемая схема классификация глинисто-карбонатных ГП

Поля: 1—6 — известняки: 1 — известняк; 2 — известняк доломитистый, 3 — известняк доломитовый, 4 — известняк глинистый, 5 — известняк глинистый доломитистый, 6 — известняк глинистый доломитовый. 7—12 — доломиты: 7 — доломит, 8 — доломит известковистый, 9 — доломит известковый, 10 — доломит глинистый, 11 — доломит глинистый известковистый, 12 — доломит глинистый известковый. 13—15 — глины: 13 — глина, 14 — глина известковистая, 15 — глина доломитистая; 16—23 — мергели: 16 — мергель глинистый (глина известковая), 17 — мергель глинистый доломитистый (глина известковая доломитистая), 18 — мергель глинистый доломитовый (глина доломитовая или сильнодоломитистая), 19 — мергель глинистый известковистый доломитовый (глина известковистая сильнодоломитистая), 20 — мергель, 21 — мергель доломитистый, 22 — мергель доломитовый (домерит), 23 — мергель доломитовый известковистый (домерит известковистый).

В последующем, при получении результатов лабораторных определений количества минералов, необходимо вернуться к таблице послойного описания и уточнить названия ГП.

3.3. Цвет ГП

Цвет ГП является ее важной характеристикой, т.к. отражает минеральный состав, наличие примесей или особенности флюидонасыщения. Рекомендуется при характеристике цвета пользоваться простыми определениями цвета и словосочетаниями. Например: известняк серый, ангидрит голубовато-серый, доломит светло-коричневый и т.п. Образные определения цвета ГП (например, известняк бурый, аргиллит оливковый, доломит фиштакшковый и др.), несущие в себе более субъективное понимание цвета, следует избегать или использовать только в исключительных случаях, когда это определение будет максимально точным.

При сложном распределении цвета ГП по слою отмечается основной цвет, оттенки, характер изменений по слою, приуроченность различного цвета к тем или другим литологическим типам пород или особенностям их флюидонасыщения. Например, характеристика цвета известняка с пятнистым нефтенасыщением может быть такой: известняк светло-серый, пятнами коричневый из-за неравномерного нефтенасыщения.

3.4. Флюидонасыщенность

Естественная флюидонасыщенность ГП является ее важнейшей особенностью, которая нередко сохраняется в керне только в первые недели после разгерметизации. Поэтому при послойном описании важно максимально точно ее охарактеризовать.

ГП может быть насыщена нефтью, водой, газами. Насыщение может быть однородным (нефть) или смешанным (нефть-вода, газ-нефть). В отличие от литологических определений при характеристике сложной флюидонасыщенности преобладающий флюид ставится в определении на второе место. Например: нефте-водонасыщенный известняк насыщен преимущественно водой.

Для определения характера флюидонасыщения важную роль играют фотоизображения, выполненные в УФ. Прежде всего, они дают ценную информацию о насыщенности пустотного пространства пород разреза УВ и их типе (тяжелая нефть, легкая нефть, газ). Методика основывается на одном из физических свойств молекул УВ – возможности их перехода из основного в возбужденное состояние при поглощении световой энергии, поступающей извне, и последующем полном или частичном ее излучении в спектре видимого света (люминесценция). Для природных УВ соединений известны почти все цвета и оттенки люминесценции видимой части спектра. Цвет люминесценции зависит от состава УВ, структуры их молекул, содержания различных примесей, а также от внешних факторов - температуры среды, длины волны поглощаемого света, его интенсивности и др. Интенсивность люминесценции определяется количеством УВ в ГП, но, кроме этого, она может определяться теми же причинами, что цвет.

Характеристика насыщенности УВ, при описании керна, дается для всех типов ГП, где уверенно выделяются характерные признаки (запах на свежем сколе, свечение в УФ, визуальные признаки битумонасыщения и т.д.). Не нужно указывать флюидонасыщение для керна без характерных признаков.

В таблице послойного описания характер флюидонасыщения выделен в отдельную колонку (Форма 1). Это позволяет в последующем, при выборе продуктивных объектов, быстро фильтровать информацию таблицы.

3.5. Структура ГП

Для описания структуры карбонатных ГП в настоящее время наиболее распространенной является модернизированная структурно-генетическая классификация. Эта классификация хорошо согласуется с петрофизическими типами карбонатных ГП и является наиболее универсальной. В соответствии с классификацией карбонатные ГП делятся на три группы:

- а. аллохтонные известняки, зерна (аллохемы) не были скреплены органическим веществом во время отложения;
- б. автохтонные известняки, первичные компоненты (разнообразные скелетные структуры) были скреплены во время отложения;

в. кристаллические ГП.

При классификации первой группы известняков основными классификационными признаками являются зерна и цемент, их соотношение в ГП (Таблица 13)

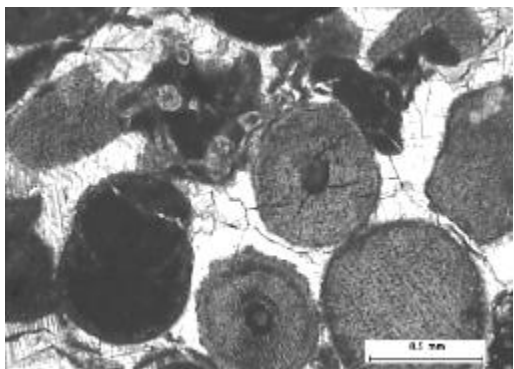
Таблица 13
Классификация аллохтонных известняков, зерна которых не были скреплены органическим веществом во время отложения

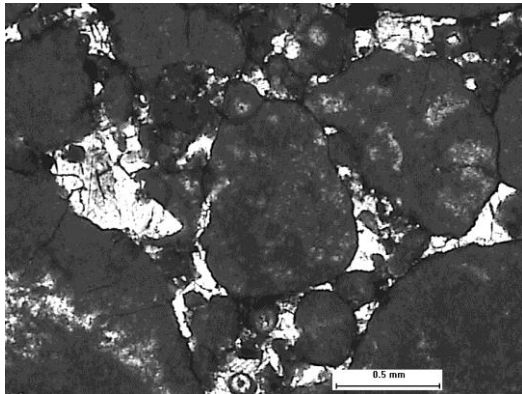

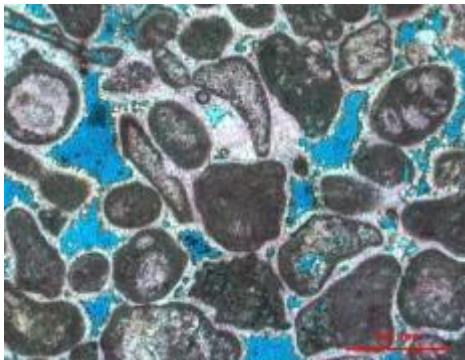
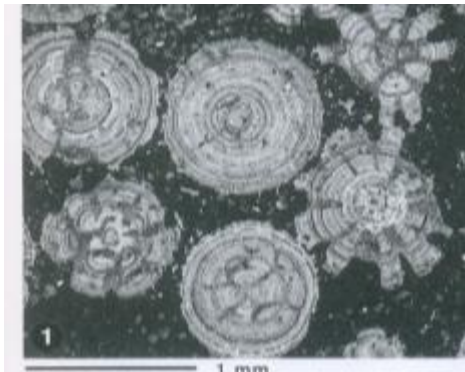
НАЗВАНИЕ СТРУКТУРНОГО ТИПА	СТРУКТУРНЫЕ ТИПЫ ИЗВЕСТНЯКОВ					
	МАДСТОУН	ВАКСТОУН	ПАКСТОУН	ГРЕЙНСТОУН	ФЛАУТСТОУН	РУДСТОУН
Наличие крупных зерен	Менее 10% зерен размером >2 мм				Более 10% зерен размером >2 мм	
Наличие тонко-микрокристаллического кальцитового цемента (ила)	Известковый или микрокристаллический (тонко-кальцит) присутствует			Практически нет	Известковый или формирует основную часть ГП	Известковый или может заполнять межзерновые промежутки
Что играет роль опоры	Ил		Зерна		Ил	Зерна
Доля зерен	<10%	>10%				

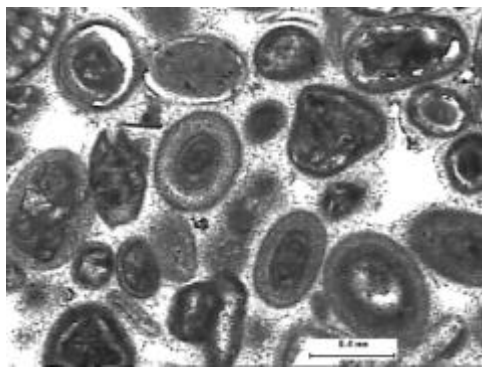
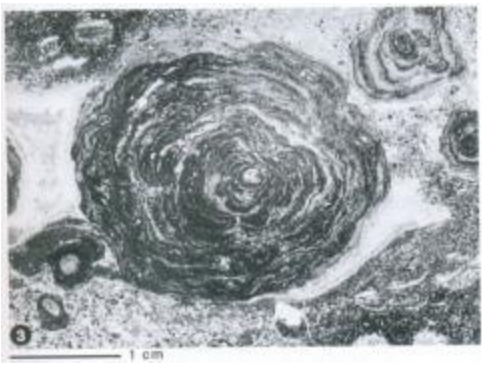
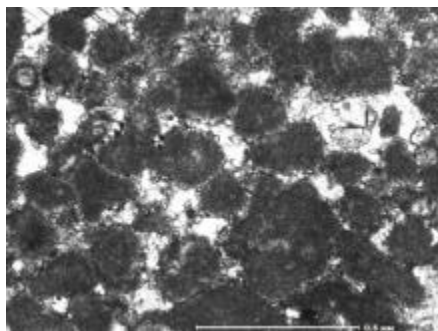
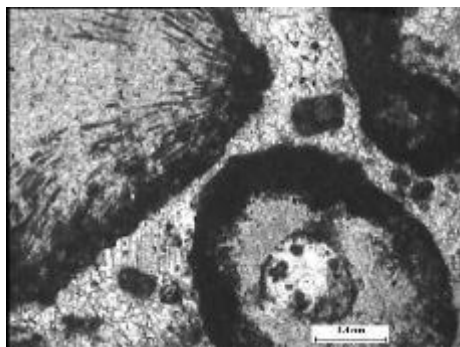
При определении структурного типа ГП важно не только правильно оценить соотношение зерен и цемента, но и диагностировать преобладающий тип (или типы) зерен.

