# ВОССТАНОВЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИСССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

**O. SERRA**

## Глава 1. ВВЕДЕНИЕ

Наше современное общество испытывает постоянную потребность в сырье и энергии. Следовательно, для их открытия и разработки требуются непрекращающиеся усилия, и при этом лучше обратиться к геологии, чем полагаться на случай.

По определению, геология – это «*наука о планете Земля. Она рассматривает происхождение планеты, материал и морфологию Земли, ее историю и процессы, которые действовали (и действуют), оказывая влияние на очертания Земли в прошлом и в настоящем*» (Glossary of Geology, 1980).

Целью данной работы, даже когда она включает фундаментальное исследование, является лучшее понимание факторов, которые сформировали и преобразовали нашу планету, законов, определяющих образование пород, их распределение, преобразование, деформацию, а также законов, определяющих накопление сырья, которое представляет экономический интерес. Это научное руководство создано для того, чтобы помочь открывать дешевые минералы и энергоресурсы, в которых мы так нуждаемся.

Работа геолога (Таблица 1-1) состоит в следующем:

- полное и объективное наблюдение и описание пород и геологических явлений;
- интерпретация этих наблюдений путем их сопоставления:
  - с наблюдениями, выполненными на поздних сериях или явлениях (на существующих моделях)
  - с наблюдениями, выполненными на воссозданных моделях или лабораторных экспериментах
  - с наблюдениями, выполненными на древних формациях, которые детально исследованы и хорошо поняты (древние модели и применение теорий *актуализма* или *униформитарианизма* (uniformitarianism) – см. Hutton, 1788).

Таблица 1-1

*Общий подход для анализа осадочных пород*

| 1-Наблюдение и описание осадочного тела | 2-Сопоставление с текущими моделями или с хорошо понятными древними моделями | | 3-Интерпретация | 4-Прогнозирование |
|---|---|---|---|---|
| Срстав<br>Текстура<br>Цвет | Литология | Фации | Условия осадконакопления и палеогеография | Местоположение,<br>Объем,<br>Распространение минеральных ресурсов |
| Окаменелости<br>Осадочная структура | Палеонтология<br>Палеотечения | | | |
| Мощность<br>Протяженность в латеральном направл. | Геометрия | | | |
| Развитие по вертикали<br>Развитие по горизонтали | Отношения с соседними осадочными телами | Комплексы<br>Ритмы<br>Циклы | | Присутствие,<br>Характер,<br>Распространение барьеров проницаемости |
| Структурный наклон<br>Складки<br>Трещины, стилолиты<br>Разломы | Тектонические элементы и напряжения | → | Структура | |

В случае исследования осадочных пород, эта интерпретация должна привести к восстановлению географических и климатических рамок и, следовательно, к пониманию условий, в которых формировались породы. Исходя из этого, геолог попытается сделать следующее:

- предсказать зоны, наиболее благоприятные для накопления минеральных ресурсов,
- определить распространение ресурсов,
- оценить объем минеральных ресурсов, основываясь на расчете их содержания в породах.

## ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Чтобы продолжить исследование, геолог использует три источника информации.

### Обнажения (Карьеры, траншеи, канавы, туннели, шахты)

В определенных типах исследовательских работ, ценным источником геологической информации являются природные или искусственные обнажения (Рис.1-1). В других исследованиях (в области нефтяной и угольной промышленности, геотермальных ресурсов), информация обнажений посте-

**Рис.1-1. Фотография обнажения в Peira-Cava (юг Франции) демонстрирует несколько комплексов массивных песчаников, переслаивающихся с листоватыми глинистыми сланцами, которые были отложены в глубоководных морских условиях (снимок сделан Serra).**

пенно была вытеснена данными бурения, или дополнена поверхностными геофизическими методами (грави- и магниторазведкой, сейсморазведкой) или промыслово-геофизическими методами (ГИС).

Это вызвано тем, что в современных разведочных работах методики бурения и геофизические методы используются намного чаще, не только в нефтяной промышленности, но и для создания подземных хранилищ, или для поисков угля, урана или металлических руд и геотермальных ресурсов. С ростом глубины объектов поиска, обнажения как источник информации используются реже, поскольку установленные по ним экстраполяции менее надежны. Кроме того, повышается геологическая сложность объектов поиска (стратиграфических ловушек, барьеров проницаемости флюидов, размера и глубины структур и т.д.).

В результате, на сегодняшний день, основная часть информации, касающейся геологических осадочных бассейнов (особенно глубинных), поступает из бурения и геофизики. Согласно Illing (1946), «…если геология внесла значительный вклад в рост нефтяной промышленности, ее долг не является односторонним. Геология обязана нефтяной промышленности распространением знания и возросшей эффективностью ее методов…»

## Поверхностные геофизические методы

Используя методы современной поверхностной геофизики, можно получить картины разреза в двух и в трех измерениях. Эти методы представляют собой весьма необходимые средства исследования разреза, поскольку дают прямую информацию не только о форме и расположении слоев, но и об их природе, петрофизических свойствах и иногда даже о содержании флюидов (сейсмофации, «яркое пятно» и т.д.). Гипотезы, выдвинутые в результате интерпретации, должны быть проверены бурением. Преобразование данных поверхностных геофизических методов в результаты геологической интерпретации буде намного проще и надежнее, если оно поддерживается данными ГИС. Таким образом, первые должны быть коррелированы с последними. Другими словами, данные ГИС обеспечивают связь между геофизикой и геологией:

- *диаграммы ГИС являются единственными средствами обеспечения точного преобразования данных времени в данные глубин. Они позволяют переходить от данных амплитуды и частоты сигнала к седиментологическим или экономическим данным (к фациям, пористости, содержании флюидов и т.д.).*

Фактически, измерения плотности и времени пробега акустического сигнала, полученные в скважине с помощью каротажных приборов, делают возможным, после ввода поправок, определение точных значений акустического импеданса и коэффициента отражения для каждой границы в формациях. Кривая отражательной способности, построенная по данным АК и плотностного каротажа, является основанием для установления теоретического сейсмического разреза посредством GEOGRAM*, программы, которая при корреляции с реальными сейсмическими разрезами позволяет преобразовать их в область глубин, и позволяет использовать сводную каротажную диаграмму.

---

* Марка Schlumberger

Вертикальный сейсмический профиль (ВСП), полученный в скважине, дает лучший вид и точную глубину каждой отражающей поверхности, ее сигнатуру и влияние на нижележащие отражающие поверхности. Он позволяет переходить от отражающих границ к пластам, обеспечивая точное преобразование глубины во время и наоборот. Например, ВСП позволяет «видеть» слои, которые залегают ниже формаций с высоким коэффициентом отражения (ангидрит, галит, плотный доломит или известняк), или с сильным затуханием (недоуплотненные глинистые сланцы), или формации ниже забоя скважины. Кроме того, ВСП дает возможность устранить кратные волны, которые часто усложняют интерпретацию сейсмических разрезов. ВСП можно также использовать для анализа свойств пород посредством исследования сейсмических волн (метод DSA[*] – direct signal analysis, прямого анализа сигнала). Графическое изображение данных ГИС в функции времени (а не глубины) можно легко получить и воспроизвести ВСП и GEOGRAM (рис.1-2).

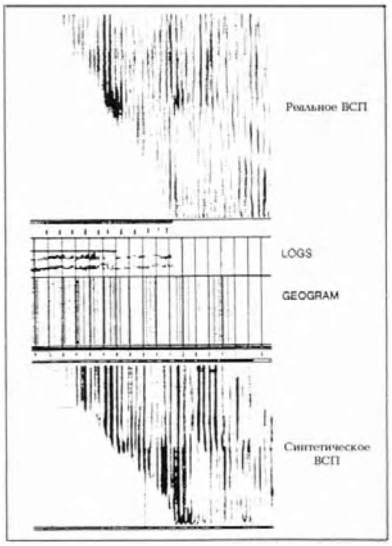



**Рис.1-2. Составное изображение различных геофизических откликов; диаграммы ГИС во временном масштабе показаны вместе с GEOGRAM, ВСП и синтетическим ВСП**.

## Бурение

В процессе бурения мы получаем два вида данных:

- данные, связанные с образцами пород (керн, в том числе из стенки скважины, шлам), или с образцами флюида;
- данные, представленные геофизическими измерениями, выполненными в скважинах приборами.

Стандартные керны, если они отобраны по всему стволу скважины, образуют выборку хорошего качества, которая представит достаточное количество данных. К сожалению, в силу экономических и технических причин, отбор керна может выполняться редко, в частности в определенных условиях бурения или в определенных типах формаций. Следовательно, часто образцы пород представлены только шламом, полученным в процессе бурения скважины, или боковым керном, отобранным с помощью стреляющего грунтоноса, который опускается на кабеле.

В некоторых случаях, имеется значительная неопределенность относительно глубины полученного шлама; к тому же бывает сложно восстановить составные части и мощность литологической колонки, имея только шлам. Это вызвано тем, что в процессе размывания или циркуляции происходит завихрение, образование каверн и потеря некоторых компонентов (зерен размера алеврита, солей). Пониженное содержание этого типа образцов пород в общем случае не позволяет выполнить полный анализ и делает наблюдения незавершенными.

[*] Марка Schlumberger

Керн также может быть извлечен не полностью, или вообще отсутствовать; кроме того, в образцах может появиться трещиноватость под действием механических нагрузок.

Таким образом, геолог часто испытывает недостаток репрезентативных или высококачественных образцов (или вообще их отсутствие). Керн, отобранный из стенки скважины, может частично компенсировать этот недостаток, но, из-за его малого размера, наблюдения или замеры бывают неточными, если сравнивать с наблюдениями и замерами, выполненными на более крупных образцах. В результате этих ограничений, возрастает значимость второго типа информации (которая получена по данным ГИС), особенно если учитывать улучшение качества и разнообразия скважинных приборов и методов интерпретации. Доказано, что второй тип информации не только дополняет предыдущие геологические данные, но также оказывает неоценимую помощь в синтезе данных.

Данные ГИС представляют особый интерес в силу следующих причин:

- они являются единственным источником точной информации о глубине и о кажущейся, и даже истинной мощности пластов – если имеются данные наклономера.
- они дают почти непрерывный анализ формаций (одна выборка на каждые 15 см для традиционных ГИС в открытых скважинах; эту частоту можно повысить до одной выборки на каждые 3 см, и одной выборки на каждые 5 мм или даже 2.5 мм для наклономера). Напротив, информация, полученная из керна, является более прерывистой, и часто разбросана по глубине. Даже если керн отбирается по всему стволу, анализы, выполняемые на каждом образце, взятом из керна, не являются систематическими.
- данные ГИС анализируют объем породы, который намного больше объема, представленного керном или пробкой и, следовательно, шламом. Таким образом, данные ГИС лучше представляют средние свойства породы, особенно неоднородной.
- свойства пород измеряются в условиях глубинного залегания.
- информация, обеспечиваемая данными ГИС, является:
  - количественной и, следовательно, позволяет думать о геологических объектах, которые представлены замерами, полностью используя возможности компьютера для обработки информации;
  - точной, даже если иногда присутствуют ошибки;
  - объективной и повторяющейся;
  - постоянной; там, где керны разрушены и не могут быть анализированы, имеется возможность повторной интерпретации данных ГИС с учетом новых идей, новых методик или новых параметров;
  - быстро получаемой, даже непосредственно на скважине;
  - экономичной: отбор и анализ керна требуют больших затрат времени и средств, и требуемая информация получается только через несколько недель.
- замеры, выполненные с помощью скважинных приборов, сильно зависят от геологических параметров. Следовательно, получаемая с их помощью информация представляет значительный интерес для геологов.

Таблица 1-2 представляет собой попытку установить иерархию в воздействии на показания каждого прибора трех основных геологических параметров: состав, структуру и текстуру. Влияние флюидов также показано, поскольку в условиях естественного залегания флюиды неотделимы от пород.

Таблица 1-2

*Сравнительная реакция данных ГИС на четыре основные геологические параметра*

(из Serra & Abbot, 1980)

| ТИП ГИС | СОСТАВ | ТЕКСТУРА | ОСАДОЧНАЯ СТРУКТУРА | ФЛЮИД |
|---|---|---|---|---|
| СОПРОТИВЛЕНИЕ | ** | *** | ** | *** |
| ПС | * | ** | *** | *** |
| Высокочастотный электромагнитный каротаж (время распространения) | ** | * | * | *** |
| Высокочастотный электромагнитный каротаж (затухание) | ** | * | * | *** |
| ГК | ** | * | * | * |
| Спектрометрический гамма-каротаж | *** | * | * | * |
| Нейтронный каротаж | ** | ** | * | ** |
| FDC.LDT ( $\rho b$ ) | *** | ** | * | *** |
| LDT (Pe) | *** | * | * | * |
| Импульсный нейтронный каротаж $\sum$ | ** | ** | * | *** |
| ВНС ( $\Delta t$ ) | ** | *** | * | ** |
| ВНС (Затухание) | * | ** | ** | *** |
| GST, GLT | *** | *** | * | *** |
| HDT или SHDT, FNS | * | *** | *** | * |
| Кавернометрия (CAL) | * | ** | * | * |
| Высокоточный скважинный термометр (HRT) | ** | *** | *** | ** |

Можно, имея на это основание, прийти к выводу, что в процессе ГИС происходит «фотографирование» формаций, вскрытых скважиной. Данные ГИС представляют спектральную картину, хотя и неполную, которая является практически непрерывной и всегда постоянной, объективной и обладающей количественными характеристиками. Несложно понять, что «картина» станет яснее, если сделать замеры более многочисленными и разнообразными. Можно сказать, что скважинные приборы являются для описания пород на глубине тем же, чем глаза и геологические инструменты (молоток, увеличительное стекло и т.д.) являются для описания обнажений на поверхности. Следовательно, данные ГИС можно рассматривать как особенности проявления (сигнатуру) пород, поскольку эти данные зависят от физических свойств пород. Данные ГИС должны рассматриваться как геологические данные, и какая-либо их интерпретация представляет собой геологическую интерпретацию, осознаем мы это или нет.

Скважинные приборы измеряют физические характеристики формаций, пройденных скважиной. Эти характеристики являются результатом, с одной стороны, физических, химических и биологических (а, следовательно, географических и климатических) условий, которые существовали при осаждении и которые описывают условия осадконакопления (Таблица 1-3). С другой стороны, по физическим характеристикам можно судить об эволюции, которую претерпели формации на протяжении своей геологической истории.

Следовательно, необходимо *наблюдать, описывать, анализировать и интерпретировать «объекты» ГИС, как мы это делаем с любым другим геологическим объектом*. Далее мы попытаемся объяснить и продемонстрировать это положение.

Следует отметить, что интерпретация данных ГИС должна не только поддерживаться их точным и детальным анализом, но и основываться на твердом знании принципов работы приборов и геологических концепций.

Важно не только понимать, как получаются измерения физических параметров, но и знать, какой геологической действительности они соответствуют.

Таким образом, интерпретация данных ГИС состоит из их «преобразования» параметров кривых в геологические данные. Для того чтобы сделать это, нам необходим хороший «словарь» или «переводчик», который знает два «языка».

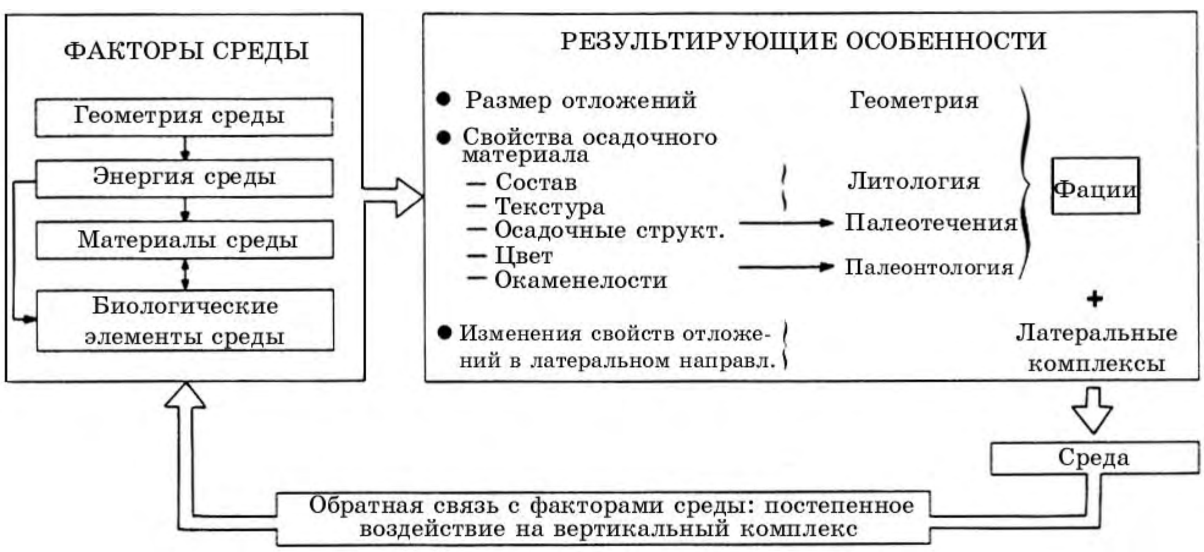
Фактически, для того, чтобы знать, способны ли данные ГИС представить информацию, касающуюся минералогического или элементного состава, текстур, осадочных или тектонических структуры, фаций, стратиграфии…, сначала мы должны определить, к чему относятся эти геологические термины.