В карбонатных ГП встречаются несколько основных типов зерен (Таблица 14).

Таблица 14
Основные типы зерен в карбонатных ГП

ТИП ЗЕРЕН	ОПРЕДЕЛЕНИЕ	ФОТО, ПРИМЕР
1	2	3
1. Биокласты	<u>Биокласты</u> – разнообразные обломки скелетов, от хорошо определимых, до фактически неопределимых (шлам).	

ТИП ЗЕРЕН	ОПРЕДЕЛЕНИЕ	ФОТО, ПРИМЕР
1	2	3
2. Литокласты	Литокласты – обломки карбонатных пород. Они включают, обломки твердого дна (хардграунда), обломки карбонатных песчаников, более древние литифицированные карбонатные частицы. По структуре хорошо отличаются от вмещающей ГП	
3. Интракласты	В отличие от литокластов, по структуре сходны с вмещающей ГП, т.е. сформированы при разрушении и фрагментации частично литифицированного осадка	
4. Ооиды	Ооиды – сферические или округлые карбонатные частицы, обладающие ядром из обломочного материала и имеющие концентрическую слоистую оболочку:	
4. Ооиды	Оолиты - в центре находится небольшая частица, а оболочка состоит из нескольких слоев радиального кальцита	

ТИП ЗЕРЕН	ОПРЕДЕЛЕНИЕ	ФОТО, ПРИМЕР
1	2	3
	Псевдоолиты - в центре находится биокласт или целая раковина, слоев радиального кальцита немного	
5. Онколиты	Онколиты (онкоиды) – округлые желваковые карбонатные частицы, обладающие ядром из обломочного материала и оболочками со слоисто-водорослевой структурой.	
6. Пелоиды	Пелоиды – мелкие частицы (0,1-3,0 мм), сложенные микрористаллическим кальцитом, имеющие округлую или удлинненную форму	
7. Кортоиды	Зерна, представленные разнообразными фрагментами биокластов с интенсивной микритизацией стенок	

В названии ГП должны быть отражены преобладающие типы зерен (например: известняк биокластовый, известняк ооидный, ооидно-литокластовый и др.).

Для систематизации размерности зерен используется следующая размерная шкала (Таблица 15):

Таблица 15
Размерные классы карбонатных зерен

№ п/п	ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ, мм	РАЗМЕРНЫЙ КЛАСС ЗЕРЕН
1	<0,05	очень тонкозернистые
2	0,05-0,10	тонкозернистые
3	0,10-0,25	мелкозернистые
4	0,25-0,50	среднезернистые
5	0,5-1,0	крупнозернистые
6	1,0-2,0	грубозернистые
7	2,0	гигантозернистые

Для описания размеров кристаллов цемента используется шкала, приведенная ниже для описания кристаллических структур.

В название структуры ГП, сложенной аллохтонными зернами, должны быть отражены: 1) тип зерен и их размер; 2) размерность зерен цемента; 3) дана диагностика структуры.

Примеры типового описания структуры зернистого известняка:

1. известняк полибиокластовый, средне-мелкозернистый, с микрокристаллическим цементом (структура пакстоун);
2. известняк пелоидный, тонкозернистый, с обильным микрокристаллическим цементом (структура вакстоун);
3. известняк ооидный, грубозернистый (структура грейнстоун).

Вторая структурная группа ГП, автохтонных по своей природе, образуется в результате пороодообразующей деятельности различных организмов – водорослей, строматопор, мшанок, кораллов и мн. др. (Таблица 16). Т.е. ее можно назвать группой органогенных ГП.

Таблица 16
Классификация автохтонных известняков, первичные компоненты были скреплены во время отложения

	СТРУКТУРНЫЕ ТИПЫ		
По Р. Данхэму	Баундстоун		
По А.Эмбри и Д.Кловену	Бафлстоун	Байндстоун	Фреймстоун
Кем образуются	организмами, действующими как сетки	организмами, образующими корочки	организмами, создающими жесткий каркас
Примеры	Водорослевые, мшанковые известняки	Микробиальные, водорослевые, строматопоровые известняки	Коралловые, строматопоровые, брахиоподовые известняки

Скелетные формы различных организмов в органогенных ГП представлены преимущественно в первичном положении. Соотношение скелетных компонентов и цементов может быть различным. Отдельные типы могут содержать значительные доли цемента и точная диагностика их может быть достаточно непростой. Особенно трудны для определения микробиальные органогенные карбонаты, т.к. доля тонко-микрокристаллических цементов в них может значительно превышать видимую часть органогенных структур.

Кроме этого, в органогенных известняках может встречаться значительная аллохтонная компонента – разнообразные зерна, заполняющие промежутки между скелетами. В этом случае структура ГП все равно является органогенной, однако важно сделать акцент при описании структуры заполнения.

Примеры типового описания структуры органогенных известняков:

- известняк органогенно-водорослевый с микрокристаллическим цементом (структура бафлстоун);
- известняк органогенно-строматопоровый с разнотелым полибиокластовым заполнением (структура фреймстоун).

Третья структурная группа карбонатных ГП является кристаллическими. Т.е. кристаллы являются основными составляющими элементами ГП. Преимущественно ГП этой группы являются вторичными и формируются при перекристаллизации и метасоматозе. При описании структуры вторичных доломитов, даже при условии сохранившейся первичной структуры, всегда необходимо начинать характеристику с описания кристалличности.

Размерные классы кристаллов приведены в таблице. Необходимо отметить, что классы размеров зерен и кристаллов совпадают (Таблица 17).

Примеры типового описания структуры кристаллических ГП:

- доломит мелкокристаллический, с реликтовой органогенно-водорослевой структурой;
- доломит разнокристаллический, с хорошо сохранившейся первичной структурой ооидного грейнстоуна.

Таблица 17
Размерные классы кристаллов карбонатных ГП

№ п/п	ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ, мм	РАЗМЕРНЫЙ КЛАСС КРИСТАЛЛОВ
1	0,005	пелитоморфные (микрит)
2	0,005-0,050	микрокристаллические
3	0,05-0,10	тонкокристаллические
4	0,10-0,25	мелкокристаллические
5	0,25-0,50	среднекристаллические
6	0,5-1,0	крупнокристаллические
7	1,0-2,0	грубокристаллические
8	2,0 и более	гигантокристаллические

3.6. Текстуры особенности ГП

Основным текстурным признаком осадочных ГП является наличие слоистости. Слоистость классифицируется по мощности слоев, форме и характеру контактов между слоями.

Современные КОС нередко выносят целые многометровые столбики керна, в которых на первый взгляд слоистость не просматривается. Однако при смачивании керна тип слоистости все же можно установить.

Мощность слоев: микрослоистые ГП сложены слоями толщиной 1 см и меньше; тонкослоистые – 1-5 см; среднеслоистые – 5-30 см; толстослоистые – 30-50 см;

массивнослоистые - 50-100 см. ГП, слоистость которых превышает 1 м являются массивными.

Характер контактов между слойками и форма слойков: по сочетанию двух этих признаков ГП подразделяются на:

- горизонтальнослоистые (поверхности наслоения горизонтальные);
- волнисто-слоистые (поверхности наслоения волнистые);
- линзовидно-слоистые (слойки линзовидные, контакты их волнистые);
- узловато-слоистые (слойки имеют изменчивую мощность, невыдержанные по простиранию и форме, формируют линзовидно-изометричные узлы; их контакты неправильно-волнистые, прерывистые).
- неправильно-слоистые (слойки имеют различную форму и контакты, от слабо-волнистых до неправильно-волнистых, форма слойков от горизонтальной до узловатой).

Специфическим типом слоистости карбонатных пород является **косая слоистость**: в этом случае в ГП отчетливо просматриваются относительно ровные поверхности наслоения между сериями слойков, а внутри серий поверхности контактов между слойками в различной степени наклонные. Косослоистые текстуры встречаются в зернистых известняках со структурой грейнстоун (пелоидные, ооидные грейнстоуны) и органогенных известняках со структурой байндстоун (водорослевые известняки).

При описании текстуры важно отметить ее однородность или неоднородность по слою, направленность изменений в пределах слоя.

Специфичным типом текстуры является стилолитизация. По генезису она относится к текстурам уплотнения, но часто, при интенсивной стилолитизации, стилолитовые швы являются основными текстурными элементами в слое т.к. развиваются по слоистости и «поглощают» ее. В этом случае приходится говорить уже не о слоистости ГП, а об ее стилолитизации.

Например: известняк неравномерно стилолитизированный.

При развитии стилолитизации в слое необходимо дать развернутую характеристику стилолитов. Для характеристики стилолитов можно использовать следующие признаки (Таблица 18):

Таблица 18
Основные признаки для описания стилолитов

Тип стилолитов (по форме)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ столбчатые ▪ бугорчатые (холмовидные) ▪ зубчатые ▪ нерегулярные ▪ слабоволнистые
Амплитуда стилолитов (высота выступов, см)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ крупные (более 2,0 см) ▪ средние (0,5-2,0 см) ▪ мелкие (0,1-0,5 см) ▪ микростилолиты (менее 0,1 см)
Оrientировка	<ul style="list-style-type: none"> ▪ параллельные

напластованию	<ul style="list-style-type: none"> ■ секущие наклонные ■ секущие вертикальные
Соотношение стилолитов в слое (стилолитовая сеть)	<ul style="list-style-type: none"> ■ параллельные ■ ветвящиеся и нерегулярно пересекающиеся (неравномерная сеть) ■ соединенные (относительно равномерная сеть) ■ стилолитовая псевдобрекчия
Соотношение стилолитов и трещин	<ul style="list-style-type: none"> ■ развиты по трещинам ■ пересекающие трещины
Состав вещества-заполнителя	<ul style="list-style-type: none"> ■ глина ■ органический материал ■ глинисто-органический материал ■ нефть ■ битум

3.7. Особенности строения пустотного пространства ГП

Пустотное пространство карбонатных ГП отличается высокой сложностью. Оно формируется из пустот четырех типов – пор, каверн, полостей и трещин. При послойном описании необходимо объективно охарактеризовать все эти типы пустот, их наличие, распределение по слою (равномерное, пятнистое и т.п.), размеры и формы.