Только после этого мы можем сказать, как и в какой мере эти геологические параметры влияют на сигнал прибора и, на основании этого, вывести геологические параметры. Условия осадконакопления характеризуются типичной фациальной ассоциацией, а сама фация определяется следующими параметрами: составом, текстурой, цветом, окаменелостями, осадочной структурой и геометрией. Отсюда, следует начать с демонстрации того, как данные ГИС могут предоставлять информацию, связанную с этими параметрами, а затем переходить к описанию модели электрофаций, соответствующей каждой обстановке осадконакопления.

Таблица 1-3

*Соотношение между геометрией, фациями, комплексами и условиями осадконакопления*

(по Krumbein & Sloss, 1963)



# Глава 2. ИНФОРМАЦИЯ О СОСТАВЕ ПОРОД
## (Описание пород)

Тип породы и ее состав – это характеристики, которые геолог пытается определить в первую очередь, и их знание позволяет назвать породу. Кроме того, это первое, что интересует геолога при исследовании керна.

Следовательно, анализируя данные ГИС, геолог попытается восстановить вертикальный литологический профиль. Восстановление имеет целью определить:

- кажущуюся мощность и реальную мощность каждой *электрофации* или *электрокомплекса*[1];
- тип породы и минералогический состав каждой электрофации или электрокомплекса.

Чтобы восстановление было надежным, интерпретатор или *аналитик данных ГИС* должен, прежде всего, иметь по возможности полный набор кривых, а также хорошее описание керна и шлама. Далее, у него должны быть основные концепции, необходимые для понимания проблем, вовлеченных в процесс анализа данных ГИС. Все это будет учитываться при выборе количественной интерпретационной модели.

Вполне очевидно, что интерпретация вулканической или гранитной породы будет проходить по-другому (и, следовательно, потребует иной модели), нежели интерпретация осадочной породы, например, глинистого песка, который состоит из смеси кварца, полевого шпата, каолинита, иллита и монтмориллонита. Более того, если учесть, что количество данных и зарегистрированных диаграмм часто бывает ограниченным, не всегда возможно одновременно определить тип присутствующих минералов и их относительное содержание, особенно в случае сложного состава.

Следовательно, часто бывает необходимо получить дополнительную информацию, полученную в результате исследования керна, анализа шлама, и знать местную геологию, чтобы установить минералогическую модель, а затем ограничить исследования с целью определения процентного содержания каждого из основных минералов, предполагаемых в породе.

## *2.1. СОСТАВ ПОРОД*

*Состав* – это «то, из чего состоит порода, с точки зрения видов и количеств присутствующих минералов» (Glossary of Geology).

Состав породы может быть выражен двумя различными способами.

[1] Приставка *электро* добавлена к чисто геологическим терминам, чтобы избежать путаницы с ними, а также, чтобы показать, что термины относятся к скважинным измерениям. Это, однако, не означает, что термин применим только к электрическим измерениям.

### 2.1.1. Элементный и химический состав

Элементный и химический состав получается путем химического анализа в лаборатории, с применением дифракции рентгеновских лучей или активации нейтронами (последний метод является более точным). Результаты могут быть выражены в единицах процентного содержания присутствующих элементов, или их окислов; кислород прочно связан с каждым из распространенных элементов.

Исследование относительной распространенности элементов показывает, что лишь 8 из 103 известных элементов составляют 99% общей массы (рис.2-1).

### 2.1.2. Минералогический состав

Несмотря на свою пользу (далее мы увидим применение таких приборов как NGS* для спектрометрического гамма-каротажа или NGS* для индуцированной спектроскопии), элементный состав породы не является лучшим выражением ее состава, с точки зрения как седиментологии, так и анализа данных ГИС. Фактически, порода представляет собой *смесь минералов*. Минералы придают породе физические характеристики, которые обычно измеряются скважинными приборами – плотность, сопротивление, время пробега звуковой волны, сжимаемость и т.д. Следовательно, эти свойства определяются следующими факторами:

- индивидуальными характеристиками каждого из минералов, образующих породу,
- относительным содержанием каждого минерала,
- распределением и связью минералов.

В силу этой причины, предпочтительно выражать состав породы в минералогических терминах.

Идентифицировано более 2,200 минералов, но в своем большинстве они являются редкими, и встречаются в породах только в виде следов.

Различные типы пород образованы меньшим количеством минералов.

Согласно Krynine (1948), для образования 99% всех осадочных пород необходимо лишь двадцать минералов, которые перечислены в Таблице 2-1.

---

* Марка Schlumberger

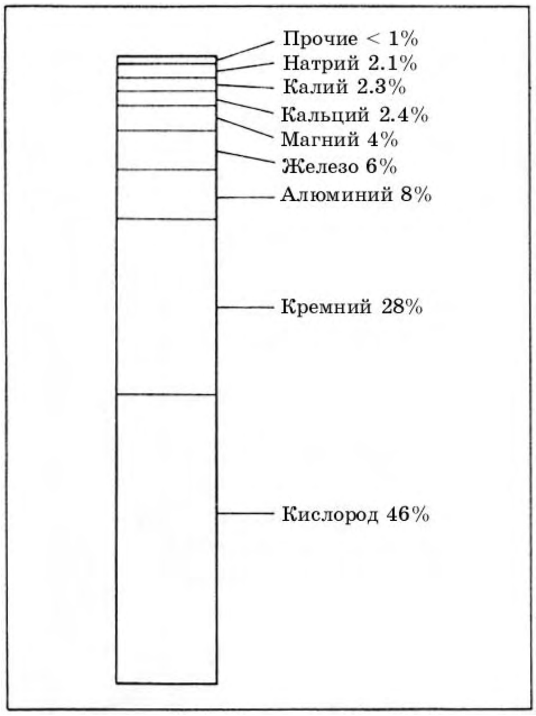



**Рис.2-1. Относительная распространенность элементов в земной коре (из Press & Siever, 1978, рис.1-12).**

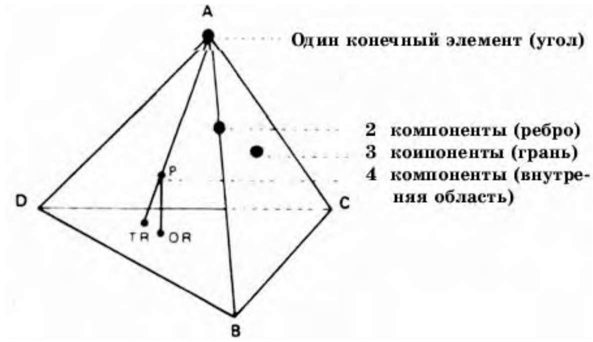



**Рис.2-2. Представление состава пород с помощью тетраэдра (из Krumbein, 1954).**

Таблица 2-1

*Основные минералы, обнаруженные в осадочных породах*

(из Krynine, 1948)

| | Основные компоненты | | Акцессорные минералы |
|---|---|---|---|
| | Содержание в породе более 10% | Содержание в породе менее 10% | (содержание в породе менее 1%) |
| Обломочные минералы | КВАРЦ<br>Микроклин<br>ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ<br>(каолин-боксит)<br>ТОНКОЗЕРНИСТЫЕ СЛЮДЫ<br>(иллит, серицит, мусковит) | ДЕТРИТОВЫЙ КРЕМЕНЬ<br>Натриевый плагиоклаз<br>(альбит-олигоклаз)<br>Грубозернистые слюды:<br>мусковит, биотит, хлорит<br>Гематит<br>Лимонит | «ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ»: МАГНЕТИТ, ильменит, ДЕТРИТОВЫЙ ЛЕЙКОКСЕН<br>СТАБИЛЬНАЯ ГРУППА: ЦИРКОН, ТУРМАЛИН, рутил<br>НЕСТАБИЛЬНАЯ ГРУППА: АПАТИТ, ЭПИДОТ,<br>ГРАНАТ, ГОРНБЛЕНДИТ<br>дистен, силлиманит, ставролит, титанит, циозит<br>СЛЮДЫ: часто проявляются в виде акцессорных минералов |
| Хемогенные и аутигенные минералы | КАЛЬЦИТ<br>ДОЛОМИТ<br>АНКЕРИТ | КРЕМЕНЬ и опал<br>«ВТОРИЧНЫЙ» КВАРЦ<br>ГИПС и ангидрит, галит<br>Некоторое количество гидрослюд иллит-серицит-хлоритового ряда<br>Фосфаты и глауконит<br>Сидерит и некоторое количество железных руд | АНАТАЗ, аутигенный рутил и лейкоксен |

*Минералы, набранные заглавными буквами, являются более распространенными внутри каждой группы

Важным моментом является то, что *осадочные породы обычно состоят из смеси, в крайнем случае, четырех минералов или основных компонентов,* т.е. их содержание превышает 5%. Концепция *«конечных членов»*, или основных компонентов, введенная Krynine (1948) и расширенная Pettijohn (1949) с целью описания состава пород, основана на этом наблюдении.

Расширенная форма концепции предполагает, что состав любой осадочной породы в единицах минералов может быть представлен точкой внутри треугольника или тетраэдра, вершины которого соответствуют конечным членам в чистом состоянии (рис.2-2).

## *2.2 СОСТАВ ПОРОД ПО ДАННЫМ ГИС*

Имеется множество различных измерений в скважинах, которые реагируют на состав пород. Поэтому соответствующий набор данных ГИС упрощает определение состава пород.

В использовании данных ГИС для определения состава пород имеются два подхода.

### 2.2.1 Определение элементного состава

Недавно введенная аппаратура гамма-спектрометрии (естественного и наведенного гамма-излучения) позволяет выявлять и, в благоприятных случаях, измерять относительное содержание следующих элементов:

- калия (K), тория (Th) и урана (U) – в случае спектрометрии естественного гамма-излучения, с применением аппаратуры NGS* (рис.2-12a)
- углерода (C), кислорода (O), кремния (Si), железа (Fe), кальция (Ca), серы (S), водорода (H) и алюминия (Al) – в случае спектрометрии наведенного гамма-излучения, или путем неупругого взаимодействия нейтрон-ядро, или путем поглощения тепловых нейтронов с помощью аппаратуры GST*, или путем активации с помощью новой аппаратуры Aluminium Clay Tool (ACT*)[1]

Из приведенного выше списка следует, что данные приборы позволяют определять процентное содержание большей части распространенных элементов (исключением являются магний и натрий). Следовательно, они представляют интерес для прямого определения содержания некоторых элементов, и для более качественного анализа состава совместно с другими приборами (в

---

* Марка Schlumberger

[1] Новый прибор радиоактивного каротажа фирмы Schlumberger, который позволяет определять содержание алюминия в пласте. Пласт подвергается воздействию источника $^{252}$калифорний (Cf), который испускает $10^8$ нейтронов в секунду со средней энергией 2.3 МэВ. Этот источник является более предпочтительным, нежели Am-Be (4.5 МэВ), поскольку уменьшено количество взаимодействий между быстрыми нейтронами и кремнием. Активация алюминия является результатом захвата нейтронов изотопом $^{27}$Al (распространенность в природе 100%), в результате чего получается $^{28}$Al, который распадается, испуская бета-частицы с периодом полураспада 2.27 минуты. Продуктом распада является $^{28}$Si, который испускает гамма-кванты с энергией 1.779 МэВ. Наведенное гамма-излучение регистрируется с помощью детектора NaI, который сходен с детектором, используемым в аппаратуре NGS. Скорость записи составляет 600 футов в час. Прибор имеет два детектора. Детектор, расположенный выше источника, регистрирует естественное гамма-излучение, а детектор, расположенный ниже источника, регистрирует естественное и наведенное гамма-излучение. Разность показаний (до и после облучения) дает выход гамма-излучения, связанный с активацией алюминия. Выход пропорционален содержанию алюминия в пласте. Этот замер, объединенный с содержанием тория и калия, измеренным с помощью NGS, и с содержанием кремния и железа, измеренным с помощью GST, позволяет определить типы глины и классифицировать песчаники (рис.2-3).

частности, речь идет о водородном показателе и о фотоэлектрическом показателе). Приборы, основанные на использовании нейтронов, не обеспечивают обнаружения легких элементов (H, C, O, Si), которые обладают замедляющим действием и выявляются приборами с регистрацией времени спада надтепловых нейтронов, и поглотителей тепловых нейтронов (Gd, B, Li, Cl, Fe), которые выявляются приборами с регистрацией времени спада тепловых нейтронов. Прибор плотностного каротажа (LDT*) дает меру среднего атомного номера компонентов породы.

### 2.2.2 Определение минералогического состава

Как мы видели, породы состоят из смеси минералов. Следовательно, характер кривой ГИС определяется физическими свойствами этих минералов и, в конечном счете, атомными свойствами элементов, их составляющих.

Фактически, особенности кривой представляют собой функцию, с одной стороны, характеристик каждого минерала, присутствующего в породе, и относительного содержания минералов в исследуемой зоне. С другой стороны, особенности кривой определяются процентным содержанием флюидов, занимающих поровое пространство.


**Рис.2-3. Классификация песков, выведенная по данным геохимического каротажа (geochemical log) (из Herron, 1987).**

Если мы принимаем тот факт, что породы редко содержат более четырех различных основных минералов, необходимо иметь лишь предварительные сведения о типах этих минералов и их характеристических параметрах по данным ГИС (например, о плотности, водородном показателе по нейтронному каротажу, фотоэлектрическом сечении, и естественной гамма активности или содержании калия). Такая информация достаточна для расчета относительного содержания минералов по сочетанию показаний приборов LDT, CNL и ГК (или NGS).

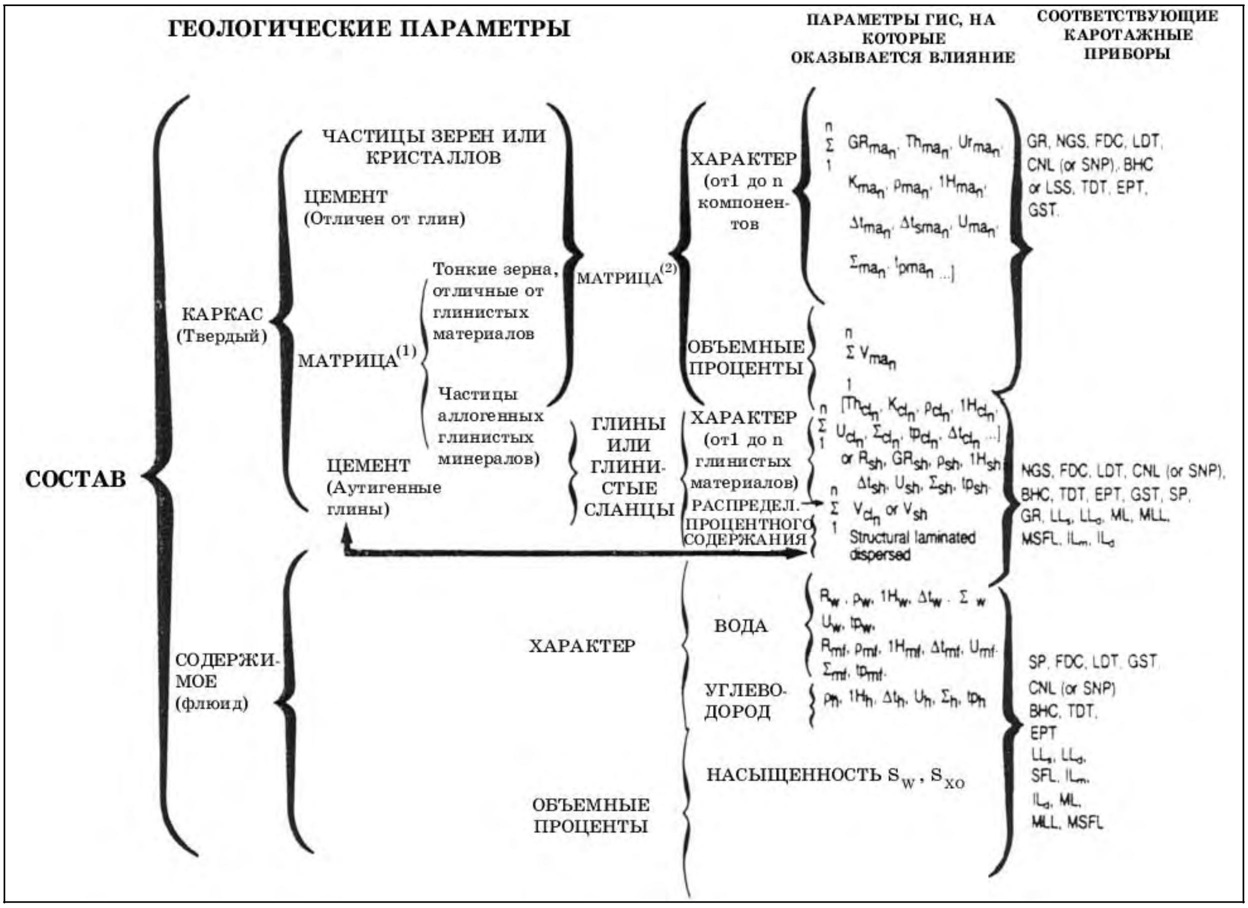
Естественно, состав породы может быть более сложным; в этом случае требуются дальнейшие независимые измерения, а также хорошее знание типов присутствующих минералов. В случае пористых пород, необходимо также знать характер флюидов, присутствующих в порах, и определить их процентное содержание в породе (т.е. пористость), и в порах (т.е. насыщенность), чтобы решить, какие составляющие отклика с чем связаны.