В карбонатных ГП описание пустот рекомендуется производить по следующей классификации (Таблица 19):

Таблица 19
Классификация пустот карбонатных ГП

ТИП ПУСТОТ	ВИД ПУСТОТ	ШИРИНА ПУСТОТ, ММ
Поры		менее 1.0
Каверны		1-10
Полости (или пещеристые полости)	Малые полости	10-100
	Небольшие полости	100-1000
Микротрещины		менее 0.1 мм
Макротрещины	Мелкие	0.1—1.0
	Средние	1-10
	Крупные	10-100
Мегатрещины	Мегатрещины или щели	более 100
Макростилолитовые пустоты	Стилолитовые поры	0.1-1.0
	Стилолитовые каверны	1.0-10.0
	Стилолитовые трещины	0.1-1.0

При характеристике порового коллектора можно определить преобладающий размерный класс и группу пор (Таблица 20).

Таблица 20
Размерная классификация пор

ПОРЫ (КЛАСС, ГРУППА)		РАЗМЕР ПОР, ММ
микропоры		менее 0.01
макропоры	тонкие	0.01-0.10
	мелкие	0.1-0.25
	средние	0.25-0.5

	крупные	0.5-1.0
--	---------	---------

При описании следует избегать качественных характеристик, не несущих в себе определенного смысла. Так как при достаточном опыте послойного описания вполне можно дать определение класса коллектора. При характеристике поровых коллекторов рекомендуется придерживаться следующей классификации (Таблица 21).

Таблица 21
Классификация коллекторских свойств ГП

А	КЛАСС ПОРОД ПО ПОРИСТОСТИ	Кп
	высокопористые	15-25 %
	среднепористые	10-15 %
	низкопористые	5-10 %
	плотные	менее 5 %
Б	КЛАСС ПОРОД ПО ПРОНИЦАЕМОСТИ	Кпр
	высокопроницаемые ГП	500-2000 мД
	среднепроницаемые	100-500 мД
	слабопроницаемые	10-100 мД,
	весьма слабопроницаемые	0.1-10 мД
	практически непроницаемые	менее 0.1 мД

Следует еще раз подчеркнуть, что указание класса возможно лишь при достаточно большой практике работы с послойным описанием. Классы проницаемости используются при обобщении материалов и подготовке литологических глав.

3.7.1. Генетическая характеристика пустот

Еще одним важным аспектом послойного описания пустотного пространства является характеристика генезиса пустот. По генетической классификации пустот (рис. 26) все пустоты делятся на три группы: а) связанные со структурой; б) не связанные со структурой; в) переходные.

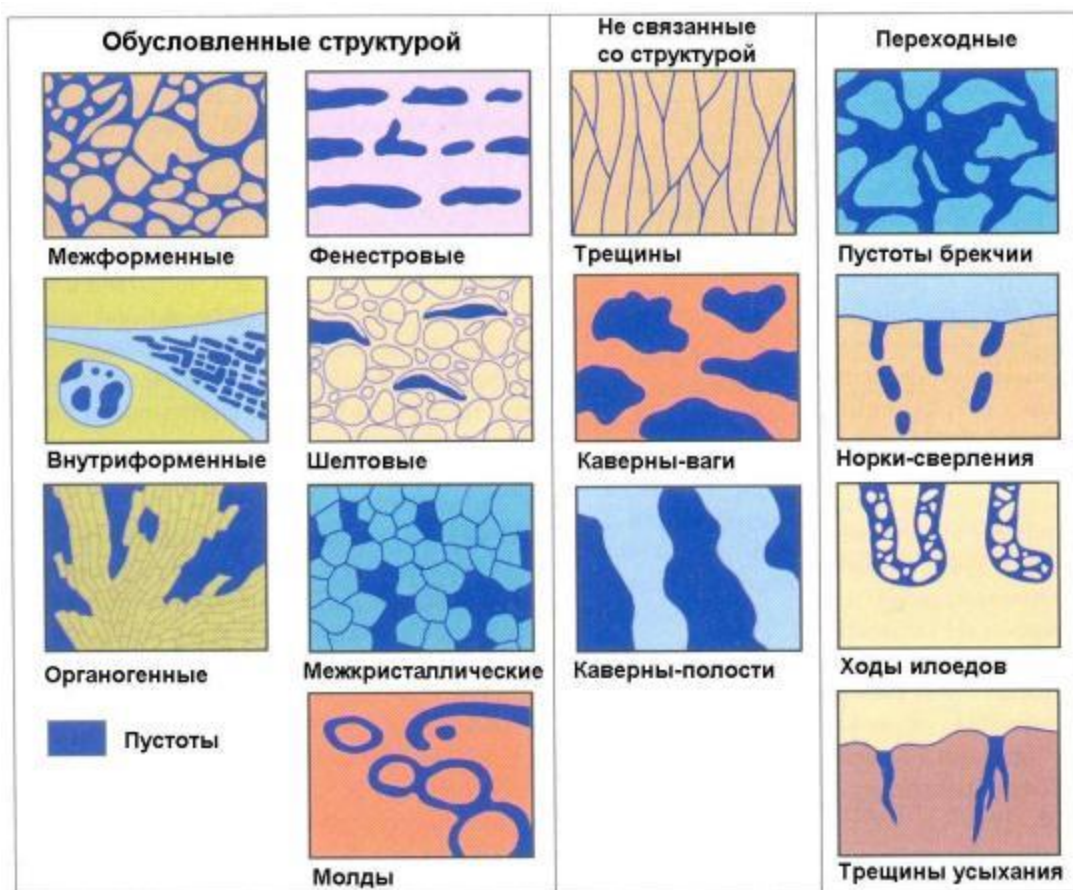


Рис. 26 Генетическая классификация пустот по Choquette et Pray (1970)

Пустоты, связанные со структурой:

1. межформенные (или межзерновые) – располагаются между структурообразующими зернами.
2. внутриформенные – развиты по структурообразующим зернам, представленным раковинами фораминифер, гастропод, клеточными стенками водорослей и т.д. Разновидностью этого типа пустот являются внутрискелетные пустоты, развитые по крупным одиночным и колониальным организмам (кораллам, строматопорам и др.);
3. органогенные – представляют собой естественные полости, формирующиеся при неравномерном росте органогенных построек;
4. фенестровые – пустоты, располагающиеся группами и формирующие цепочки по слоистости. Обычно они вытянутой формы, структурно адаптированы к слоистым структурам ГП. Наиболее обычны в лагунных слоисто-водорослевых и сферово-пелоидных известняках;
5. шелтовые (полости-укрытия) – образуются под какими-либо естественными скелетными укрытиями, например створками брахиопод, обращенными выпуклой створкой вверх;
6. молды – пустоты, образующиеся при растворении зерен (например, раковин). По форме оставшейся полости можно определить тип растворенного зерна. В соответствии с размерами выделяются поры-молды (до 1 мм) и каверны-молды (более 1 мм).

7. межкристаллические – представлены в крупно-и среднекристаллических ГП, например в доломитах, или на участках перекристаллизации, расположены между структурообразующими элементами – кристаллами.

Пустоты, не связанные со структурой:

- трещины – протяженные пустоты незначительной ширины, образующиеся при деформациях ГП различного типа (см. ниже). Длина трещин превосходит ее ширину обычно на несколько порядков;
- каверны-ваги – пустоты, образующиеся при растворении ГП. Каверны-ваги обычно приурочены к проницаемым зонам, например, трещинам. Их образование не имеет определенной связи со структурой;
- полости, или каверны полости, – представляют собой укрупненный вариант каверн-ваг. Так как формирование полостей связано с развитием процессов карста, они имеют субвертикальную ориентацию.

Пустоты переходные:

- пустоты брекчии – развиты в брекчированных карбонатных ГП, располагаются между фрагментами брекчии;
- пустоты норк-сверлений – приурочены к поверхностям твердого дна или перерывам, имеют субвертикальную направленность;
- пустоты по ходам илоедов – развиваются в наиболее типичном случае в ГП лагун (мадстоуны, сферово-пелоидные вакстоуны), представлены разнообразными по ширине червеобразными пористыми зонами шириной от 1-2 мм до 1 см;
- трещины усыхания – встречаются на поверхности слоев, подвергнутых воздействию факторов субаэральной экспозиции. Обычно клиновидные, субвертикальные, короткие.

3.7.2. Описание трещин

Трещины в карбонатных ГП широко распространены и играют чрезвычайно важную роль в свойстве коллектора пропускать через себя флюид, т.е. обеспечивать его проницаемость. Необходимо тщательно описать трещиноватость на целом керне, еще не подвергнутом фрагментации на различные виды исследования.

При описании трещин необходимо уделить внимание следующим аспектам:

- наличие трещин. В этом случае нужно внимательно отделить трещины техногенной природы, образовавшиеся в процессе бурения. Они могут быть как вертикальными, так и субгоризонтальными. В таких трещинах отсутствуют естественные минеральные инкрустации, примазки битума;
- преобладающее направление трещин (субвертикальное, субгоризонтальное, хаотичное, и др.);
- густота трещин. Оценивается на поперечный скол или срез керна. Например: на срез керна диаметром 100 мм приходится от 2 до 4 трещин;
- преобладающая протяженность трещин;
- раскрытость трещин. При послойном описании можно лишь приближенно оценить это значение. Например: раскрытость трещин по слою в среднем до 0.1 мм;

- вещество, выполняющее трещины (нефть, твердый битум, кальцит, гипс и др.);
- генезис трещин.