Правильное определение минералогического состава породы гарантирует, с одной стороны, правильный выбор минералогической модели, а, с другой стороны, дает решение системы уравнений (обычно линейных), которые связывают реакцию каждого прибора на параметры с содержанием каждой составляющей – минерала или флюида – в объемных процентах.

* Марка Schlumberger

Выбор минералогической модели делается частично на основе анализа самих диаграмм (для этого используются графики взаимной зависимости – кроссплоты – двух, трех (Z-графики), или даже четырех измерений с использованием цвета; анализ данных наклонометрии; использование электрофаций), и частично на основе вспомогательной информации, такой как исследование шлама, анализ керна и предыдущие сведения о региональной геологии или формациях. Последнее ускоряет выбор модели, адаптированной к каждой формации. Но при отсутствии таких данных, или в порядке перекрестного контроля, можно быстро определить тип породы только по данным ГИС и, следовательно, перейти к выбору минералогической модели.

Таблица 2-2 *Соотношения между составом породы и промыслово-геофизическими параметрами*
(из Serra, 1984, Таблица 1-4а)




## 2.3. *АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИТОЛОГИИ – GEOCOLUMN**

ПРОГРАММА LITHO

Поскольку каждая порода состоит из определенного количества минералов в известных соотношениях, и их промыслово-геофизические параметры обычно хорошо известны, порода может быть представлена *электрофацией* (исключая данные наклономера[2]) и, следовательно, *литофацией*. Электролитофация соответствует объему (гипер-эллипсоиду) в *n*-мерном пространстве, представленном *n* замерами ГИС. Она может быть определена эмпирически, по реакциям кривых на различные типы породы. Теоретически, литофацию можно определить, зная средний минералогический состав породы, определенный статистическим способом по данным лабораторного анализа керна, и реакцию кривой на каждый из минералов или элементов, образующих породу.

В таком случае, метод LITHO сначала устанавливает *«библиотеку литофаций»*.

### 2.3.1. Установление базы данных литофаций

Методика, принятая для определения литофаций и, следовательно, для образования базы данных, включает деление *n*-мерного пространства на гиперобъемы, каждый из которых соответствует основному типу литологии. Если

* Марка Schlumberger

[2] Под наклономером понимается метод ГИС, занимающийся исследованием углов наклона слоистости внутри пластов.

говорить проще, она включает определение на каждом графике границ площади, занимаемой этим типом литологии. Эта площадь зависит от нескольких факторов:

- от состава типа породы в единицах основных минералов (допускается определенная степень изменения содержания), и в единицах вторичных минералов, которые могут оказывать влияние на сигнал прибора (радиоактивность, сечение захвата или водородный показатель). Это может быть даже необходимо для акцессорных минералов, таких как циркон, пирит, уран, бор или гадолиний;
- от структуры, которая, в свою очередь, оказывает влияние на пористость и ее распределение, а также на проницаемость и, следовательно, на все эффекты, которые зависят от них (например, проникновение фильтрата бурового раствора и извилистость);
- от внутренней структуры породы (однородность, слоистость и отсортированность по вертикали);
- от уравнений реакции каждого прибора;
- от неопределенностей измерений. Эти объемы и поверхности должны быть определены практически и теоретически: *теоретически* – с точки зрения знания минералогического состава каждой породы и реакции прибора на эти минералы, и *практически* – сопоставляя кроссплоты реакции данных ГИС на каждую породу с результатами лабораторного анализа керна.

Для каждой литофации определена дискриминантная функция (discriminant function), которая принимает максимальное значение в центре гиперобъема, и равна нулю на его границах.

### 2.3.2. Сопоставление, выбор и установление литологического профиля

Присвоение уровня записи или пласта литофации основывается на положении выбранной точки в *n*-мерном пространстве относительно гиперобъемов, определяющих каждую литофацию. Процедура является статистической и известна как *критерий Байеса* (*Bayes Criterion*). Принцип состоит в определении распределения вероятности значений кривой для каждой литофации, после чего принимается решение, к какой совокупности множество показаний кривой является ближайшим. Возможно несколько вариантов:

- точка попадает внутрь одного гиперобъема. В этом случае неоднозначность отсутствует, и выбор литофации не является проблемой;
- точка принадлежит двум или трем гиперобъемам. Выбирается литофация с наибольшим значением дискриминантной функции. Фактически, рассчитывается вероятность отличия;
- точка не попадает внутрь какого-либо гиперобъема. Возможно несколько объяснений: плохое согласование данных ГИ по глубине; прибор плохо откалиброван или неисправен (например, пропуск цикла в АК); на показания одного из приборов влияет буровой раствор (например, барит на LDT или калий на NGS); на показания одного или более приборов влияют размывы в скважине; неполная база данных литофаций. Все, что требуется в последнем случае – это создать подходящий гиперобъем.

В таких ситуациях, а также в случае тонких пластов используется специальная логика. С одной стороны, программа выбора может руководствоваться определением основной литологии в данном интервале, с целью удаления определенных литофаций из базы данных, и, следовательно, избежания возможной путаницы. Такое поведение программы может быть обеспечено путем анализа других данных (например, кавернометрии, ПС, сопротивления), ввода информации о местной геологии или добавления в геологическую базу данных информации, к которой можно обратиться с помощью методик искусственного интеллекта.

На рис.2-4 и 2-5 показаны два примера результатов, полученных с помощью программы LITHO, которая разработана фирмой Schlumberger. Польза такого анализа для получения быстрого описания вертикального литологического профиля скважины и, в конечном счете, для выбора минералогической модели с целью количественной интерпретации не вызывает сомнений. Результаты могут быть также использованы для целей картопостроения.

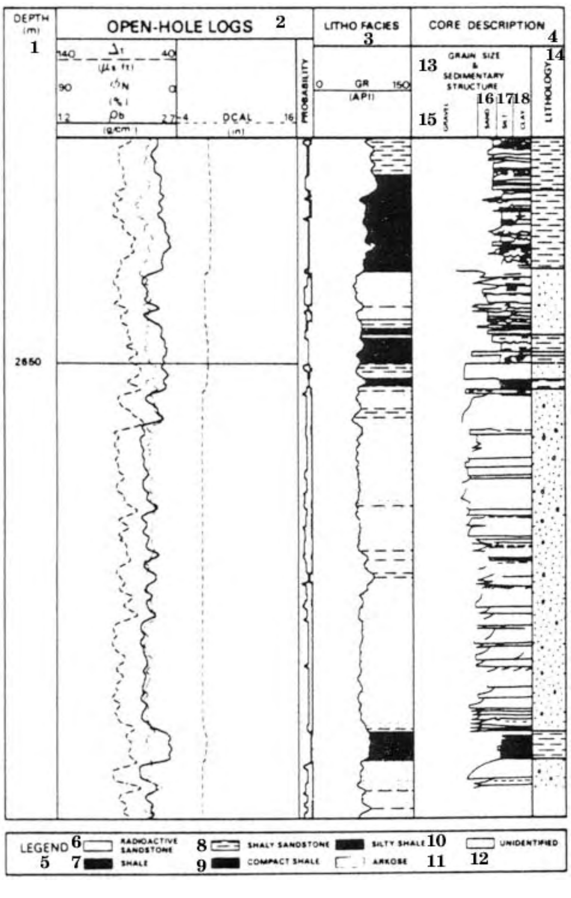



**Рис.2-4. Пример литологического описания, полученного с помощью программы LITHO в детритовом комплексе.**

(1- Глубина (м); 2- Каротажные диаграммы в необсаженной скважине; 3- Литофации; 4- Описание керна; 5- Легенда; 6- радиоактивный песчаник; 7- глинистый сланец; 8- сланцеватый песчаник; 9- плотный глинистый сланец; 10- алевритистый глинистый сланец; 11- аркозы; 12- не идентифицировано; 13- размер зерен и осадочная структура; 14- Литология; 15- галечник; 16- песок; 17- алеврит; 18- глина)

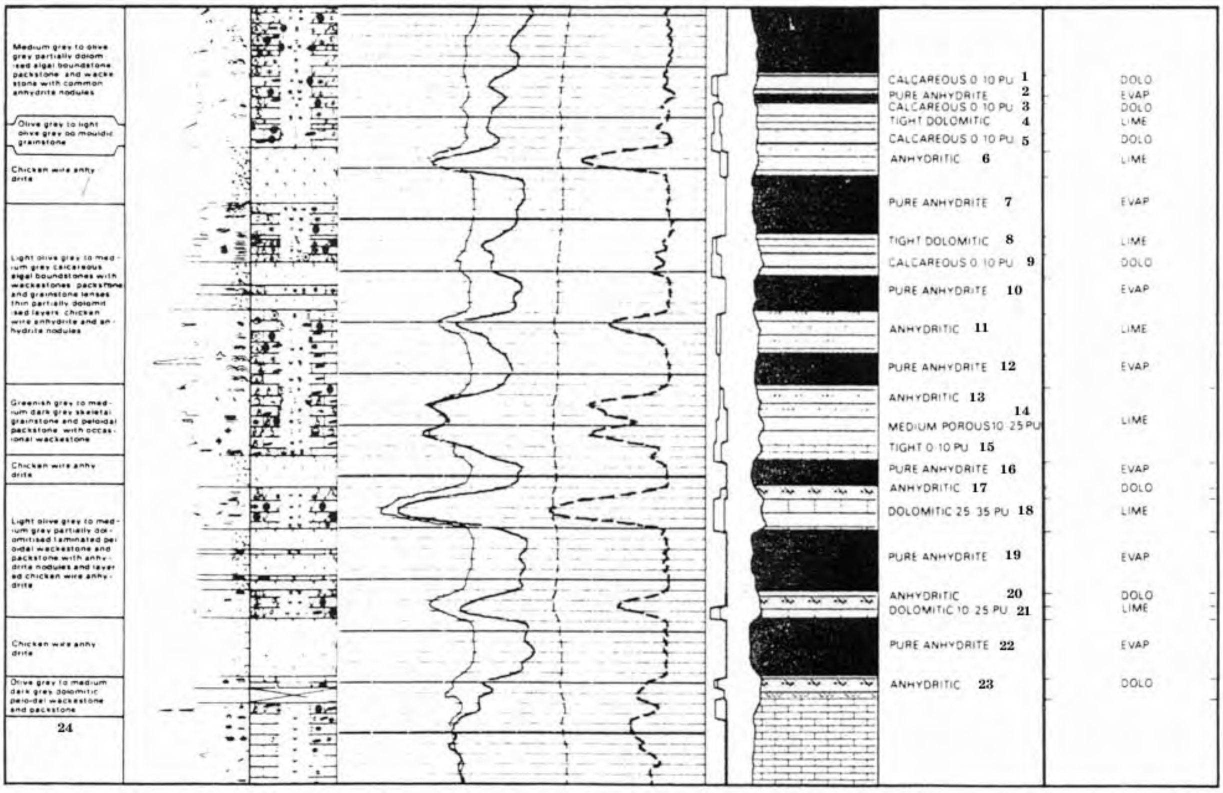



**Рис.2-5. Пример литологического описания, полученного с помощью программы LITHO в карбонатном и в эвапоритовом комплексах. Добавлено сравнение с керновыми данными (из Delfiner *и др.*, 1984).**

(1- известковый; 0-10 ед. пористости; 2- чистый ангидрит; 3- известковый; 0-10 ед. пористости; 4- плотный доломитовый; 5- известковый; 0-10 единиц пористости; 6- ангидритовый…; 7- чистый ангидрит; 8- плотный доломитовый…; 9- известковый; 0-10 единиц пористости; 10- чистый ангидрит; 11- ангидритовый; 12- чистый ангидрит; 13- ангидритовый; 14- среднепористый; 10-25 ед. пористости; 15- плотный; 0-10 ед. пористости; 16- чистый ангидрит; 17- ангидритовый; 18- доломитовый; 25-35 ед. пористости; 19- чистый ангидрит; 20- ангидритовый; 21- доломитовый; 10-25 ед. пористости; 22- чистый ангидрит; 23- ангидритовый…; DOLO = доломит; EVAP = эвапорит; LIME = известняк;24: Средне-серый до оливково-серого, частично доломитизированный водорослевый баундстон[1], пакстон и ваккит с распространенными желваками ангидрита; Грейнстон, являющийся результатом растворения, оливково-серый до светлого оливково-серого; Chicken wire ангидрит; Светлые оливково-серые до средне-серых известковые водорослевые баундстоны, с линзами ваккита, пакстона и грейнстона, тонкие, частично доломитизированные слои chicken wire ангидрита и желваки ангидрита; Зеленовато-серый до среднего темно-серого скелетный грейнстон, и пелоидный пакстон со случайным ваккитом; Chicken wire ангидрит; Светлый оливково-серый до средне-серого частично доломитизированный листоватый пелоидный ваккит, и пакстон с желваками ангидрита и слоистый chicken wire ангидрит; Chicken wire ангидрит; Оливково-серый до среднего темно-серого доломитовый пелоидный ваккит и пакстон.

## *2.4. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

[1] Осадочная карбонатная порода, в которой скелетные остатки были сцементированы при образовании породы, и сохранились в том положении, в каком они росли. *Dunham R.J.* (1962). Amer. Assoc. Petrol. Geologists Mem. (Ed. *W. E. Ham*), 1, 121.

ADAMS, J.A.S. & GASPARINI, P. (1970). -Gamma-ray spectrometry of rocks. *Elsevier Publ. Co., Amsterdam.*

ADAMS, J.A.S. & WEAVER, R. (1958). - Thorium to Uranium ratio as indicator of Sedimentary Processes: examples of concept of Geochemical facies. *Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **42** *, 2.*

BARTH, T.F.W. (1952). - Theoretical Petrology. *John Wiley & Sons, Inc., New York.*

BLATT, H., MIDDLETON, G. & MURRAY, R. (1980). - Origin of Sedimentary Rocks. 2d ed. *Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.*

CAILLERE, S. & HENIN, S. (1963). — Minéralogie des argiles. *Masson, Paris.*

CLAVIER, C. & RUST, D.H. (1976). - MID-Plot: A new Lithology Technique. *The Log Analyst,* **17,** *6, p. 16.*

DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1962). — Rock-forming Minerals. Vol. 3. Sheet Silicates. *Longwan, London.*

DELFINER, P., PEYRET, O., & SERRA, O. (1984). - Automatic determination of lithology from well logs. *59th ann. Techn. Conf. of SPE of AIME, Houston, paper SPE 13290.*

EDMUNDSON, H. & RAYMER, L.L. (1979). -Radioactive parameters for Common Minerals. *SPWLA, 20th Ann. Log. Symp. Trans., paper O.*

FELDER, B. & BOYELDIEU, C. (1979). - The Lithodensity Log. *SPWLA, 6th Europ. Symp. Trans., paper O.*

FRIEDMAN, G.M. & SANDERS, J.E. (1978). -Principles of Sedimentology. *John Wiley & Sons, New York.*

GARRELS, R.M. & MACKENSIE, F.T. (1971). -Evolution of Sedimentary rocks. *Norton, W.W. & Co, New York.*

GRIM, R.E. (1968). — Clay Mineralogy. McGraw-Hill Co., New York.

HERRON, M.M. (1987). - Sand Class : Geochemical Classification of terrigenous Sands and Shales from Core or Log Data. *Journ. Sedim. Petrology.*

KRUMBEIN, W.C. (1959). - The tetrahedron as a facies mapping device. *J. Sed. Petrol.,* **24** *, 1, p. 3-19.*

KRUMBEIN, W.C. & SLOSS, L.L. (1963). -Stratigraphy and Sedimentation. 2d ed. *W.H. Freeman & Co, San Francisco.*

KRYNINE, P.D. (1948). - The megascopic study and field classification of sedimentary rocks. *J. Geology,* **56** *, p. 130-165.*

MAYER, C. & SIBBIT, A. (1980). - GLOBAL, a new Approach to Computer-processed Log Interpretation. *SPE of AIME, Fall Mtg., Dallas, SPE 9341.*

PETTIJOHN, F.J. (1975). - Sedimentary Rocks. 3d ed. *Harper & Row, Publishers, New York.*

PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E. & SIEVER, R. (1972). - Sand and Sandstone. *Springer, New York.*

PRESS, F. & SIEVER, R. (1978). - Earth. 2d ed. *W.H. Freeman & Co, San Francisco.*

*Schlumberger Technical Services, Inc.* (1982). -Essentials of NGS Interpretation.

SERRA, O. (1984). - Fundamentals of well-log Interpretation. 1. The acquisition of logging data. Developments in Petroleum Science 15 A, Elsevier, Amsterdam.

# Глава 3. ИНФОРМАЦИЯ О ТЕКСТУРЕ
# (Описание породы)

## *3.1. ОБЗОР ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ КОНЦЕПЦИЙ*

Прежде чем объяснять, как выделять из данных ГИС информацию о текстуре, сделаем обзор некоторых концепций, которые помогут понять связи между данными ГИС и текстурными параметрами.

### 3.1.1. Определение

Термин «текстура» относится к геометрическим аспектам компонентов породы (зерен или частиц и кристаллов), т.е. к их размеру, форме, внешнему виду, расположению и сортировке, а также к границам зерно-зерно, зерно-матрица или зерно-цемент.

Текстура играет весьма важную роль в осадочных породах, поскольку **петрофизические свойства породы**, а, следовательно, ее **пористость** и **проницаемость, зависят, в сущности, от текстуры**.