Точная диагностика генезиса трещин имеет важное прогностическое значение, т.к. позволяет предсказать возможное распределение трещиной пустотности в объеме резервуара. Выделяемые генетические типы трещин приведены в Таблице 22, а на рисунке 27 показан пример имидж анализа фотографий керна. Для повышения качества оценки трещиноватости рекомендуется использование гониометров типа CAG-600 или аналогичных. Перспективным направлением изучения трещиноватости является применение рентгеновской томографии и фотографирования керна с постройкой развертки в 360^0 (рисунок 28). Полученные изображения позволяют провести ориентировку трещин в пространстве комплексируя данные керна и ГИС (FMI).

Таблица 22
Классификация трещин по генезису

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ТИП И ПОДТИП ТРЕЩИН	ГЕНЕТИЧЕСКАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ ТРЕЩИН	МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРЕЩИН
1. Тектонические	трещины	
1.1 Региональной и крупноблоковой тектоники	Трещины блоковых деформаций	Протяженные трещины с видимой длиной в первые метры (по керну). Формируют систему параллельных трещин с ровными стенками. Ширина зависит от порядка положения трещины. Т.к. в керне мы видим систему оперяющих второстепенных трещин, их ширина обычно не превышает доли мм – 1-2 мм. По крупным трещинам этого типа возможно наличие борозд и зеркал скольжения.
1.2 Экзотектонические и внутриблоковые	Нептунические дайки	Трещины шириной до 20-40 мм в керне. Возможны более значительные значения ширины. Имеют субвертикальное направление и сложное выполнение. Формируются при быстром росте рифовых построек и нарушении гравитационного равновесия новообразованных органогенных блоков. Выполнены осадками, резко контрастирующими со структурой коренной ГП (биокластовыми грейнстоунами, рудстоунами), могут иметь вторичные микробийальные обрастания. Т.к. по нептуническим дайкам более активно развивается карст, они могут формировать высокопроницаемые зоны в теле рифов
1.2 Экзотектонические и внутриблоковые	Гравитационного срыва	Трещины неправильной формы и изменчивой ширины: вдоль слоевых поверхностей обычно щелевидные, шириной до 5-15 мм; секущие слоевые поверхности обычно короткие (до 2-4 см), извилистые, с невыдержанной шириной (от 1 до 5 мм), выклиниваются внутрь слоя. Эта разновидность трещин формируется в ГП склонов органогенных построек и карбонатных платформ, при нарушении гравитационной стабильности пачек склоновых известняков. Трещины преимущественно залечены прозрачным кальцитом. Только межслоевые трещины срыва могут быть раскрытыми.
1.3 Межслоевые и	Деформации по	При формировании сложных стилолитовых текстур

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ТИП И ПОДТИП ТРЕЩИН	ГЕНЕТИЧЕСКАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ ТРЕЩИН	МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРЕЩИН
внутрислоевые	стилолитам	под неравномерным действием геостатического и бокового горного давления от поверхностей стилолитов начинается формирование сетки трещин деформации. Эти трещины очень тонкие (доли мм), многочисленные, изменчивой длины (от первых см до нескольких десятков см).
	Слоевых деформаций	Эта разновидность трещин наиболее характерна для карбонатных пород органогенной структуры, имеющих, как правило, неровные слоевые поверхности, обусловленные неравномерным ростом породообразующих организмов. При возрастающем геостатическом давлении на поверхности слоев напряжение имеет разновекторное направление, в результате чего внутри слоя формируются относительно прямые, длинные (десятки см – первые метры) и тонкие (доли мм – первые мм) трещины, по которым наблюдается смещение структур до 2-5 мм. Трещины слоевых деформаций сопряжены, как правило, с трещинами деформаций по стилолитам)
2. Литогенетические	трещины	
2.1 Диагенетические	Синерезиса	Мелкие извилистые трещины (длиной от 3-4 мм до 2-3 см) субвертикальной направленности и изменчивой ширины (первые мм). Возникают при уплотнении накапливающегося осадка с отжатием воды и газа. Характерны для осадков с длительным периодом литификации (фаии лагуны, илистых впадин шельфа)
	Усыхания и растрескивания	Короткие (до 2-7 см) субвертикальные трещины клиновидной формы, угасающие вниз от поверхности слоя или слоя. Могут быть заполнены зернами (литокластами, ооидами) или глинистым материалом. Характерны для приливно-отливных фаций
2.2 Эпидиагенетические	Перекристаллизации и метасоматоза	Извилистые трещины неправильной формы и изменчивой ширины (обычно первые мм). Возникают в эпигенезе, в ходе перехода к кристаллической структуре
	Стилолитизации	Короткие трещины (до 2-4 см) выдержанной ширины (от 0,1 до 4-5 мм). Развиваются по крупнозубчатым стилолитам. Возникают при интенсивном уплотнении и формировании выраженных стилолитовых текстур с крупнозубчатыми поверхностями. Могут формировать связанные зоны проницаемости по стилолитовой поверхности



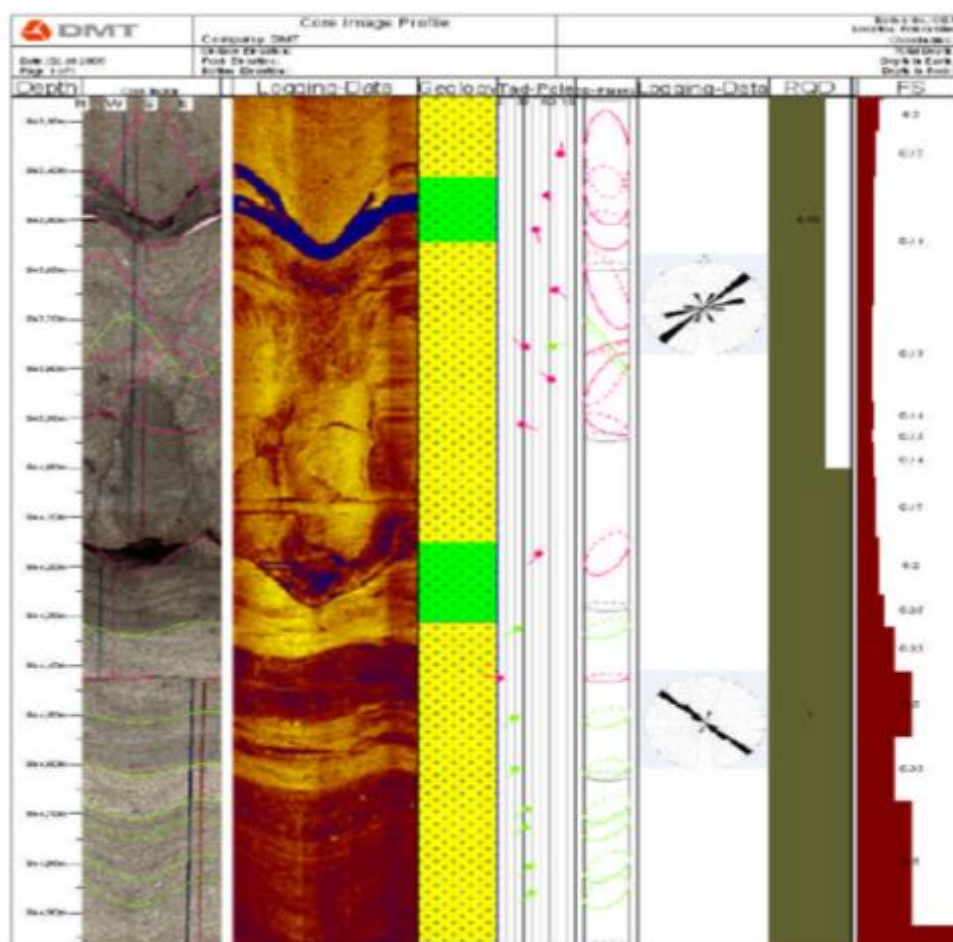


Рис.28 Комплексирование керн-ГИС с построением развертки 360°

3.8. Вторичные изменения, наличие включений и конкреций

Для карбонатных ГП очень характерны разнообразные вторичные изменения. В одном и том же слое нередко наблюдается до нескольких видов вторичных изменений.

Все вторичные изменения карбонатных пород можно разделить на следующие типы:

- структурные;
- структурно-вещественные;
- вещественные;
- компакционные (или преобразования уплотнения).

Вторичные изменения структурного типа связаны с процессами перекристаллизации. В известняках перекристаллизация приводит к переходу от зернистой и органогенной структуры к кристаллической. При интенсивной перекристаллизации бывает невозможно установить первичную структуру ГП.

Структурно-вещественные вторичные изменения связаны с частичным или полным изменением первичного состава ГП. Этот тип вторичных преобразований встречается широко. Наиболее распространенным видом структурно-вещественных преобразований в карбонатных ГП является замещение кальцита доломитом, т.е. преобразование известняков в доломиты (доломитовый метасоматоз). Вместе с изменением вещественного состава в этом

случае меняется и структура ГП: зернистая структура переходит в кристаллическую. Еще одним видом структурно-вещественных изменений является замещение доломита сульфатами (гипсом и ангидритом).

Вещественные вторичные изменения проявляются в изменении вещественного состава ГП, при этом первичная структура сохраняется. Этот тип вторичных изменений очень широко распространен и представлен разнообразными разновидностями. Например, окремнение известняка обычно идет с сохранением структуры. Галитизация доломитов и известняков протекает без заметного изменения структуры, с адаптацией кристаллов галита к пустотному пространству ГП. Вещественные вторичные изменения могут проявляться в образовании по слою включений (например, гипса, ангидрита и др.) или конкреций (например, кремня). В этом случае новообразования могут вносить текстурные изменения в породу. При описании включений и конкреций необходимо указать их минералогические характеристики, размеры, условия залегания в породе, ориентировку.