В соответствии с происхождением породы, Krumbein и Sloss (1963) различают:

- обломочную текстуру, более специфичную для обломочных пород;
- кристаллическую текстуру, более специфичную для хемогенных или эруптивных пород.

### 3.1.2. Компоненты текстуры

Независимо от типа текстуры, осадочным породам свойственны структурные характеристики из трех составляющих:

- *зерна* или *частицы*, и *кристаллы*;
- *матрица*, которая соответствует самому тонкому материалу, который заполняет интерстиции (или поры) между зернами;
- *цемент*, связывающий зерна и матрицу.

Эти составляющие могут иметь различный минералогический состав. На рис.3-1 показаны минералы различных текстурных составляющих, которые зависят от типа обломочных пород.

Эти компоненты не обязательно присутствуют все вместе в одной и той же породе. Например, в среднезернистом и очень хорошо отсортированном песке, нет ни матрицы, ни цемента. Консолидированный, среднезернистый хорошо отсортированный песчаник не имеет матрицы, но содержит цемент, который может быть кремнистым, кальцитовым или доломитовым, сидеритовым или галитовым…

Зерна и матрица обычно ассоциированы, поскольку они чаще всего откладываются вместе (зерна песка в глинистой матрице, или галька в песчаной матрице). Что касается цемента, он всегда образуется после осадконакопления, и является результатом химического осаждения в поровом пространстве.

Как показывают Krumbein и Sloss, (1963), исследование текстуры должно подразделяться на три категории, зависящие от природы осадочных пород:

- чисто хемогенные породы, такие как галит, гипс, ангидрит… Текстура этих пород характеризуется только кристаллической системой, размером и черепитчатым расположением кристаллов;
- частично хемогенные или биохемогенные, и частично обломочные породы, такие как карбонаты, для которых три текстурные компоненты, по очереди или одновременно, играют очень важную роль;
- обломочные породы, для которых три компоненты играют очень важную роль.

Сначала рассмотрим обломочные породы.

## *3.2. ТЕКСТУРА ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД*

Согласно Klembein и Sloss (1963), окончательная текстура осадочной породы определяется шестью фундаментальными свойствами:

- *размером зерен* и его изменением, которая будет контролировать *сортировку*;
- *формой* (или *сферичностью*) зерен (рис.3-2);
- *окатанностью*;

- *структурой поверхности зерен*;
- *ориентацией* или *текстурой*;
- минералогическим составом. Строго говоря, это не является текстурным параметром, и зависит от следующих параметров:
    - от плотности и, следовательно, от скорости осаждения каждого компонента;
    - от возможности растворения (растворимости), или изменения (а, следовательно, дальнейшего формирования) цемента;
    - смачиваемости породы

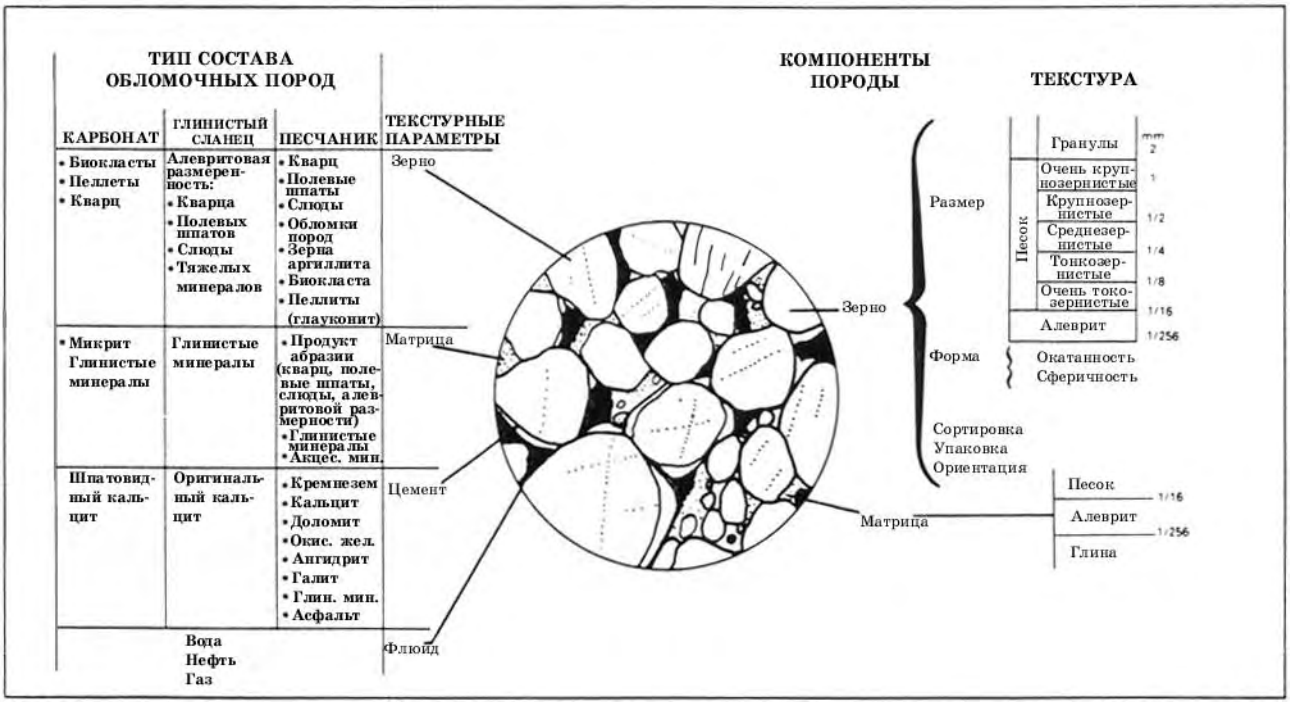



**Рис.3-1. Текстурные составляющие породы**.

Эти различные свойства влияют на характеристики коллектора, и это влияние будет подробно рассмотрено в следующих разделах.

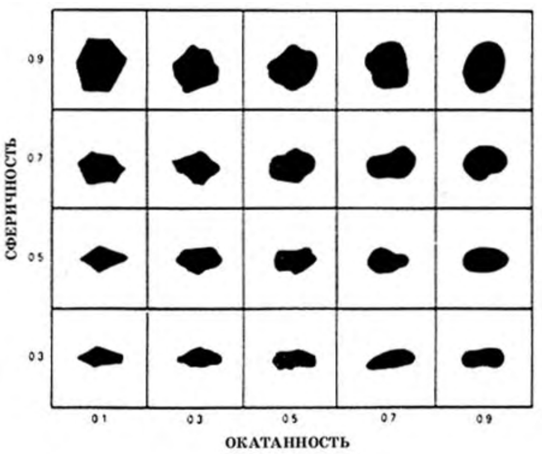



**Рис.3-2. Сферичность и окатанность частиц (из Krumbein и Sloss, 1963, рис.4-10).**

### 3.2.1. Влияние свойств зерен на характеристики коллектора

Пористость и проницаемость являются основными петрофизическими свойствами коллектора.

Beard и Weyl (1973) показали, что первичную пористость и проницаемость только что отложенного обломочного осадочного материала определяют пять переменных: размер, сортированность, форма, окатанность, ориентация и расположение зерен.

### **3.2.1.1.** *Влияние размера зерен*

Теоретически, пористость не зависит от размера зерен. Система сфер с однородным размером, которые представляют одну и ту же организацию, будет иметь одинаковую пористость, независимо от размера. Эта идеальная ситуация, которая соответствует максимальной сортированности, в природе встречается редко. Иногда она может наблюдаться в размытых или в отсеянных песках, и, чаще, в оолитовых песках. Как видно, рис.3-3 (Dodge *и др*., 1971) подтверждает, что выше определенного уровня пористости, отражающей лучшую сортированность и отсутствие цемента, пористость не зависит от размера зерен.

Фактически, Lee (1919), Von Engelhardt (1960) (рис.3-4), обсуждая древние осадочные породы, а также Rogers и Head (1961) (рис.3-5), и Pryor, рассматривая одновозрастные пески, показывают, что при увеличении размера зерен пористость несколько возрастает. Это, возможно, обусловлено рядом факторов, которые имеют лишь непрямую связь с размером зерен. Более мелкие пески имеют тенденцию к большей угловатости и, вероятно, организованы согласно менее плотной структуре. Следовательно, они представляют повышенную плотность в сравнении с более крупнозернистыми песками.

Напротив, как показали Dodge *и др*. (1971) (рис.3-6), в хорошо отсортированных песках проницаемость возрастает с увеличением размера зерен. Это просто понять, поскольку размер пор и каналов (протоков), которые соединяют поры между собой, определяются размером зерен: чем меньше зерна, тем меньше поры и сечение каналов. Следовательно, капиллярное притяжение будет сильнее, а проницаемость меньше (рис.3-6).

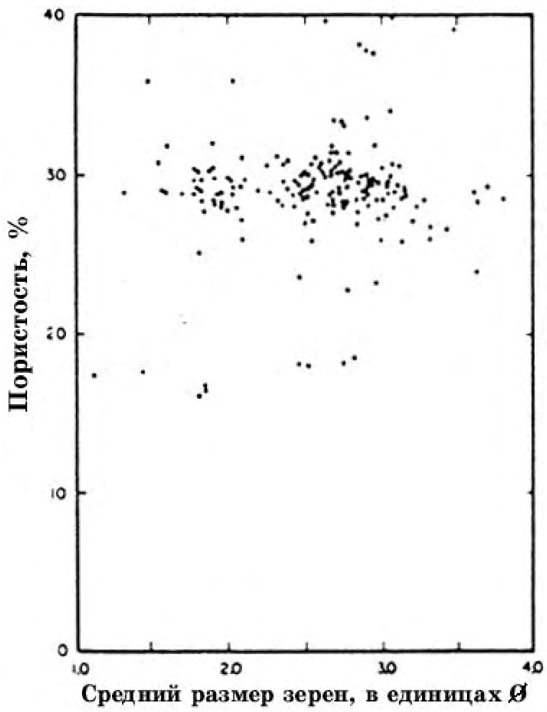



**Рис.3-3. Соотношение между пористостью и средним размером зерен для всех образцов, взятых из песчаников формации Paluxy, Техас (из Dodge *и др*., 1971).**


**Рис.3-5. Соотношение между пористостью и средним диаметром зерен песка для нескольких различных коэффициентов сортировки. A: So=2.086; B: So=1.625; C: So=1.279; D: So=1.128; E: So=1.061 (из Rogers и Head, 1961).**

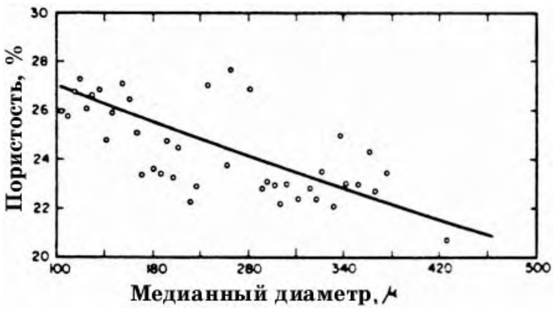



**Рис.3-4. Соотношение между пористостью и средним диаметром зерен в песчаниках Bentheimer (из von Engelhardt, 1960).**

### **3.2.1.2**. *Влияние сортированности*

Согласно Rogers и Head (1961), пористость и проницаемость увеличиваются с ростом сортированности (рис.3-7). Фактически, в плохо сортированном песке, мелкие зерна (матрица) расположены в интерстициях, оставленных более крупными зернами. Следовательно, матрица занимает крупные поры и заполняет большие каналы.

Совместное влияние размера зерен и сортированности на пористость и проницаемость исследованы Beard и Weyl (1973), и показано на рис.3-8.

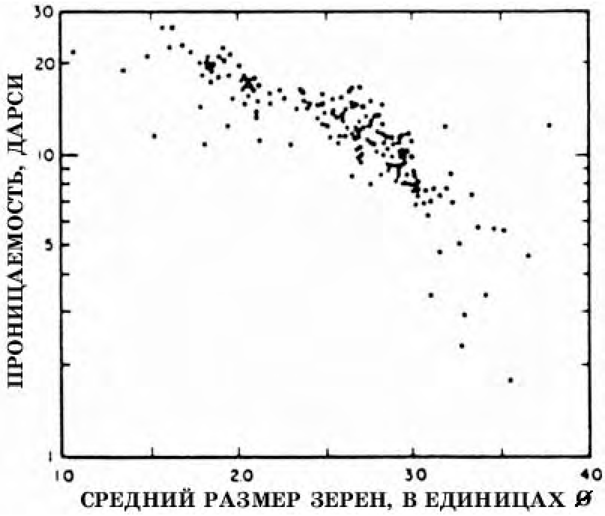



**Рис.3-6. Соотношение между проницаемостью и средним размером зерен для всех образцов, взятых из песчаников формации Paluxy, Texac (из Dodge *и др.*, 1971).**


**Рис.3-7. Соотношение между пористостью и коэффициентом сортировки песков для различных размеров зерен. A: медианный диаметр md = 0.106 мм; B: md = 0.151 мм; C: md = 0.213 мм; D: md = 0.335 мм (из Rogers и Head, 1961).**

### **3.2.1.3. Влияние формы и окатанности зерен**

Представляется, что форма и окатанность влияют на межзерновую пористость. Fraser (1935) пришел к заключению, что осадки, сложенные сферическими зернами, имеют более низкую пористость, нежели осадки, образованные зернами с меньшей сферичностью[1]. Он объясняет это тем фактом, что в первом типе зерна стремятся осаж-

[1] Рассматриваются зерна с естественной формой. Пакет кирпичей (сферичность отсутствует) должен формировать породу без какой-либо пористости.

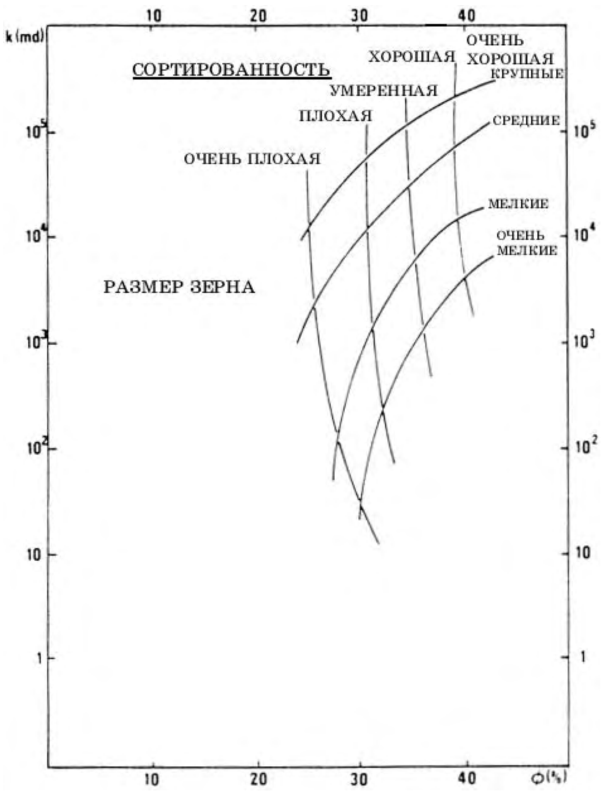



**Рис.3-8. Соотношение между пористостью и проницаемостью для различных размеров зерен и сортированности.**

даться согласно более плотной структуре, нежели во втором типе. Менее сферичные зерна могут упаковываться таким образом, что объем между ними будет увеличен.

Влияние формы и окатанности зерен на проницаемость до сих пор хорошо не известно, но, как показывают наблюдения, проницаемость следует отклонениям пористости в связи с изменениями формы и окатанности.

## **3.2.1.4.** *Влияние ориентации зерен*

Ориентация частиц определяется по отношению к горизонтальной плоскости и к направлению течения.

Ориентация гальки, в общем случае, хорошо определена, поскольку ее размер упрощает наблюдение (рис.3-9). Измерение и количественное описание мелких зерен (песка, алеврита…) намного сложнее. Тем не менее, для несферических зерен установлено, что обычно они имеют такую же ориентацию, как их оси максимального удлинения, и ориентация параллельна направлению течения. В целом, ориентация не филлитовых (не сланцеватых) зерен не оказывает влияния на пористость. Напротив, ее влияние на проницаемость, или, точнее, на анизотропию или направление максимальной проницаемости, весьма велико. Следовательно, в русловых песках, направление максимальной проницаемости параллельно оси удлинения песчаных тел. В песках прибрежных баров, направление максимальной проницаемости перпендикулярно оси удлинения песчаных тел, и параллельно преобладающему направлению течений (рис.3-10). Ориентация филлитовых частиц (глинистых сланцев), будет такой же, как ориентация их длинных сторон, параллельных плоскости напластования (рис.3-11).


**Рис.3-9. Схематическое представление ориентации гальки в различных условиях (из Rukhin, 1958).**

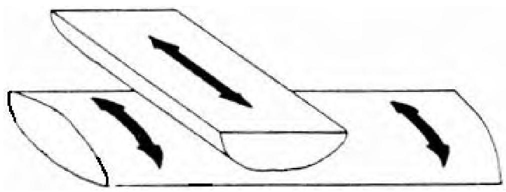


**Рис.3-10. Ориентация зерен и направления максимальной проницаемости в песчаных телах русла и бара (соответственно вверху и внизу) (из Pryor, 1973, в Selley, рис.15**)

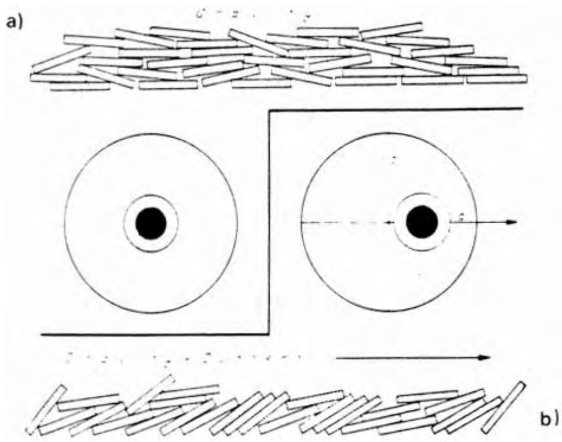



**Рис.3-11. Ориентация чешуек (flakes). a): чешуйки, отложившиеся под действием силы тяжести; b): чешуйки, отложившиеся под совместным действием силы тяжести и течения (из Potter и Pettijohn, 1971, рис.3-2).**

## **3.2.1.5.** *Влияние укладки*

Согласно Graton и Fraser (1935), может быть шесть видов простой геометрической укладки сфер одинакового размера (рис.3-12). Эти авторы доказали, что пористость изменяется в соответствии с укладкой от 47.64% (для наиболее «открытой» укладки) до 25.95% (для наиболее плотной или «закрытой» укладки).

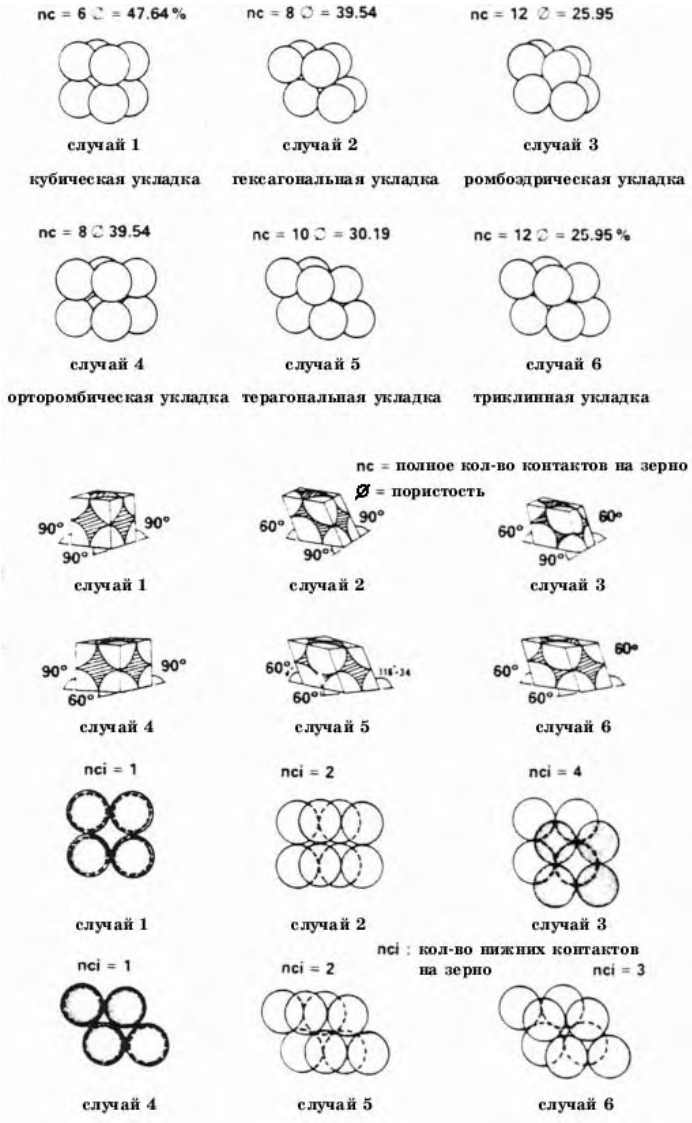



**Рис.3-12. Шесть возможных геометрических структур сфер одинакового размера (из Graton и Fraser).**

Allen (1984) сделал полный обзор нескольких типов укладки (упорядоченной или случайной) частиц различной формы (сфер, вытянутых и сплюснутых сфероидов). Он пришел к выводу, что «частицы правильной формы… могут образовывать укладку всех трех видов, тогда как природные частицы, которые имеют неправильную форму, могут образовывать укладку только случайных видов». Они соответствуют оолитам. Кроме того, Allen заключил, что пористость снижается за счет «расширения диапазона размеров частиц, присутствующих в смеси», но увеличивается «за счет повышения угловатости частиц и окатанности поверхности, и за счет включения сильно анизометричных частиц».

Представляется очевидным, что проницаемость должна следовать сопоставимому закону развития, поскольку сечение пор и капилляров в плотной структуре меньше, чем в остальных структурах. На рис.3-13 показаны теоретические изменения проницаемости для идеальных геометрических укладок сфер диаметром 500 μм.

Естественно, наиболее «открытые» структуры не встречаются в древних формациях; очень скоро, под влиянием уплотнения, зерна организуются согласно наиболее «закрытой» структуре. Действие уплотнения будет рассмотрено в Главе 8, поскольку уплотнение влияет также на форму зерен.

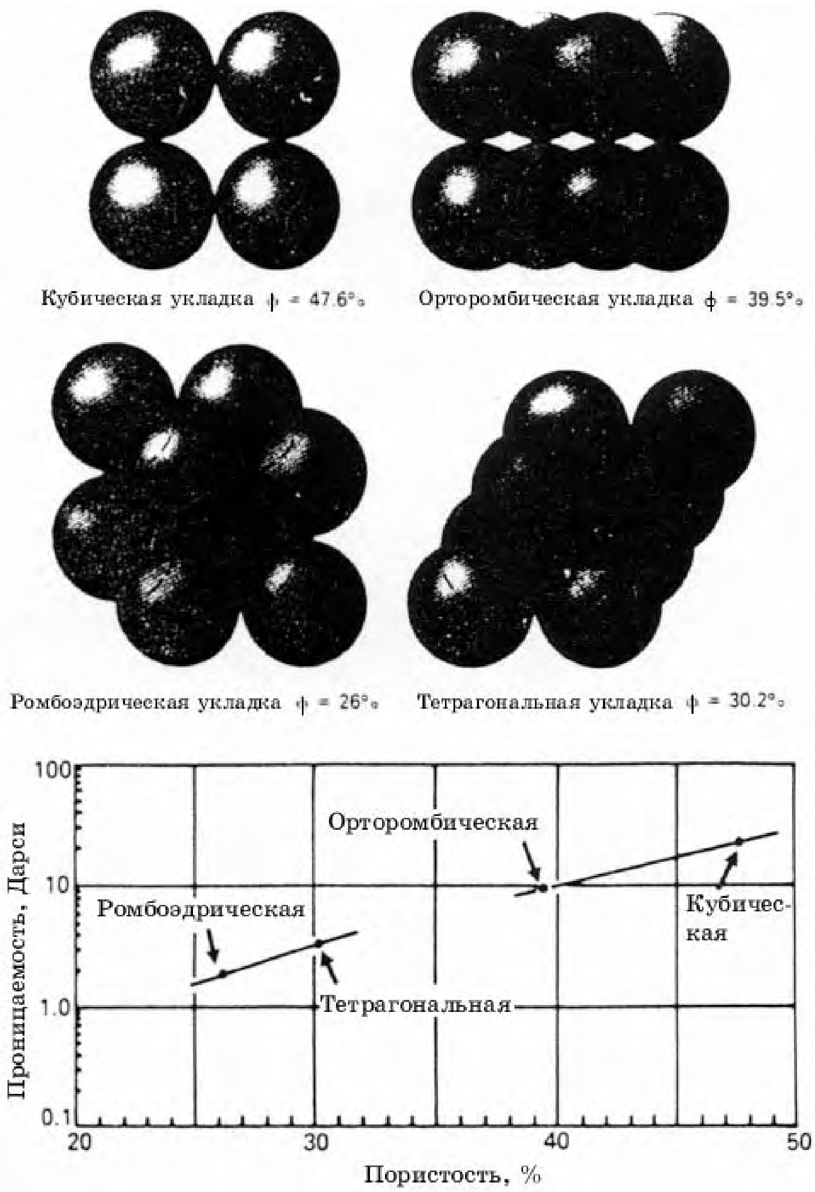



**Рис.3-13. Пористость в функции проницаемости для некоторых идеальных геометрических укладок сфер диаметром 500 μм (с разрешения R. Nurmi).**

## 3.2.1.6. *Влияние минералогического состава зерен*

Зерна, состоящие из тяжелых и плотных минералов, будут отложены вместе с минералами такого же веса, т.е. с менее плотными, но более крупными минералами. Такая ситуация приведет к снижению сортированности, и, следовательно, пористости и проницаемости.

Зерна, состоящие из неустойчивых или химически незрелых минералов (пироксена, амфибола, слюды, полевого шпата…), будут оказывать влияние на пористость осадочного материала, в котором они находятся. Их неявное изменение вызовет формирование аутигенных глинистых минералов (каолинита, монтмориллонита, иллита, хлорита…), которые будут окружать зерна или проникать в поровое пространство, являясь, таким образом, основной причиной снижения пористости и проницаемости (рис.3-14). Но необходимо также учитывать тип и распределение аутигенных глинистых минералов, поскольку они по-другому влияют на проницаемость (рис.3-15), что исследовано Neasham (1977).

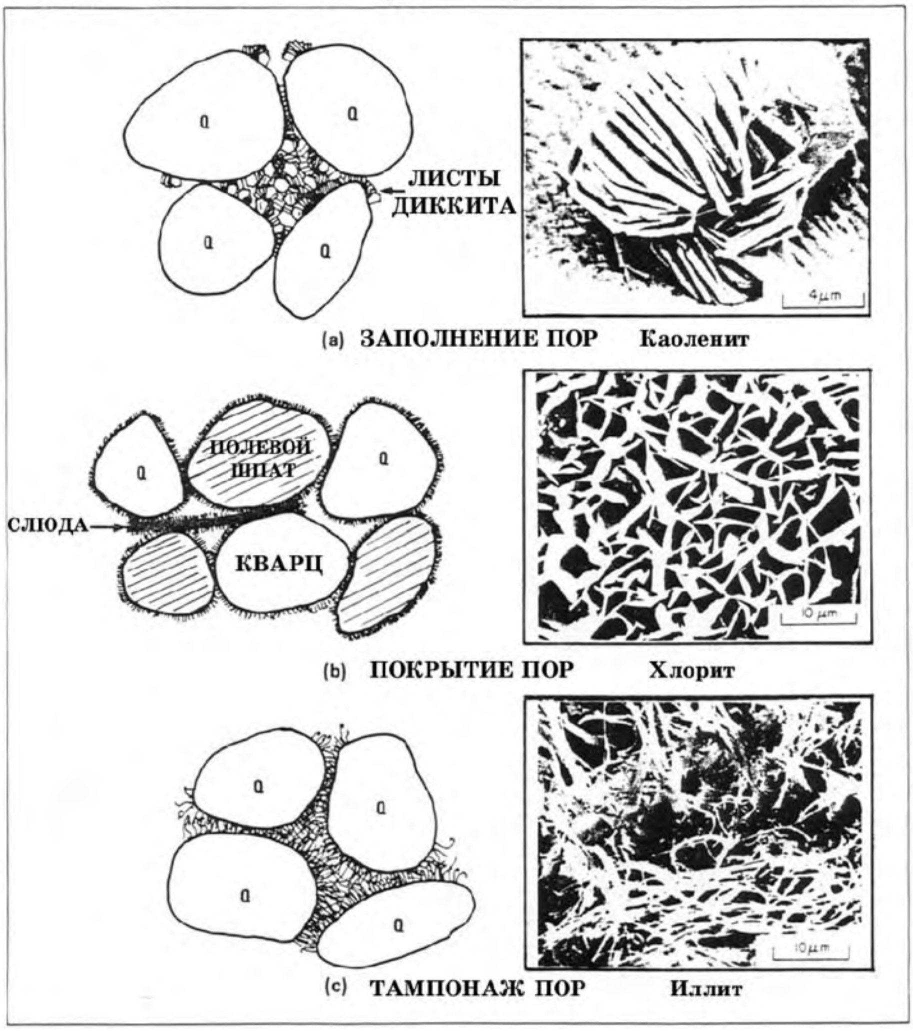
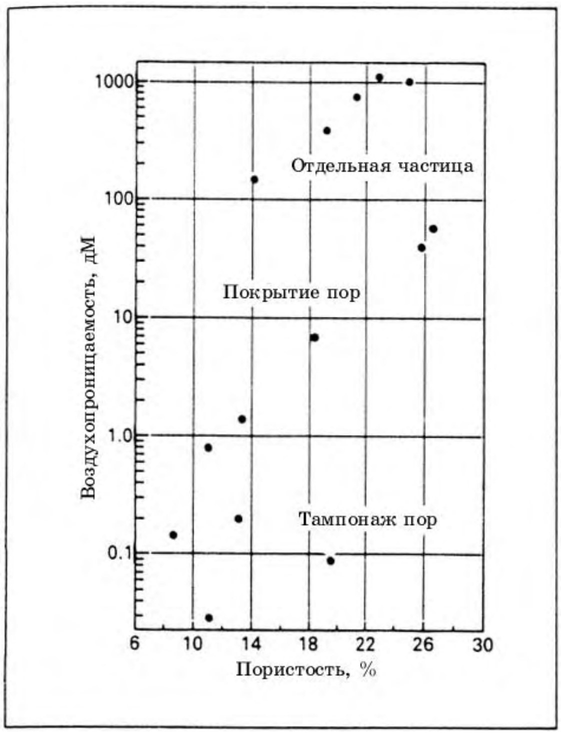



**Рис.3-14. Три типа и распределения дисперсных аутигенных глинистых минералов в поровом пространстве (из Neasham, 1977).**




Глинистые минералы *в виде отдельных частиц*, или глинистые минералы, *заполняющие поры* (например, «листы» каолинита), характеризуются неравномерным распределением в поровом пространстве. Кристаллы могут достигать больших размеров (более 10 μм). Поскольку кристаллы растут, поровое пространство и проницаемость уменьшаются, хотя между отдельными пластинками всегда существует некоторая микропористость.

**Рис.3-15. Влияние типа распределения аутигенных глинистых минералов на пористость и проницаемость. Данные исследования 14 песчаников (из Neasham, 1977).**

Глинистые минералы, *покрывающие поры* (в сущности, иллит, хлорит и монтмориллонит), образуют на стенках пор тонкий слой чешуек, параллельных или перпендикулярных стенке поры (рис.3-14b), но рост не распространяется далеко в поровое пространство. Между чешуйками может присутствовать значительная микропористость, хотя диаметр пор меньше 1 μм. Этот тип аутигенных глинистых минералов существенно снижает проницаемость, а также влияет на многие электрические свойства породы, поскольку может сильно увеличивать площадь поверхности.

Глинистые минералы, *тампонирующие поры*, в основном волокна иллита (рис.3-14с), связаны по всему поровому пространству. Этот тип является основной причиной снижения проницаемости, поскольку тампонаж проще всего достигается в протоках, а также он снижает размер пор. Влияние на пористость меньше, поскольку микропористость сохраняется между очень тонкими волокнами.

Из предыдущих замечаний очевидно, что знание типа распределения (чешуйчатое, структурное или дисперсное) и природы глинистых минералов весьма существенно для прогнозирования пределов изменения проницаемости и существования и распределения барьеров проницаемости.

Частицы, образованные растворимыми минералами (кальцитом, доломитом…) являются причиной формирования вторичной пористости, за счет скрытого растворения и удаления раствора гидродинамическими процессами. Они могут также уничтожать пористость и, следовательно, проницаемость, растворяя и образуя цемент путем осаждения новых кристаллов в поровом пространстве. Диагенетические воздействия будут проанализированы позднее, в Главе 7.

### 3.2.2. Влияние других текстурных составляющих на характеристики коллектора

Другие текстурные составляющие, матрица и цемент, также оказывают значительное влияние на петрофизические характеристики обломочных коллекторов.

Когда процентное содержание матрицы и/или цемента возрастает, пористость и проницаемость уменьшаются, поскольку мелкие частицы, которые образуют матрицу, и цемент стремятся занять поровое пространство между более крупными элементами.

Реально, матрица является существенной составляющей только в конгломератах, тогда как в песках она присутствует лишь в очень плохо сортированных песчаных телах.

Цемент развивается после отложения за счет химического взаимодействия между нестабильными зернами и пластовой водой, или циркуляции растворов в поровом пространстве под действием гидродинамических сил.

Эти различные факторы сведены в Таблицу 3-1.