Компакционные вторичные изменения обусловлены неравномерным уплотнением ГП под воздействием геостатического давления. Они проявляются по-разному и могут быть представлены:

1. стилолитизацией поверхностей наслоения;
2. формированием многочисленных прожилков раствора (парастилолитов);
3. межзерновой компакцией (коррозией и растворением карбонатных зерен на контактах);
4. образованием желваковой слоистости.

3.9. Органические остатки

При перечислении органических остатков, встреченных в слое, важно не дать ошибочных определений и названий. Вполне достаточно использовать названия типов, подтипов, классов и отрядов, определение морфологических форм. Например: брахиоподы беззамковые; кораллы четырехлучевые одиночные и т.п. Отмечается так же: много остатков или мало, их сохранность, ориентировка и др. особенности. Необходимо указывать, насколько равномерно распределены в данном слое остатки организмов; если распределение неравномерное, то какие наблюдаются в этом отношении особенности или закономерности.

Верное определение органических остатков важно не только для фациальных реконструкций, но и для интерпретации строения пустотного пространства коллектора, т.к. скелеты различных групп организмов имеют специфическое внутреннее строение. Например: большое количество раковин мелких фораминифер в известняке со структурой пакстоун может обеспечивать высокую открытую пористость ГП; однако, большинство внутрираковинных пор будет играть в этом случае роль тупиков и не вносить особого вклада в проницаемость коллектора. В то же время известняк с аналогичной структурой, но сложенный фрагментами чехлов водорослей при сходной пористости будет обладать значительно более высокой проницаемостью.

3.10. Контакт с подстилающим слоем

Этот признак очень важен для последующих фациальных и секвенстратиграфических реконструкций. Слоевые контакты бывают четкими, эрозионными, а бывают невыразительными, с относительно постепенным (и закономерным) переходом одного слоя в другой. При эрозионном контакте граница между слоями резкая, неровная, нередко с

«карманами»; в кровле нижележащего слоя наблюдаются признаки выветривания, палеокарста (брекчированность, трещинки растрескивания, корочки каличе и др.), деятельности сверлящих организмов, литифицированные корневища растений (ризокреции). На контакте слоев часто присутствует гравийно-галечный материал.

При постепенной смене одного слоя другим границу иногда бывает трудно установить. Можно в этом случае выделить переходный слой. Например: известняки песчаниковидные, со структурой грейнстоун (сл. 1) → переслаивание известняков со структурой грейнстоун и грейнстоун-пакстоун (сл. 2) → известняки со структурой пакстоун (сл. 3).

В случае приуроченности к поверхностям наслоения зеркал и борозд скольжения необходимо отметить их угол.

Если при выполнении послойного описания керна наблюдаются какие-то другие признаки или особенности ГП, не включенные в предлагаемую схему, то их следует отметить в заключении.

Макроскопическое изучение керна является исходным пунктом и базой для всех дальнейших геологических обобщений и научных выводов. Только профессиональное изучение ГП в их естественной слоевой последовательности дает объективное представление о разрезе в целом.

Макроописание керна сопровождается систематическим назначением и отбором образцов для последующих лабораторных исследований керна. Количество образцов ГП зависит от разнообразия литологических особенностей толщ, характера насыщения УВ флюидом, изменчивости емкостных свойств и т.п.

3. РАЗМЕТКА КЕРНА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика проведения лабораторных исследований керна заключается в комплексном изучении свойств каждого образца керна:

- литологическое описание;
- определение вещественного состава;
- геохимические исследования органического вещества;
- определение структуры порового пространства;
- определение петрофизических свойств;
- определение механико-прочностных свойств.

Схема подготовки и лабораторного исследования образца керна приведена на рисунке 29.

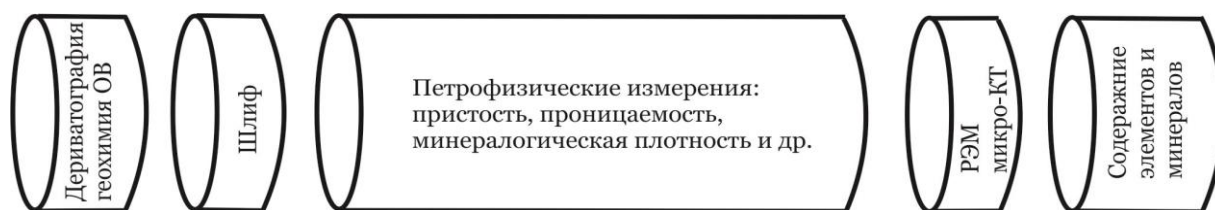


Рис.29 Схема подготовки и исследования образца керна

Применение данной методики изучения керна позволяет определить взаимосвязь большинства свойств с литологическим составом ГП. Изменение состава ГП приводит к значительным изменениям свойств, в первую очередь ФЕС и геомеханических.

В мировой практике существует два подхода к разметке полноразмерного керна на исследования (рисунок 30):

- равномерная разметка с фиксированным шагом, применима в разрезах с мощными выдержанными толщами;
- разметка основанная на учете литотипов ГП и неоднородности разреза.

Причем, при разметке с равномерным шагом упор делается к привязке места отбора к отсечке по глубине с шагом 1 фут (30 см). Наилучшие результаты получаются при комплексировании обоих подходов.

Процедура отбора образцов на стандартные лабораторные исследования керна зависит от типа информации, которую необходимо получить в результате. Процесс отбора образцов в целом включает один или более этапов, представленных ниже:

- а. литологическое распределение;
- б. изменение пористости и проницаемости внутри литологической единицы;
- в. распределение УВ.

Ориентация образцов керна относительно напластования также играет ключевую роль в обеспечении качественных и непротиворечивых данных лабораторных исследований керна (рисунок 31).

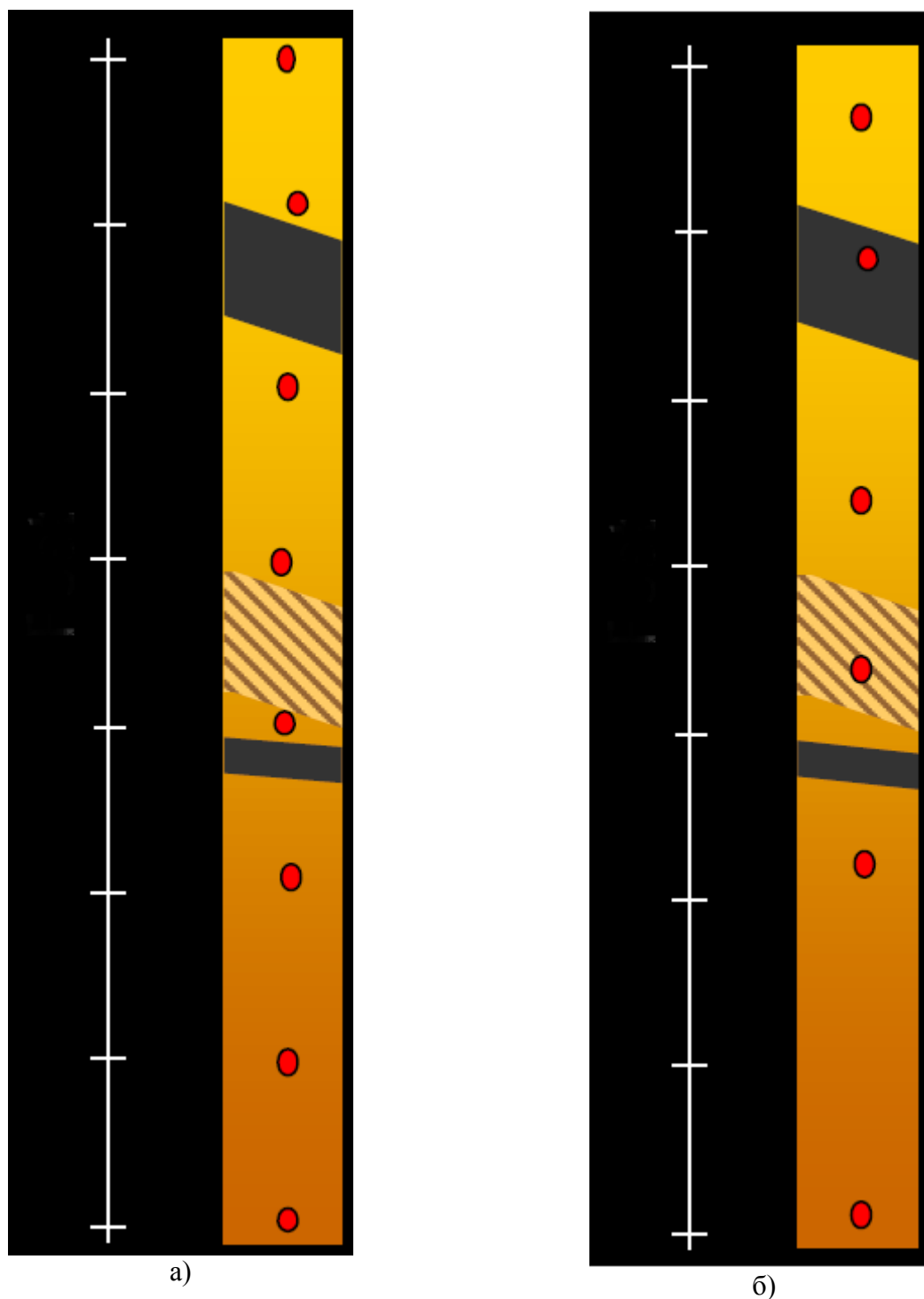


Рис. 30 Примеры методических подходов к разметке полноразмерного керна на исследования
а) – равномерная с фиксированным шагом, б) – ориентированная на изучение каждого
литотипа