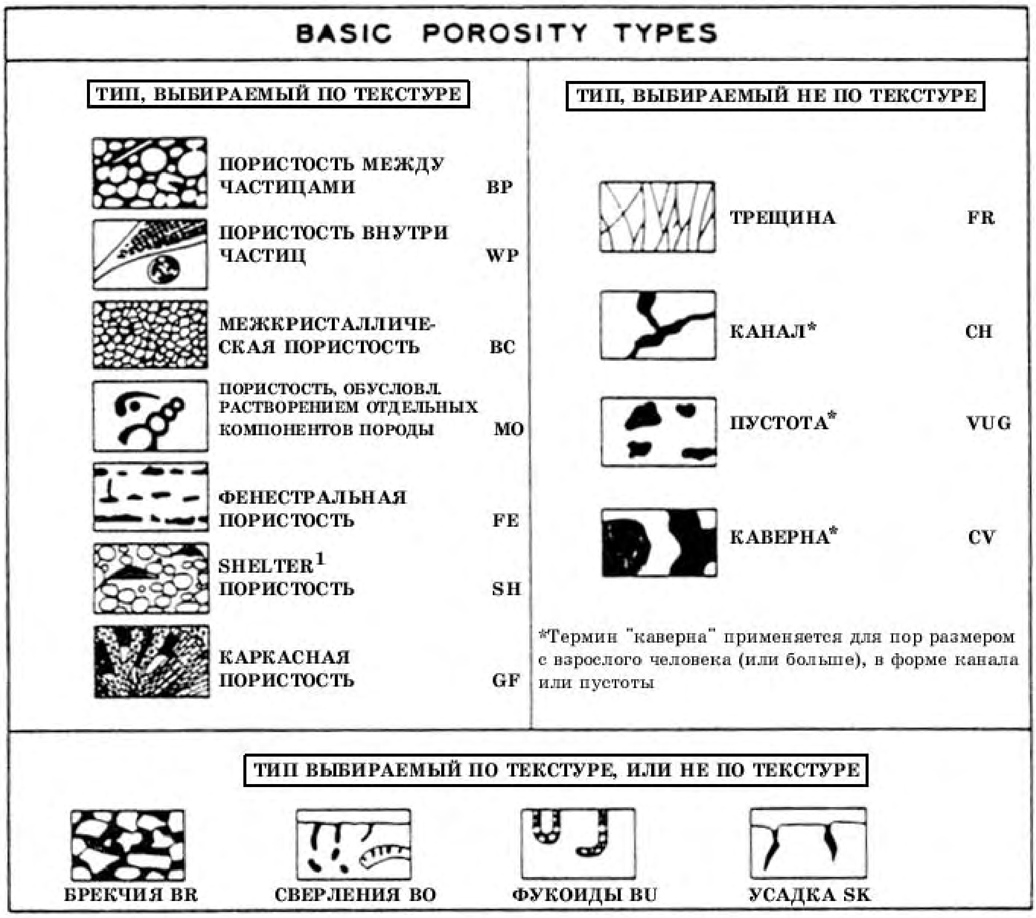
Таблица 3-1

*Влияние текстурных параметров на пористость и проницаемость обломочных пород*.

| ТЕКСТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ | | | ПОРИСТОСТЬ $\varphi$ | ПРОНИЦАЕМОСТЬ k |
|---|---|---|---|---|
| ЧАСТИЦЫ ИЛИ ЗЕРНА | Размер зерен | ↗ | → | ↗↗ |
| | Сферичность | ↗ | ↘? | ? |
| | Окатанность | ↗ | ↘? | ? |
| | Сортированность | ↗ | ↗↗ | ↗↗ |
| | Упаковка (эффект уплотнения) | ↗ | ↘ | ↘ |
| МАТРИЦА | процентное содержание | ↗ | ↘ | ↘ |
| ЦЕМЕНТ | процентное содержание | ↗ | ↘ | ↘ |

## 3.3. ТЕКСТУРА КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

Текстура карбонатных пород зависит от относительного содержания трех компонентов (частиц, матрицы и цемента), и от типа распределения пор (рис.3-16).




[1]Тип первичной межзерновой пористости, определенный данными авторами как пористость, «возникающая в результате того, что относительно крупные осадочные частицы препятствуют заполнению порового пространства ниже их тонкими обломочными частицами».

**МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ТЕРМИНЫ**

**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МОДИФИКАТОРЫ**

| ПРОЦЕСС | | НАПРАВЛЕНИЕ ИЛИ СТАДИЯ | |
|---|---|---|---|
| РАСТВОРЕНИЕ | s | УВЕЛИЧЕННАЯ | x |
| ЦЕМЕНТАЦИЯ | c | УМЕНЬШЕННАЯ | r |
| ВНУТРЕННЕЕ ОСАДКОНАКО-ПЛЕНИЕ | i | ЗАПОЛНЕННАЯ | f |

**ВРЕМЯ ФОРМИРОВАНИЯ**

| | |
|---|---|
| ПЕРВИЧНАЯ | P |
| до осадконакопления | Pp |
| периода осадконакопления | Pd |
| ВТОРИЧНАЯ | S |
| эогенетическая | Se |
| мезогенетическая | Sm |
| телогенетическая | St |

**МОДИФИКАТОРЫ ПО РАЗМЕРУ***

| КЛАССЫ | | | мм† |
|---|---|---|---|
| | | | 256 |
| МЕГАПОРА mg | большая | lmg | |
| | | | 32 |
| | малая | smg | |
| | | | 4 |
| МЕЗОПОРА ms | большая | lms | |
| | | | 1/2 |
| | малая | sms | |
| | | | 1/16 |
| МИКРОПОРА mc | | | |

Для обозначения размера, с основными типами пористости используйте приставки:

| | |
|---|---|
| мезожеода | msVUG |
| smoll mesomold ** | smsMO |
| microinterparticle*** | mcBP |

* Для пор правильной формы, меньших, чем каверна.

† Измерения относятся к среднему диаметру одной поры или к пределам изменения раз мера ассоциации пор. Для трубчатых пор используется среднее сечение. Для плоских пор используется ширина и форма поте.

Генетические модификаторы сочетаются следующим образом:

ПРОЦЕСС + НАПРАВЛЕНИЕ + ВРЕМЯ

| ПРИМЕРЫ: | | |
|---|---|---|
| | растворение - увеличенная | sx |
| | цемент - пониженная первичная | crP |
| | осадки - заполненные эогенетические | rfSe |

**МОДИФИКАТОРЫ РАСТВОРЕННОСТИ**

| | |
|---|---|
| пористость в процентах | (15%) |
| или | |
| относительное содержание типов пористости | (1 2) |
| или | |
| относительное содержание и проценты | (1 2) (15%) |

**Рис.3-16. Типы пористости в карбонатах (из Choquette и Pray, 1970, рис.2).**

*Мелкая мезопористость, обусловленная удалением (например, растворением отдельных компонентов породы).
**Микропористость между частицами породы.

Эти различные параметры используются для классификации карбонатных пород (рис.3-17 и Таблица 3-2).

Совершенно очевидно, что пористость и проницаемость зависят от текстуры. Это можно видеть из рис.3-18, который показывает, их зависимость от текстуры карбонатных пород.

Однако в этих породах мы должны отличить первичные характеристики, т.е. характеристики, существовшие на время осадконакопления, от современных характеристик. Фактически, первичная текстура могла подвергнуться глубокой модификации в результате диагенетических явлений, которые в этих породах часто развиваются рано и являются более важными, нежели в обломочных сериях. Эти модификации структуры вызывают изменение самих характеристик коллектора.

В силу этих причин, характеристики коллектора обусловлены диагенетическими явлениями в большей степени, нежели текстурой, и исследование пористости является столь существенным.

- Частицы или зерна или Аллохемы
  - Обломочные зерна
    - Литокласты s.s. (= экстракласты)
      зерна некарбонатных материалов; пример: зерна кварца, кремня, агидрита, фосфатов…
    - Интракласты
      фрагменты переработанных карбонатных пород, которые берут начало в осадочных бассейнах
  - Скелетные фрагменты (= биокласты)
  - Пелоиды (пеллеты; копролиты = foecal пеллеты)
  - Комья (WOLF, 1960)
    - Составные зерна (= грейпстон)
      Пелоиды, связанные микритом
    - водорослевые комья
      Пелоиды, покрытые водорослевыми прослоями
  - Покрытые зерна
    - Оолиты
      Ядро (кварц или скелетное зерно) с аккрецией кальцита (или кремнезема, или гематита) с концентрической или радиальной структурой; растут во взвеси, в условиях перемешивания (высокоэнергетичная среда).
    - Пизолиты
      Пизолиты образуются в кавернах (пещерный жемчуг), или в корках каличе, ниже зоны выветривания (вадозные пизолиты)
    - Водорослевые инкрустированные зерна (= онколиты)
      онколиты образованы примитивными сине-зелеными водорослями (schizophycae или Cyanophycae), растущими на зерне и притягивающими карбонатный ил липкой поверхностью.
- Ортохемы (FOLK, 1959)
  - Матрица
    - Микрит: карбонатный ил (максимальный размер кристалла: 10 µm)
      - может встречаться в малых количествах в зернистых карбонатах
      - может быть распространен настолько, что образует карбонатный аргиллит, называемый микритом или кальцилютитом
    - Глины:
  - Цемент (рост кристаллов внутри порового пространства)
    - Кальцит
      - микрошпатит: размер кристалла 10 µm и 80 µm
      - Шпатит: размер кристалла 80 µm
    - Доломит
      - доломикрошпатит
      - долшпатит
    - Ангидрит
    - Кремнезем
- Поры

**Рис.3-17. Текстурные составляющие карбонатов.**


**Рис.3-18. Соотношение между пористостью и проницаемостью для классификации пяти известняков Dunham (из Nurmi и Frisinger, 1983)**

Таблица 3-2

*Классификация Dunham карбнатных пород, основаннаяна осадочной текстуре*

(из Dunham, 1962).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Баундстон - Исходные компоненты, объединенные на протяжении жизни, т.е. биогенные рифы | | | |
| Аргиллит <10% зерна<br>Ваккит >10% зерна | Сцементированные глиной | Содержат ил | Исходные составляющие, не объединенные на протяжении жизни |
| Пакстон | Зернистый | | |
| Грейнстон <10% микрита | | | |
| Кристаллический карбонат = Первичная структура осаждения, разрушенная перекристаллизацией | | | |

Таблица 3-3

*Различные типы пористости в карбонатных породах*

| Время | Тип | Иллюстрация | Происхождение | |
|---|---|---|---|---|
| Перед осадконакоплением | Пористость внутри частиц (1) | | | Тип, выбираемой не текстуры |
| Осадконакллнение | Пористость между частицами или межзерновая пористость | | Сортировка и упаковка | |
| | Shelter | | | |
| | Каркасная пористость | | Аккреция каркаса | |
| После осадконакопления | Межкристаллическая пористость | | Замещение | |
| | Фенестральная(2) пористость (= пористость птичий глаз) *Листоватая* *Неправильная* | | Органическое или физическое разрушение | |
| | Пористость, обусловленная растворением компонентов | | | Тип, выбираемый по текстуре или не по текстуре |
| | Канал(3) | | Растворение | |
| | Пустота(3) | | | |
| | Каверна(3) | | | |
| | Трещина | | Физическое или органическое разрушение | |
| | Брекчия | | | |
| | Сверление | | Органическое разрушение | |
| | Фукоиды | | | |
| | Усадка | | Дегидрация | |

Таблица 3-4
*Сравнение пористости в песчаниках и в известняках*
(из Choquette и Pray, 1970).

| *Аспект* | *Песчаник* | *Карбонат* |
|---|---|---|
| Величина первичной пористости в осадках | Обычно 25-40% | Обычно 40-70% |
| Величина конечной пористости | Обычно не менее половины начальной пористости; 15-30% | Обычно отсутствует или составляет лишь малую долю начальной пористости; в фациях-коллекторах |
| Тип (типы) первичной пористости | Почти исключительно пористость между частицами | Обычно преобладает пористость между частицами, но большую роль играет пористость внутри частиц и другие типы |
| Тип (типы) конечной пористости | Почти исключительно первичная пористость между частицами | Изменяется в широких пределах вследствие модификаций после осадконакопления |
| Размер пор | Диаметр и размеры протоков тесно связаны с размером и сортированностью осадочных частиц | Диаметр и размеры протоков показывают незначительную связь с размером или сортированностью осадочных частиц |
| Форма пор | Сильная зависимость от формы частиц – «негатив» частиц | Изменяется в широких пределах – от «позитива» или «негатива» частиц до полной независимости от формы осадочных или диагенетических компонентов |
| Однородность размера, формы и распределения | Обычно достаточно однородные внутри гомогенного тела | Изменяются от достаточно однородных до крайне неоднородных, даже в пределах тела, образованного породой одного типа |
| Влияние диагенеза | Незначительное; обычно несущественное уменьшение первичной пористости за счет уплотнения и цементации | Сильное; может создавать, уничтожать, или полностью видоизменять пористость; цементация и растворение играют важную роль |
| Влияние трещиноватости | В общем случае, не оказывает значительного воздействия на коллекторские свойства | Является первостепенным в определении коллекторских свойств (если они имеются) |
| Визуальная оценка пористости и проницаемости | Полуколичественная визуальная оценка обычно относительно проста | Изменчивая; полуколичественная визуальная оценка варьирует от простой до, в сущности, невозможной. В общем случае, требуются инструментальные измерения пористости, проницаемости и капиллярного давления |
| Адекватность анализа керна для оценки коллектора | Пробки диаметром 1 дюйм, вырезанные из керна, обычно подходят для определения пористости «цемента» | Пробки, вырезанные из керна, обычно являются неподходящими; в случае больших пор, могут оказаться непригодными даже целые керны диаметром ~3 дюйма |
| Соотношение пористость-проницаемость | Относительно устойчивая; обычно зависит от размера и сортированности частиц | Сильно изменяется; в общем случае, не зависит от размера и сортированности частиц. |

Таблица 3-3 иллюстрирует различные типы пористости и связывает их с исходными явлениями и со временем формирования пор. В Таблице 3-4 (Choquette и Pray, 1970) перечислены различия между пористостью в карбонатных и в обломочных породах.

## *3.4. КАК ПОЛУЧИТЬ ИНФОРМАЦИЮ О ТЕКСТУРЕ ПО ДАННЫМ ГИС*

Влияние текстурных компонентов на параметры данных ГИС представлено в Таблице 3-5.

Как видно, в некоторых замерах содержится текстурная информация. Однако не всегда просто определить происхождение воздействия, поскольку несколько текстурных параметров могут иметь сходные эффекты. С другой стороны, если мы повторно исследуем проблему в соответствии с типом породы, иногда возможно различить преобладающее влияние определенных параметров. Это и есть то, что мы сейчас будем анализировать.

### 3.4.1. Плохо консолидированная кластическая формация

В этом типе породы, текстура существенным образом связана со свойствами зерен, тогда как матрица и цемент представляют собой второстепенные составляющие. В этом особом случае, цель ГИС состоит в получении (если возможно) информации о размере зерен, их сортированности, структуре и ориентации.

#### **3.4.1.1.** *Размер зерен*

Общее универсальное соотношение между размером зерен и результатами замеров ГИС отсутствует. Тем не менее, в ряде случаев, мы часто наблюдаем в региональном масштабе весьма четкую корреляцию между данными ГИС и размером зерен.

Различные авторы (Sarma *и др.*, 1963; Alger, 1966) указывают на существование корреляции между сопротивлением (или коэффициентом сопротивления) пласта и размером зерен (рис.3-19).

*Замечание*

*В примере на этом рисунке, коэффициент сопротивления пласта для одной и той же величины $R_w$ возрастает с увеличением размера зерен. Это представляется противоречащим общепринятой закономерности. Несомненно, что такая ситуация обусловлена тем фактом, что в пласте, насыщенном пресной водой, значение поверхностной проводимости возрастает с уменьшением размера зерен.*

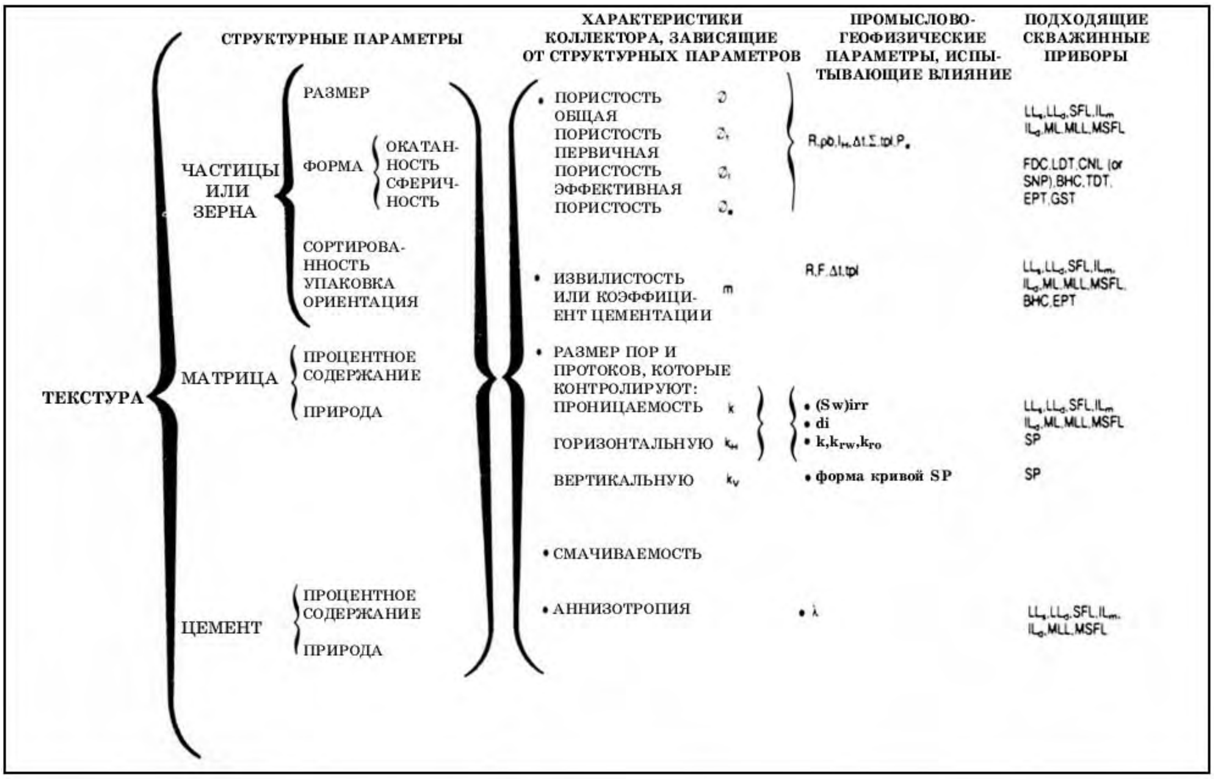
Другие авторы наблюдали соотношения между параметрами кривых ГИС и размером зерен.