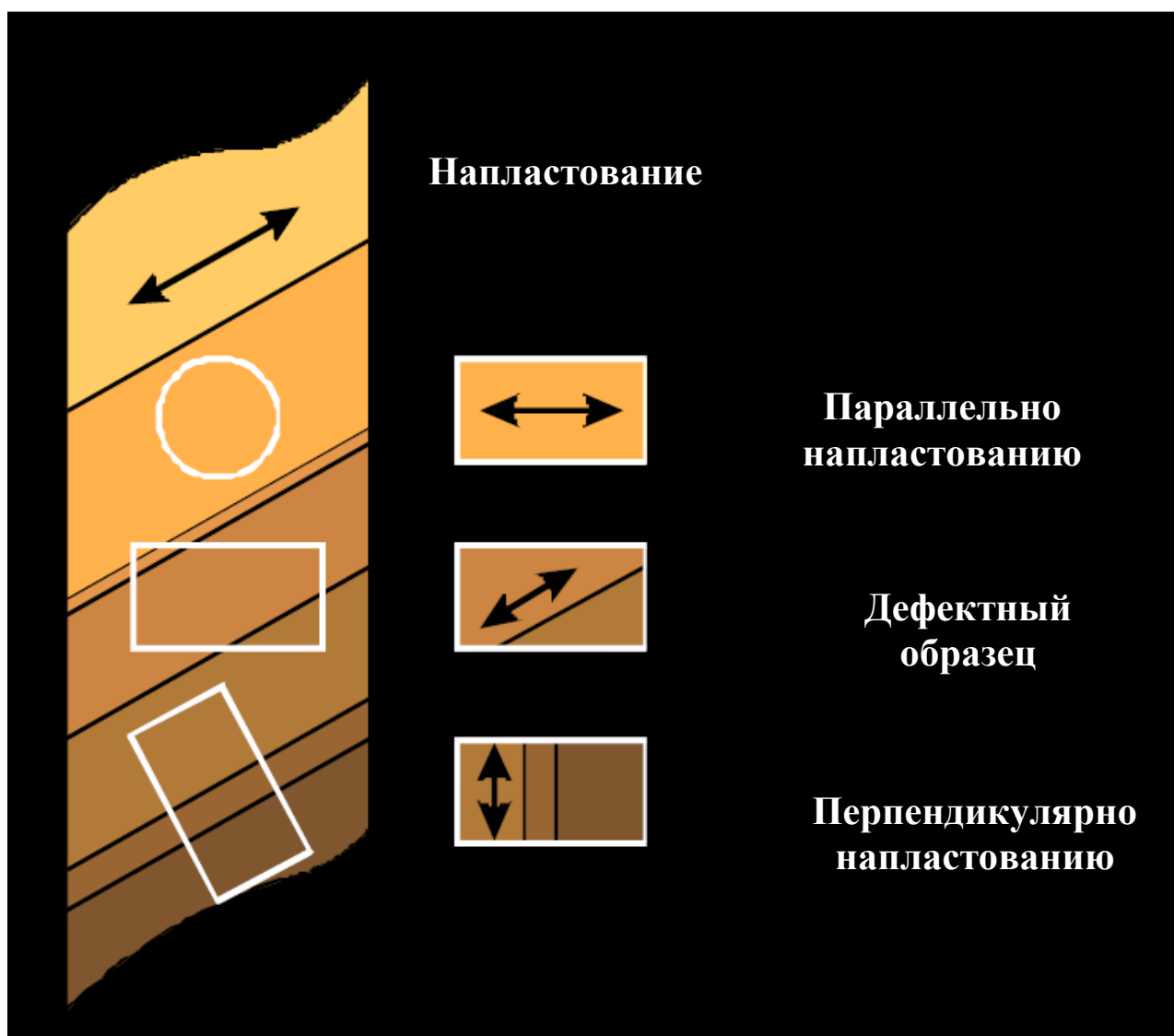


Рис.31 Примеры ориентации образцов для проведения петрофизических и потоковых экспериментов

Очень важно заранее понимать виды работ, которые имеют специальные требования к изготовлению образцов, а именно диаметр и длина образца, а также его насыщение.

В практике лабораторных исследований керна используются образцы с различными размерами. В Таблице 23 приведены основные размеры образцов и их привязка к типу керна.

За базовый диаметр образцов рекомендуется принять диаметр 30 мм для консолидированных терригенных коллекторов, карбонатных не кавернозных коллекторов, образцы диаметром 1.5 дюйма рекомендуется использовать при изучении неконсолидированных и слабоконсолидированных коллекторов, микрокавернозных карбонатных коллекторов с размером каверн до 1 мм. Необходимо учитывать, что размеры изготавливаемых образцов тесно связаны с диаметром керна. Для того, чтобы отбирать образцы большого диаметра (>70 мм) параллельно напластованию в ГТЗ на отбор керна нужно закладывать повышенный диаметр керна, который должен составлять не менее 110 мм.

Таблица 23
Размеры цилиндрических образцов и виды исследований

№пп	Диаметр образцов	Длина образца	Виды исследований
1	1 дюйм (25.4 мм)	Не менее 1 дюйма (25.4 мм)	Пористость и проницаемость по газу, пористость методом жидкостенасыщения, объемная и минералогическая плотность др.
2	30 мм	Не менее 30 мм	
3	1.5 дюйма (38 мм)	Не менее 1.5 дюйма (38 мм)	
4	2 дюйма (50 мм)	Не менее 2 дюйма (50 мм)	
5	3 дюйма (76 мм)	Не менее 3 дюйма (76 мм)	
6	70-80 мм	Не менее 70-80 мм	
7	4 дюйма (100 мм)	Не менее 4 дюйма (100 мм)	Геомеханика и специальные исследования
8	4 дюйма (100 мм)	8 дюймов (200 мм)	
9	2 дюйма (50 мм)	4 дюйма (100 мм)	
10	1.5 дюйма (38 мм)	3 дюйма (76 мм)	
11	30 мм	60 мм	

На рисунке 32 приведены рекомендуемые размеры изготавливаемых образцов для массовых и специальных лабораторных исследований керна.

Кавернозно-трещиноватые коллектора и коллектора с высокой неоднородностью (изменчивостью) свойств, а также гравелиты и конгломераты рекомендуется изучать комплексно образцами различных размеров от 30 мм до полноразмерных образцов (рисунок 33).

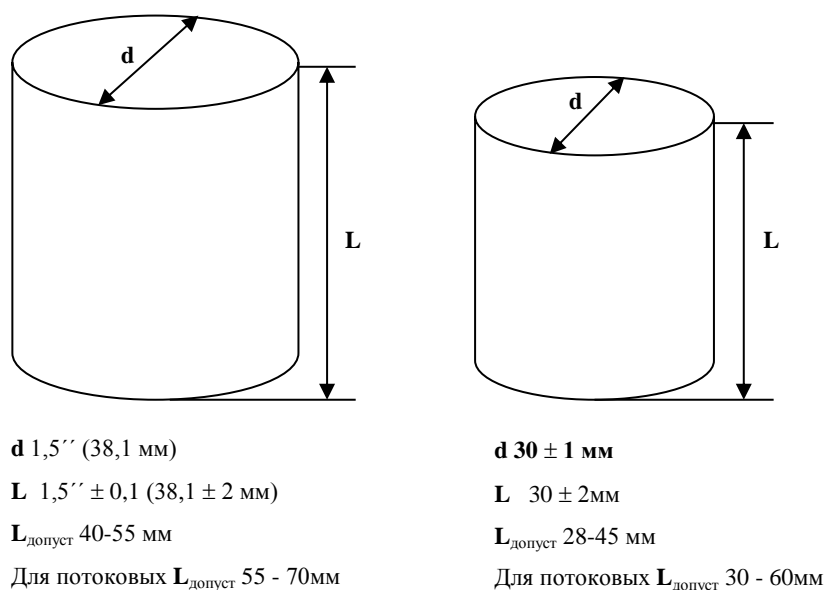


Рис. 32 Рекомендуемые размеры образцов для массовых исследований



Рис.33 Пример разметки кавернозного керна по результатам РКТ
ПО – полноразмерный образец, СО – стандартный образец

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ РАЗЛИЧНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ, ЭКСТРАКЦИЯ И СУШКА

Механическая обработка керна, поступающего на определение ФЕС, проводится с помощью алмазного режущего и сверлящего инструмента согласно ГОСТ 26450.0. Традиционная технология изготовления образцов керна описанная в ГОСТ 26450.0 позволяет получать качественные образцы для проведения лабораторных исследований керна из ГП, не требующих специальных подходов, таких как неконсолидированные и слабоконсолидированные ГП, нефтематеринские ГП. В Таблице 25 указаны основные технологические моменты, которые необходимо учитывать при изготовлении образцов керна различных ГП.

Таблица 25
Применимость различных технологий при изготовлении образцов

№пп	Тип ГП	Сверильный станок	Плунжер (вдавливание)
1	Традиционные терригенные и карбонатные коллектора	Охлаждение водой	Не применимо
2	Засолоненные коллектора	Охлаждение маслом	Не применимо
3	Терригенные ГП с водонабухающими минералами	Охлаждение маслом/керосином	Не применимо
4	Нефтематеринские ГП	Охлаждение воздухом/жидким азотом/керосином	Не применимо
5	Неконсолидированные ГП	Режим на сухую. Замораживание керна в жидком азоте с охлаждением жидким азотом	Только в зоне однородного по размеру частиц керна материала. Без заморозки.
6	Слабоконсолидированные ГП	Режим на сухую. Замораживание керна в жидком азоте с охлаждением жидким азотом	Только в зоне однородного по размеру частиц керна материала. Без заморозки.

Технологии работ с неконсолидированными и слабоконсолидированными ГП требуют отдельного специфического подхода. Практика работ показывает, что к каждому кернавому материалу отобранному из таких ГП требуется индивидуальный подход.

На начальном этапе необходимо отработать технологии изготовления образцов без применения криотехнологий.

В случае невозможности изготовления образцов «на сухую» и «вдавливанием» применяется криотехнология заморозки в жидком азоте.

Общие требования к ориентации изготавливаемых образцов относительно плоскости напластования сводятся к следующему (рисунок 34):

- для массовых (рутинных) и большинства специальных исследований преобладающим является горизонтальное направление (вдоль напластования);

- для геомеханических исследований и изучения анизотропии применяется изготовление образцов перпендикулярно напластованию;
- для специальных исследований анизотропии и геомеханических исследований допускается изготовление образцов под углами отличными от параллельного и перпендикулярного направления относительно напластования.



Рис. 34 Требования к направлению изготовления образцов

Перед началом работ необходимо по результатам лабораторных исследований полноразмерного керна и РКТ провести разметку керна на изготовление образцов (рисунок 35).

Изготовление образцов методом вдавливания проводится с использованием специализированного станка компании «ErgoTech» или аналогичного. Конструктивно он состоит из остро заточенного плунжера, с помещенным во внутрь термоусадочным рукавом, станины, гидравлического цилиндра, ручного насоса и датчика давления, а также вспомогательных приспособлений.

Образец извлекается из плунжера, торцы специальным скребком выравниваются, по торцам образцов помещаются металлические сетки, дополнительно могут помещаться тефлоновые перфорированные шайбы, предназначенные для обеспечения параллельности торцов. На рисунке 36 показана общая схема образца, а на рисунке 37 показан образец изготовленный методом вдавливания.

1. Порядок работ по изготовлению образцов методом вдавливания (для неконсолидированных ГП)

- При наличии не распиленного керна, разметить тубусы.
- Провести перфорацию тубуса в выбранных местах с помощью специальной коронки, с внешним диаметром 53 мм (при изготовлении образцов диаметром 30/38 мм).
- При наличии распиленного керна перфорация коронкой не проводится.
- Провести сборку станка по изготовлению образцов в соответствии с инструкцией (руководством пользователя).
- Подготовить комплекты для изготовления образцов.

- Взвесить торцевые сетки на весах.
- Взвесить термоусадочную пленку на весах.
- Разместить тубус с перфорационным отверстием на станине станка.
- Плавной подачей давления с помощью автоматической или ручной подачи обеспечить углубление коронки в керн.
- После окончания углубления вернуть коронку в верхнее положение.
- Отсоединить пистон с образцом от коронки.
- Удалить излишки керна с торцов с помощью специальных приспособлений (острые металлические бритвы).
- По торцам образца поместить торцевые сетки.
- Зажать образец с торцевыми сетками в специальном микро прессе при небольшой давлении.
- С помощью термофена произвести обработку термоусадочной пленки при температуре достаточной для плотного обтягивания образца пленкой.
- Несмываемым маркером нанести номер образца.

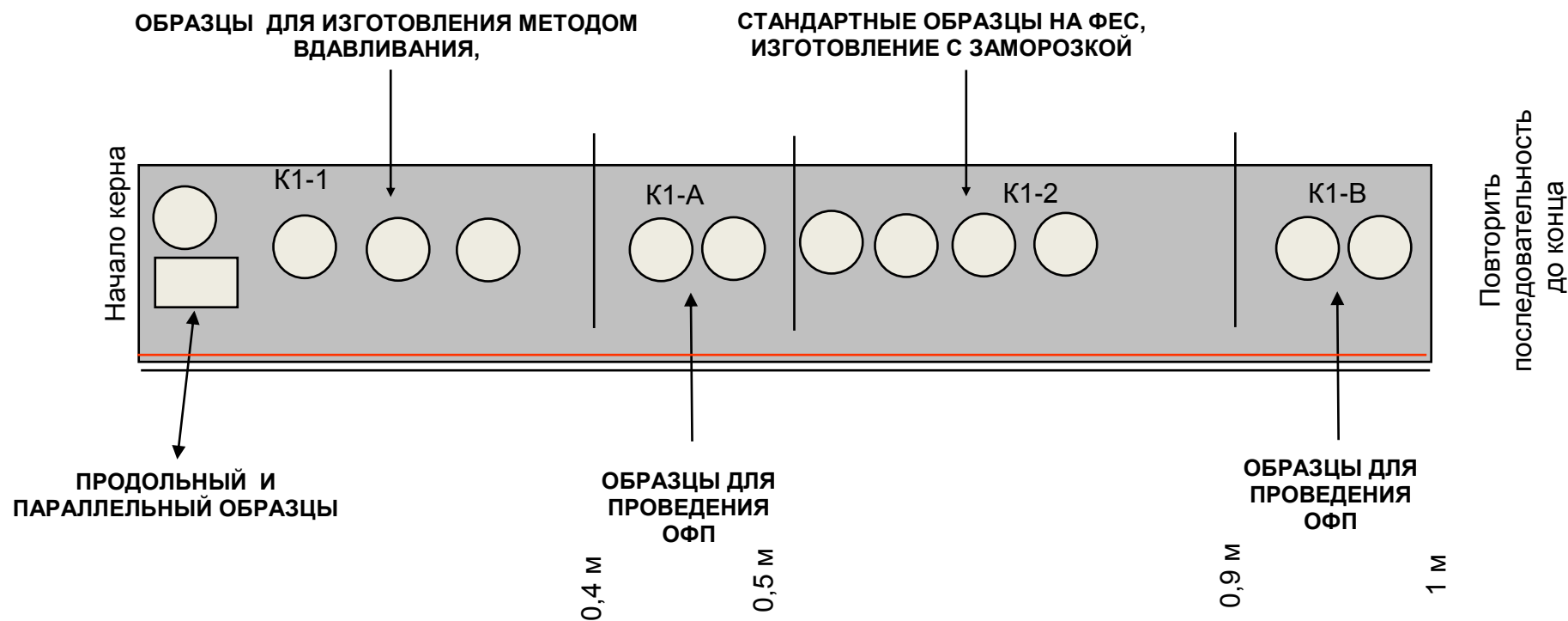


Рис. 35 Пример разметки 1 метра керна



Рис. 36 Схема образца изготовленного методом вдавливания

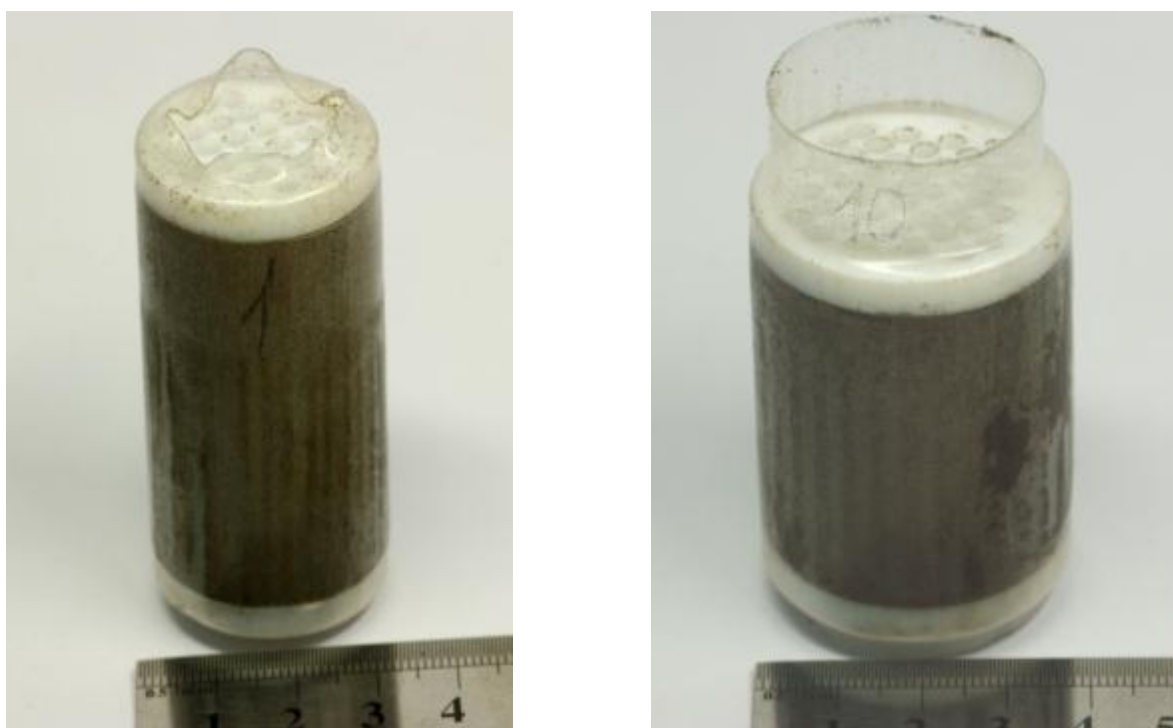


Рис. 37 Образцы диаметром 30 и 1,5 дюйма изготовленные методом вдавливания

2. Изготовление образцов с помощью криотехнологий (для неконсолидированных ГП)

При невозможности изготовления образцов методом вдавливания необходимо осуществить изготовление образцов с применением криотехнологий.

Образцы керна выбуриваются с помощью подачи жидкого азота под давлением 2 атм., на фрезерных станках промышленной категории, обладающих моторами большой мощности, низкой вибрацией и истинной осью вращения. Для более качественного выбуривания необходимо обеспечить циркуляцию жидкого азота через коронку, с целью удаления частиц керна и обеспечения быстрого и качественного выбуривания образца.

При изготовлении образцов с использованием криотехнологий используются следующие технические решения, направленные на сохранность образцов:

- обсадка образцов различными видами термоусадочных пленок;
- обсадка образцов металлической фольгой;
- помещение образца в индивидуальный кернодержатель.

Каждая из технологий имеет свои плюсы и минусы. При изготовлении образцов с помощью термоусадочной пленки необходимо обеспечить плотный контакт между боковой стенкой образца и пленкой, плотную фиксацию торцевых фильтров, пленка должна быть инертна к использованию агрессивных жидкостей используемых при экстракции. При использовании металлической фольги невозможно проводить замеры УЭС, сам способ изготовления образцов более трудоемкий и имеет более высокие риски получения некачественных образцов. Главный недостаток проведения лабораторных исследований керна с помощью индивидуального кернодержателя - это высокая стоимость, но появляется возможность проведения капиллярметрических исследований с одновременным замером УЭС, без дополнительных этапов загрузки-разгрузки образца, тем самым исключается риск повреждения образца.