В примере на рис.3-20 вполне очевидным является существование корреляции между диаграммой ГК и размером зерен, определенным на образцах керна. Показания ГК повышаются при уменьшении размера зерен, поскольку радиоактивность связана с самыми мелкими зернами, которые состоят из глинистых минералов. Дальнейший анализ показывает, что эти минералы имеют преимущественно детритовое (или аллогенное) происхождение и относятся к ламинированному (laminated) типу. Действительно, трудно предположить, что аутигенные глины, занимающие поровое пространство, продемонстрируют такое развитие, поскольку в этом случае процентное содержание в породе не эволюционирует существенно с гранулометрией.

Таблица 3-5

*Соотношение между текстурными параметрами и сигналами скважинных приборов*

(из Serra, 1984).



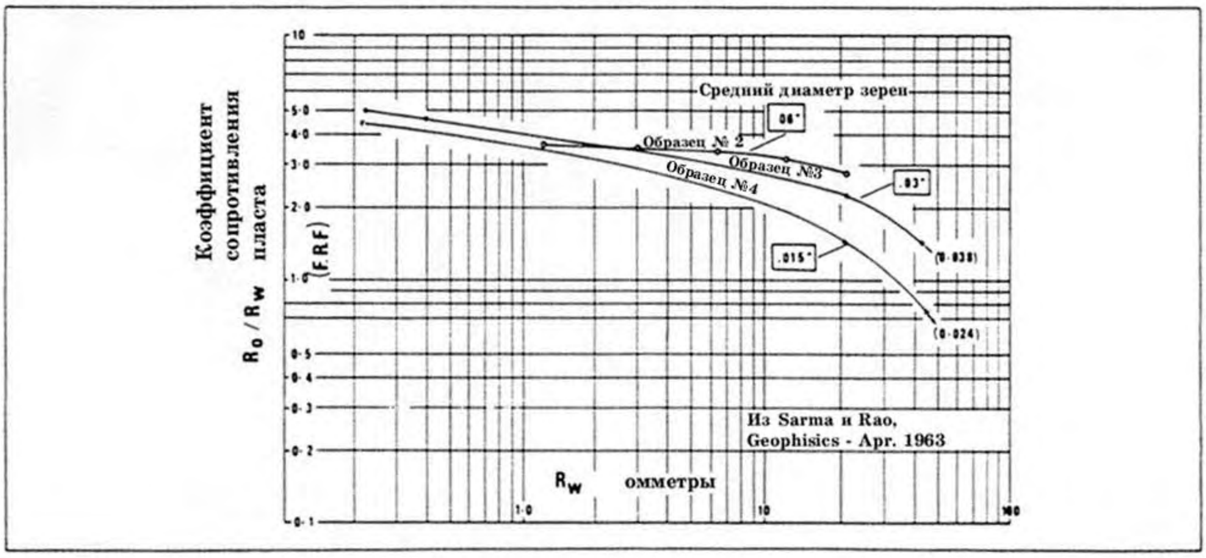




**Рис.3-19. Соотношение между коэффициентом сопротивления пласта, сопротивлением и размером зерен (из Sarma и Rao, 1963)**

Форма «колокол» или «воронка» кривых ПС, ГК и сопротивления (рис.3-21), введенные геологами SHELL около 1956 года, представляют собой другое применение этого соотношения между кривой и текстурным параметром.

В таких случаях, если мы не можем точно определить абсолютный размер зерен без предварительной калибровки, все же мы всегда способны определить относительный размер. Формы кривых, показанных на рис.3-22, фактически, объясняют нормальную градационную слоистость («уменьшение размера зерен вверх по разрезу») или обратную градационную слоистость («увеличение размера зерен вверх по разрезу»). Другими словами, мы можем заключить, что распределение глинистых сланцев относится к структурному и/или к ламинированному типу.

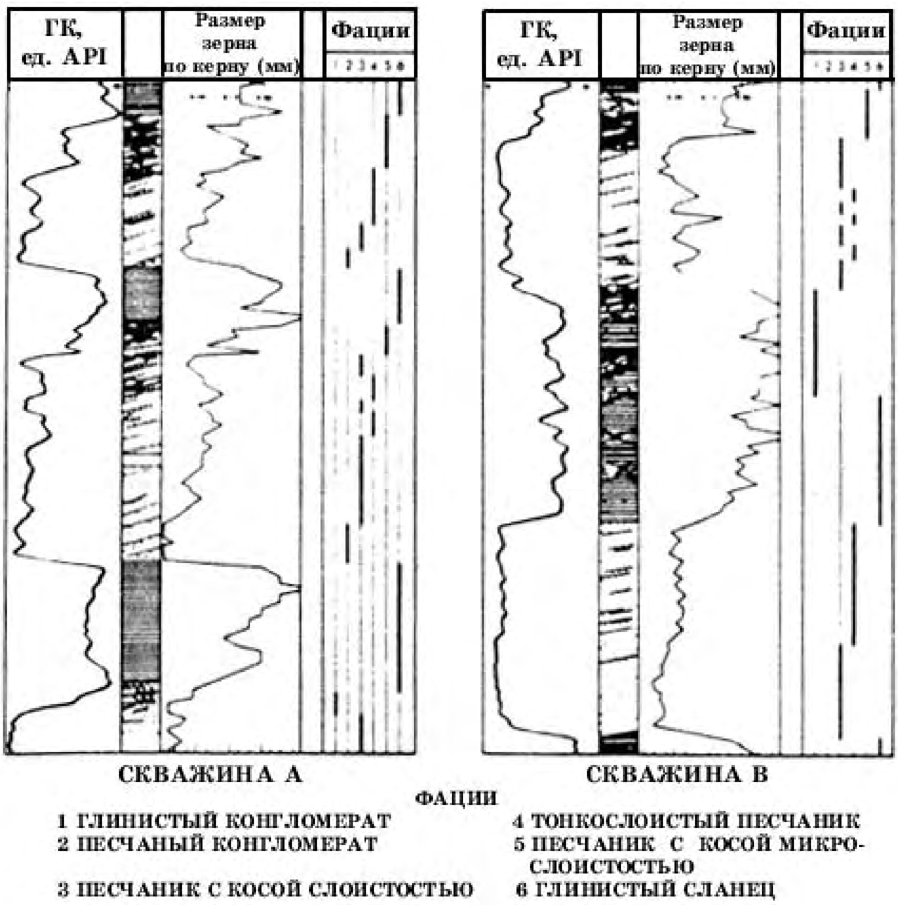



**Рис.3-20. Корреляция между естественной гамма-активностью и размером зерен (из Serra и Sulpice, 1975).**

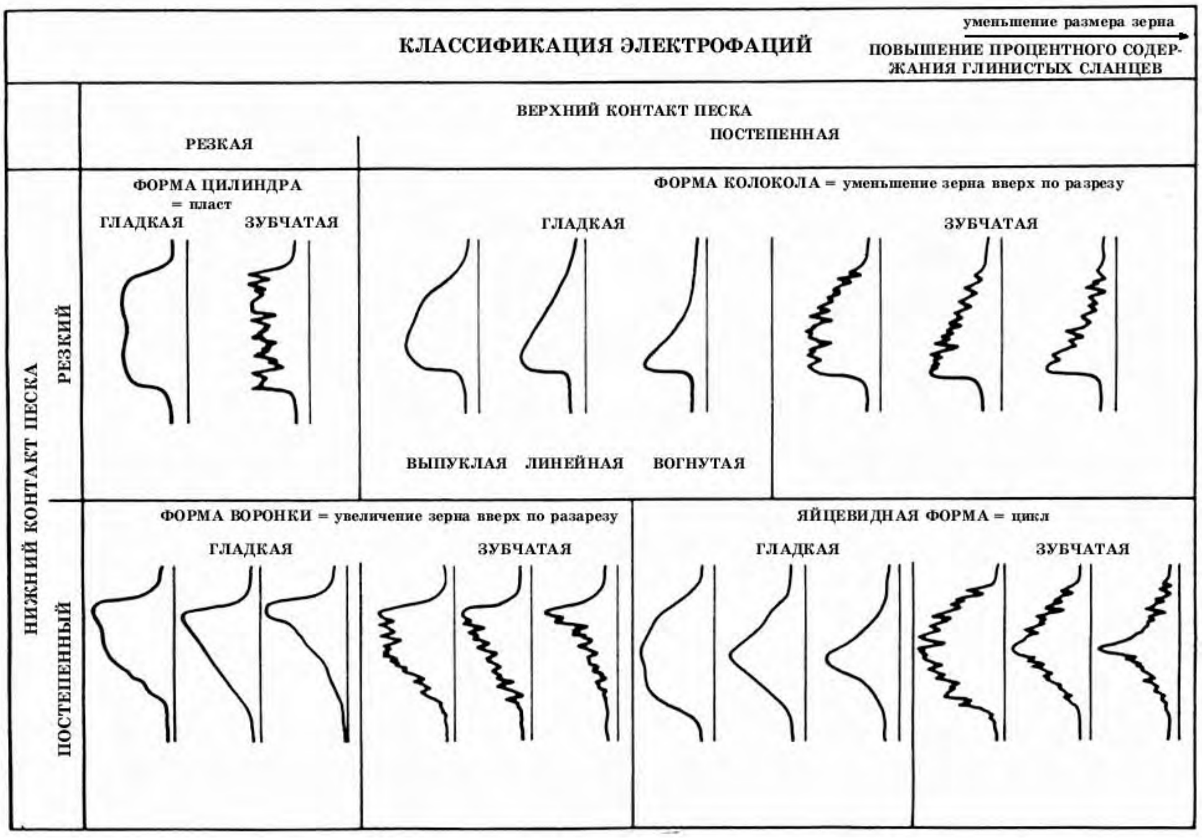



**Рис.3-21. Соотношение между формой кривой ПС и размером зерен или глинистостью (из документов SHELL)**

**Рис.3-22. Пример распознавания структурных и частично листоватых глин по диаграммам наклонометрии с микрозондами сопротивления. Данный рисунок представляет собой увеличенный фрагмент рис.3-27 (между 34.5 и 37 футов).**

Мы можем также преобразовать эти кривые в процентное содержание глинистых сланцев и в проницаемость, при условии предварительной калибровки с помощью замеров на кернах (рис.3-23). Соотношение между радиоактивностью и гранулометрией не всегда доказано. Может оказаться так, что алевритистые уровни являются более радиоактивными, чем глинистые сланцы (рис.3-24). В этом случае необходимо иметь несколько записей диаграмм, которые позволяют определить размер зерен. «*Кроссплот*», объединяющий два замера, такие как ГК и ПС (рис.3-25) помогает выполнить этот анализ, особенно если используется методика «*Z-плотов*» (*Z-plots*). В данной методике построение величины третьего параметра, такого как ГК Th или K (количество тория или калия, полученное по спектрометрии естественного гамма-излучения), $\rho_b$, $\varnothing_N$, или ПС (рис.3-26b), в точке пересечения двух других величин на графике взаимной зависимости.


**Рис.3-23. Схематические соотношения между данными наклономера с микрозондами сопротивления с одной стороны, и размером зерен, глинистостью и проницаемостью с другой стороны. Эти соотношения применимы к случаю, проиллюстрированному на рис.3-27.**

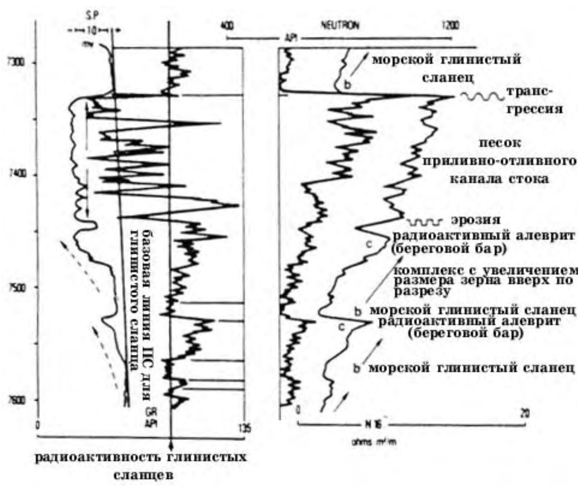



**Рис.3-24. Пример алевритов более радиоактивных, чем глинистые сланцы. Эволюцию раз-**

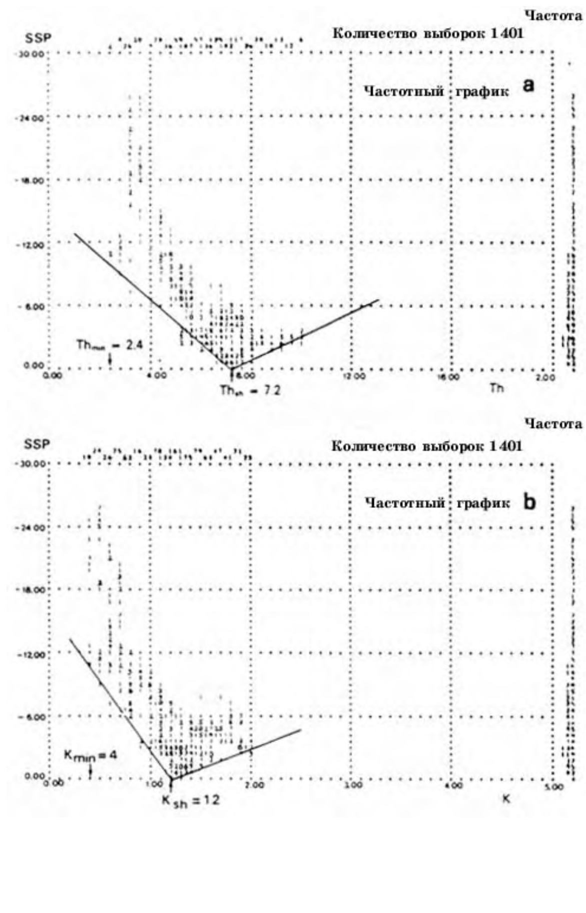



**Рис.3-25. Примеры графиков взаимной зависимости статистического ПС и содержания тория (a) и калия (b). Они определяют $Th_{sh}$ и $K_{sh}$ для глинистых сланцев. Содержание тория и калия для «чистых» песков» предполагает присутствие радиоактивных минералов, таких как полевые шпаты, слюды и циркон. Графики**

мера зерен можно установить по кривым сопротивления, ПС и нейтронного каротажа (из Serra и Sulpice, 1975).

показывают существование алевритов более радиоактивных, чем глинистые сланцы.