3. Порядок работы по изготовлению образцов с помощью термоусадочной пленки

- Провести разметку керна по фотографиям с учетом результатов РКТ.
- Подготовить все необходимые материалы и контейнеры для образцов, а также сосуды дьюара с жидким азотом.
- Собрать циркуляционную схему станка.
- Выпилить образец в установленном месте, используя коронку соответствующего размера. Образцы цилиндрической формы (на исследование ФЕС) должны выпиливаться аккуратно. Если во время выпиливания будет приложено слишком сильное давление, то сверло может изогнуться и образец деформируется. Убедиться, что струя жидкого азота достаточна для поддержания образцов в замороженном состоянии и удаления шлама (давление в системе не менее 2 атм.).
- Оторцевать образцы до требуемой длины специальной пилой, используя жидкий азот для охлаждения, убедиться, что торцы образца параллельны. Промаркировать оторцованные концы, ничего не перепутав.
- Поместить образец в мини-сосуд дьюара для подморозки.
- Аккуратно подчистить торцы образца от пыли лезвием от бритвы.
- Подготовить рулон пленки из фторопласта («фум» лента) и взвесить его на весах
- Аккуратно обернуть «фум» лентой внахлест, не допуская чрезмерного усилия на образец.
- Поместить образцы в предварительно измеренный (взвешенный) термоусадочный манжет с предварительно измеренными (взвешенными) и точно подобранными торцевыми фильтрами известной толщины. Длина термоусадочного рукава должна быть больше длины образца на 5-7 мм.
- Поместить образец в специальную насадку термофена и нагреть при температуре 200/600⁰С (в зависимости от типа термоусадочной пленки) в течение 5 минут.
- Промаркировать, законсервировать и подготовить к хранению в соответствии с требованиями.

- Результат работ оформляется в виде таблицы, пример ее приведен в Таблице 25 настоящего раздела.

4. Порядок работы по изготовлению образцов с обсадкой в никелевой фольге (для неконсолидированных ГП)

- Выбурить образец с охлаждением коронки с помощью жидкого азота (система подачи азота должна быть непрерывной).
- Аккуратно оторцевать образец на станке. Промаркировать оторцованные концы, ничего не перепутав.
- Поместить образец в мини-сосуд дьюара для подморозки.
- Взять рулон фольги и отрезать 23 см полоску шириной на 5-7 мм большей, чем длина образца.
- Положить полученную ленту на весы и взвесить.
- Также взвесить торцевые сетки.
- Аккуратно подчистить торцы образца от пыли лезвием от бритвы.
- Подготовить рулон полиуретановой пленки («фум» лента) и взвесить его на весах.
- Достать образец из сосуда и аккуратно обернуть «фум» лентой внахлест, не допуская чрезмерного усилия на образец.
- Поместить по торцам образца металлические сетки, сначала с крупной ячейкой, затем с мелкой.
- Аккуратно завальцевать фольгу по торцам образца.
- Получившийся образец вставить в кернодержатель и обжать при давлении 200 PSI.
- Достать образец и нанести маркировку.
- Повторно взвесить рулон с «фум» лентой.

Готовый образец показан на рисунке 38.

В результате работ составляется таблица аналогичная Таблице 25.



Рис. 38 Образцы изготовлены с помощью обсадки в термоусадочную пленку и никелевую фольгу

Таблица 25
Результаты замеров геометрических размеров образцов

Sample ID	Диаметр, см	Длина, см	Истинный диаметр	Истинная длина	Вес упакованного образца, г	Вес термоуса дочной пленки, г	Вес фторопластовой планшайбы, г	Вес сетки, г	Истинный вес образца	Volume [ml]	Объем всех составляющих	Истинный объем ТВЕРДОЙ ФАЗЫ
16313/12	2,981	4,238	2,937	3,426	50,083	2,025	8,23	0,30	39,5283	19,8203	4,6593	15,16
16314/12	3,031	4,164	2,987	3,352	49,228	1,912	8,23	0,31	38,7764	19,4686	4,6067	14,86
16315/12	3,700	5,560	3,656	4,706	102,467	3,413	13,93	0,51	84,6142	39,2902	7,8798	31,41
16316/12	3,668	4,912	3,624	4,058	91,928	2,932	14,51	0,54	73,9456	35,4081	7,9126	27,50
16317/12	3,693	5,316	3,649	4,462	96,864	3,121	13,93	0,52	79,2928	37,7245	7,7422	29,98
16318/12	3,697	4,957	3,653	4,103	89,401	2,906	13,81	0,55	72,1352	34,8494	7,5900	27,26
16319/12	2,961	4,372	2,917	3,560	50,776	1,973	8,21	0,33	40,2626	19,9932	4,6297	15,36
16320/12	2,988	4,354	2,944	3,542	51,686	1,990	8,19	0,30	41,2058	20,3376	4,6251	15,71
16321/12	3,702	5,701	3,658	4,847	106,483	3,443	14,63	0,52	87,8899	41,4643	8,2066	33,26
16322/12	3,705	4,606	3,661	3,752	84,472	2,729	14,46	0,55	66,7327	33,0270	7,7949	25,23
16323/12	3,632	5,368	3,588	4,514	95,545	3,194	13,76	0,53	78,0610	37,2641	7,7026	29,56
16324/12	3,687	5,095	3,643	4,241	91,806	3,024	13,74	0,53	74,5116	35,8405	7,6129	28,23
16325/12	2,977	4,363	2,933	3,551	51,033	1,988	8,15	0,31	40,5850	20,1233	4,6075	15,52
16326/12	2,956	4,295	2,912	3,483	50,411	1,952	8,19	0,30	39,9692	19,9452	4,6068	15,34
16327/12	3,671	5,531	3,627	4,677	99,202	3,239	14,00	0,53	81,4335	38,6760	7,8304	30,85
16328/12	3,713	4,817	3,669	3,963	87,470	2,861	13,87	0,54	70,1991	34,2177	7,5941	26,62
16329/12	2,903	4,151	2,859	3,339	47,211	1,941	8,24	0,31	36,7198	18,7104	4,6252	14,09
16330/12	2,921	4,065	2,877	3,253	46,453	1,903	8,34	0,35	35,8601	18,4107	4,6564	13,75
16331/12	3,712	4,325	3,668	3,471	79,266	2,564	13,70	0,53	62,4725	31,1761	7,3756	23,80
16332/12	3,750	5,083	3,706	4,229	95,221	3,056	13,64	0,53	77,9953	37,2313	7,5834	29,65

5. ЭКСТРАКЦИЯ ОБРАЗЦОВ КЕРНА

До проведения лабораторных исследований по измерению пористости и проницаемости необходимо полностью удалить первоначальные флюиды из образца. Очистка порового пространства образцов керна достигается путем промывки или контактной очистки с применением различных растворителей для экстрагирования углеводородов, воды и бурового раствора. Существует большое количество различных способов экстракции образцов керна. Наиболее массовым способом экстракции является очистка образцов керна в аппарате Сокслета, данный метод наиболее массовый и универсальный.

В практике лабораторных исследований применяются также CO₂ экстракторы, центрифужные экстракторы, проточные экстракторы и т.п.

В CO₂ экстракторах очистка керна производится попеременной закачкой растворителя и углекислого газа в образцы керна, способ не рекомендуется для очистки керна подверженного разрушению при контакте смеси пластового флюида и углекислого газа, а также для очистки неконсолидированных, слабokonсолидированных, нефтематеринских ГП.

Центрифужные экстракторы используют центробежную силу для промывки образца керна, в результате чего происходит замещение нефти (и воды). Центрифужные экстракторы не рекомендуются для массовой очистки образцов керна, они обладают пониженной эффективностью экстракции по сравнению с аппаратами Сокслета (Colin McPhee).

Проточные экстракторы осуществляют очистку образцов керна загруженных в индивидуальные кернодержатели прокачкой растворителя. Метод очистки достаточно трудоемкий, и применяется только при подготовке образцов керна к специальным петрофизическим или фильтрационным исследованиям.

В качестве растворителей используют хлороформ, четыреххлористый углерод, бензол, толуол, керосин, спирт, и их смеси. Наиболее массовым растворителем является спиртобензольная смесь в соотношении 1:3, допускаются другие комбинации растворителей.

Наиболее распространенным способом оценки степени загрязнения растворителя является визуальная оценка на основе сопоставления цвета растворителя с типовой шкалой (рисунок 39).



Рис.39 Шкала оценки загрязнения растворителя

5. Сушка образцов керна

После проведения экстракции образцы необходимо поставить в вытяжной шкаф для выветривания. Время выветривания составляет порядка 24 часов. Далее образцы поступают

на участок сушки. Образцы следует сушить до тех пор, пока их масса не станет постоянной. Время на сушку образцов может очень сильно варьироваться, тем не менее, обычно оно составляет не менее четырех часов.

В Таблице 26 указаны основные рекомендуемые методы сушки образцов керна для различных типов ГП.

Таблица 26
Методы сушки образцов керна

Тип ГП	Метод/оборудование	Температура, °С
Песчаник/алевролит (низкое содержание глин)	Стандартная печь	105
Песчаник/алевролит (высокое содержание глин)	Печь с контролем влажности Относительная влажность 40%	63-70
Карбонаты	Стандартная печь	105
Гипсоносные	Печь с контролем влажности Относительная влажность 40%	60
Глины или другие ГП с высоким содержанием глинистого материала	Печь с контролем влажности Относительная влажность 40-60% Стандартный вакуум	60
Нефтематеринские (низкое содержание глин)	Стандартная печь	105
Нефтематеринские (высокое содержание глин)	Печь с контролем влажности Относительная влажность 40%	63-70