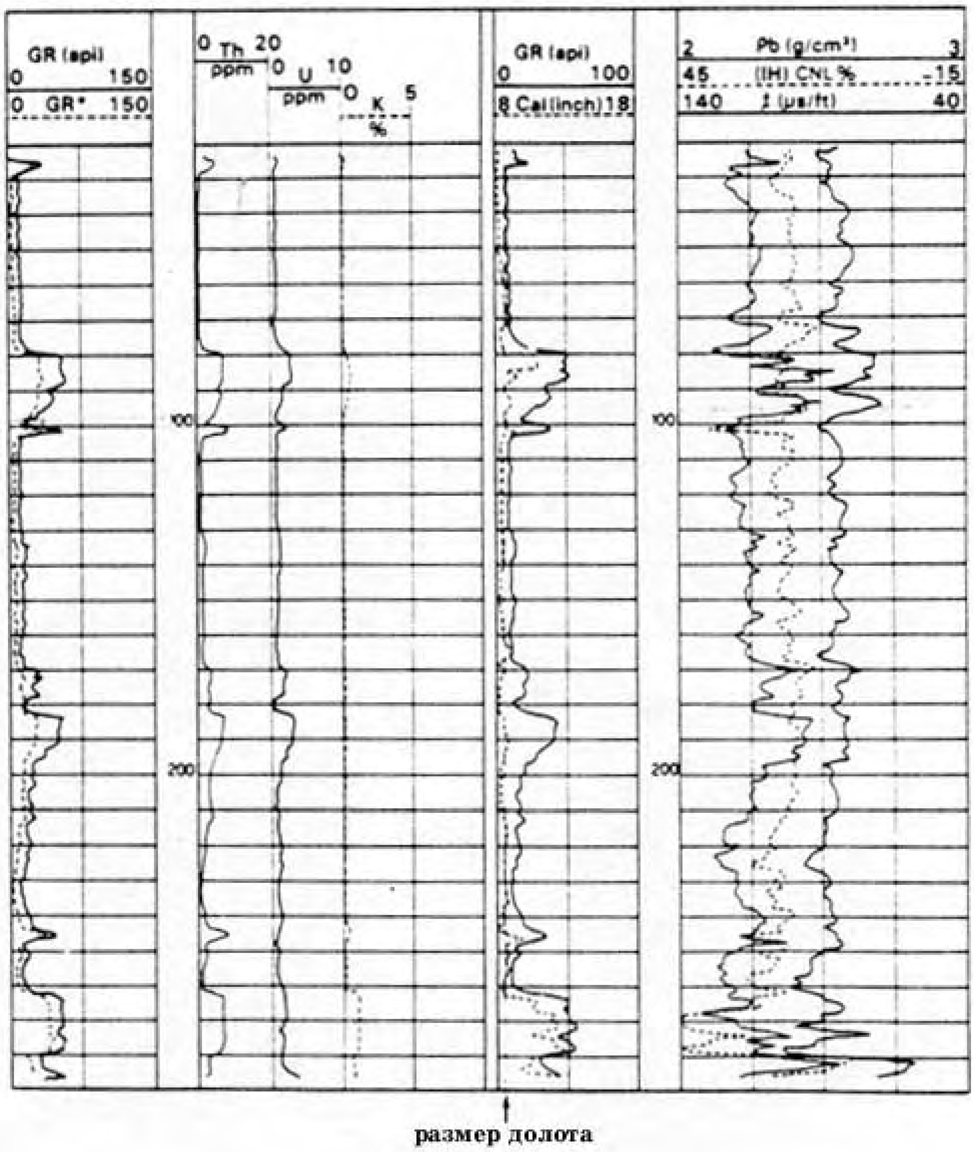



**Рис.3-26а. Сводная диаграмма для песчаников, богатых радиоактивными минералами с высоким содержанием тяжелого изотопа тория и урана. Около глубины 200 футов наблюдается рост показаний ГК, тория, калия и $\rho_b$, и более или менее постоянная величина по нейтронному каротажу и АК.**

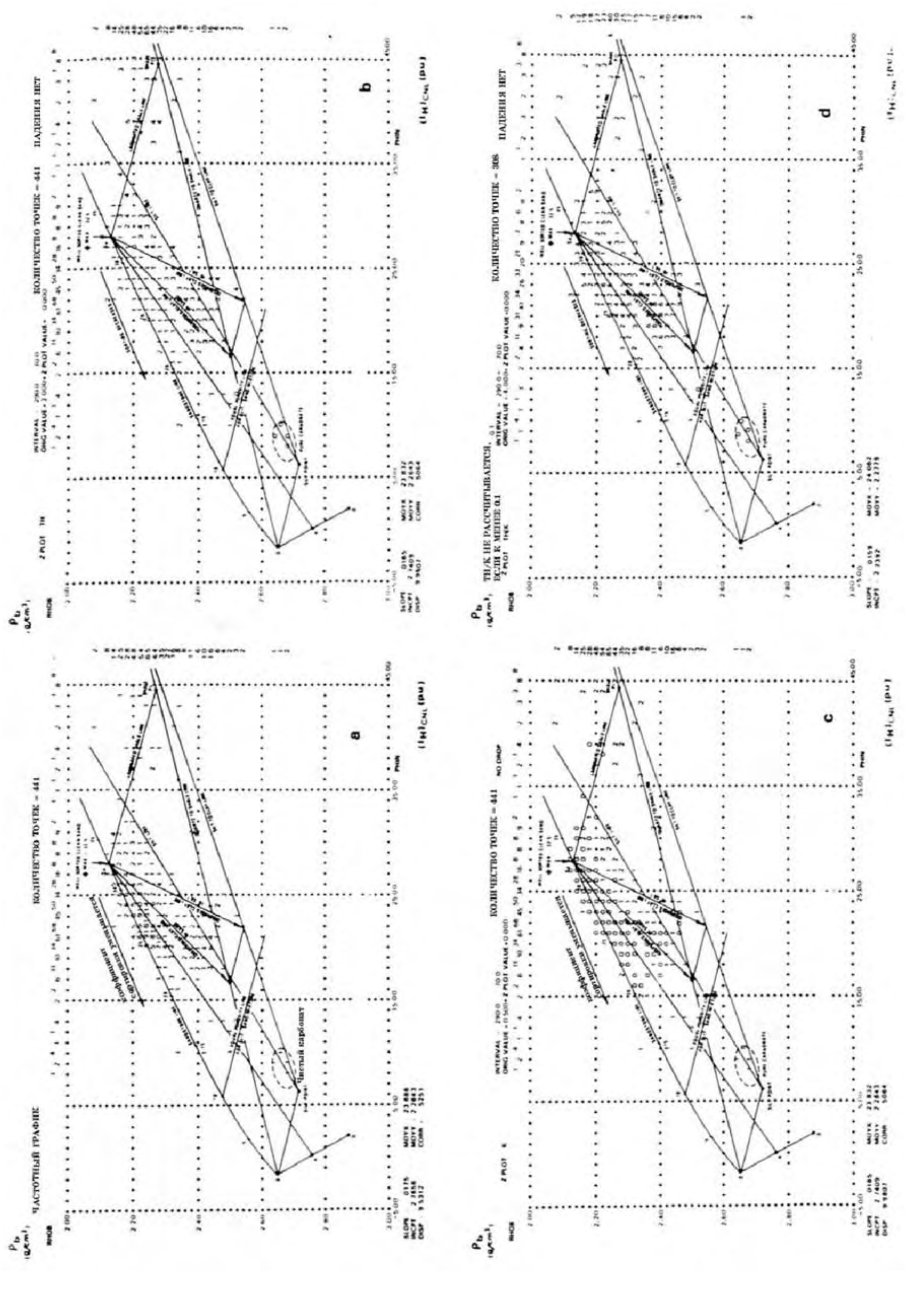



Рис.3-26b. Графики взаимной зависимости $\rho_b$ и N, с частотой (a), содержанием тория (b), содержанием калия (c) и отношением торий-калий (d), по тому же интервалу, что и рис.3-26а, и их интерпретация.

Если мощность каждого гранулометрического комплекса очень мала, каротажные зонды не могут выявить эти эволюции размера зерен. Следовательно, лучше использовать кривые сопротивления наклономеров HDT* или SHDT*. Их высокая разрешающая способность позволяет выявить комплексы мощностью несколько сантиметров (рис.3-27).

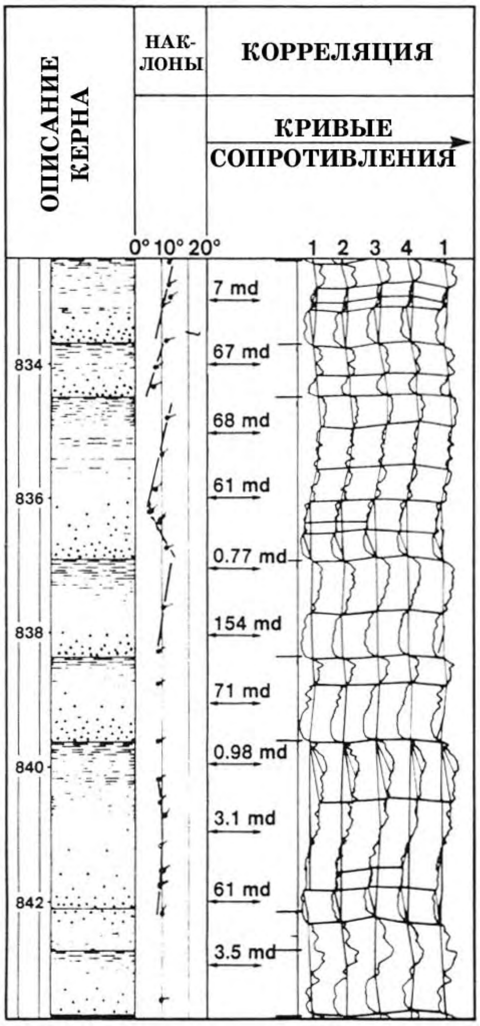



Рис.3-27. **Пример очень хорошо выявленной эволюции размера зерен по данным наклонометрии с микрозондами сопротивления, даже в комплексе мощностью 1-2 фута. Эти результаты подтверждаются описанием керна (левая колонка).**

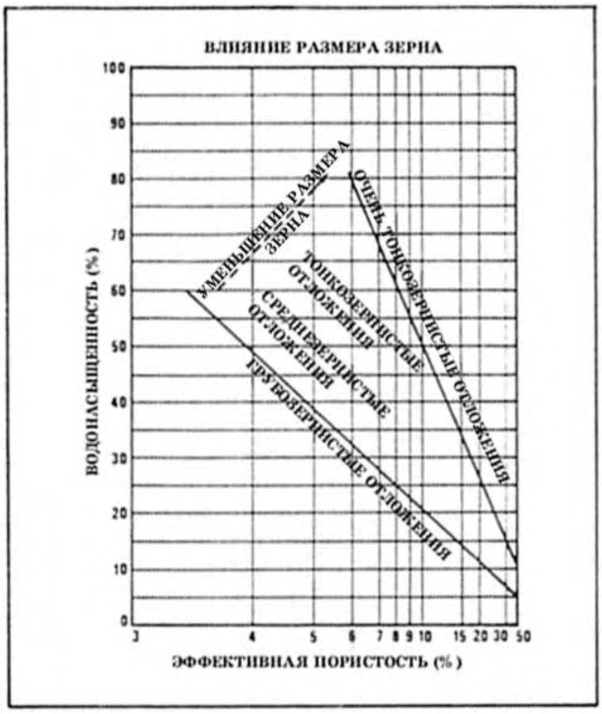



**Рис.3-28. Соотношение между минимальной водонасыщенностью, пористостью и размером зерен**.

Если плохо консолидированный обломочный коллектор содержит углеводороды, мы можем наблюдать существование хорошей корреляции между размером зерен и минимальной водонасыщенностью (рис.3-28). Последняя, зависит, фактически, от проницаемости, которая, в свою очередь, определяется размером зерен (рис.3-29).

Наконец, диаметр зоны проникновения, который может быть выведен по данным микрокаротажа, может составить хороший показатель размера зерен. Пример на рис.3-30 показывает эволюцию кривых микрокаротажа сопротивления, которая может быть коррелирована с изменениями размера зерен (в данном случае – нормальная градационная слоистость). Эти изменения оказывают влияние на диаметр зоны проникновения; пористость в рассматриваемом интервале постоянная

### **3.4.1.2.** *Коэффициент сортировки*

Можно подойти к этому параметру в процессе исследования эволюции пористости. Фактически, для песчаного пласта на данной глубине, у нас есть основания предположить, что расположение и упаковка одинаковы для всех размеров зерен, а пористость в общем случае понижается с уменьшением коэффициента сортировки.

На рис.3-31 приведен пример изменения коэффициента сортировки. Уровни 9 и 10 представляют среднюю пористость, близкую к 35%. Если учесть их глубину (7000 футов), такую высокую пористость можно с определенностью отнести за счет хорошей сортировки. Низкая радиоактивность этих уровней, в сочетании с сильным прогибом кривых ПС рассматривается как признак присутствия радиоактивных минералов, иных, нежели глинистые сланцы. Гранулометрия этих уровней должна быть от тонкой до очень тонкой. Уровень 11 демонстрирует пониженную пористость (25%), при меньшей радиоактивности и идентичном собственном потенциале. Следовательно, такое падение пористости должно указывать на плохо сортированный песок, от грубозернистого до тонкозернистого.

Лучший способ анализа данного явления снова заключается в построении кроссплота (типа Z-плота), который сочетает водородный показатель и коэффициент пористости по нейтронному каротажу и плотность с величинами радиоактивности, собственного потенциала, или количеством тория или калия. На таком кроссплоте (рис.3-32), от точки, определяющей максимальную пористость для данного интервала, который соответствует лучшей сортировке, падение пористости вдоль линии песка (не менее 15%), представляет понижение уровня сортировки.

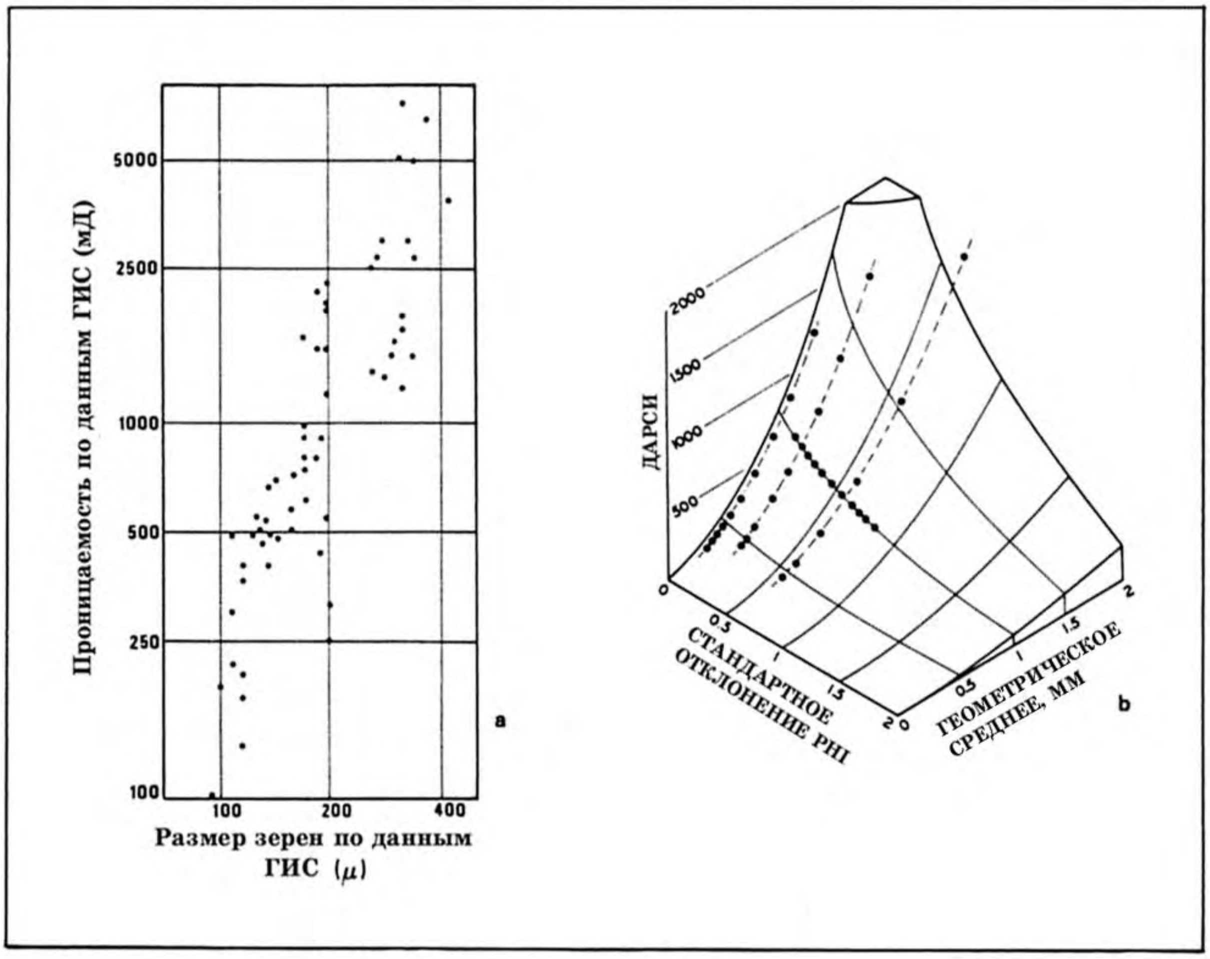



**Рис.3-29. a) Соотношение между проницаемостью и размером зерен (из von Engelhardt, 1960). b) Соотношение между проницаемостью, средним размером зерен и стандартным отклонением phi (из Krumbein и Monk, 1942).**

*Замечание*

*Это падение пористости может соответствовать цементации за счет осаждения кремнезема. Даже если данное предположение не может быть полностью отвергнуто, оно все же маловероятно, если мы рассматриваем существующую высокую пористость*.

### 3.4.1.3. *Ориентация зерен*

На преимущественную ориентацию зерен, теоретически, должна указывать анизотропия сопротивления, отражающая анизотропию проницаемости, по которой она выведена. Но, поскольку различие между вертикальным и горизонтальным удельным сопротивлением невелико (около 1.5), считается, что его вклад в изменение по двум горизонтальным осям анизотропии считается несущественным, т.к. это изменение может быть объяснено другими причинами (контактом прижимного башмака, толщиной глинистой корки и т.д.).

В настоящее время не представляется возможным подойти к этому явлению с количественной точки зрения. Тем не менее, мы можем использовать относительные прогибы или, более определенно, направления течений, определенные по замерам наклона и по «красным» или «синим» картинам на векторных диаграммах.

### 3.4.1.4. *Расположение или упаковка*

Этот параметр недоступен, поскольку мы вполне обоснованно можем предположить, что после проходки нескольких сотен метров, упаковка осадочного материала такова, что расположение зерен становится более плотным.

Исследование пористости в коротком интервале, или, чтобы было понятнее, в любой данной точке, не может дать информацию об упаковке. Все вариации пористости могут быть вполне правдоподобно объяснены изменением коэффициента сортировки или диагенетическими эффектами.

С другой стороны, эволюция пористости с глубиной в длинном интервале объяснит изменение упаковки под действием уплотнения и/или диагенеза. Этот аспект будет проанализирован при исследовании уплотнения.

### 3.4.1.5. *Форма зерен*

Если песчанистая формация является химически незрелой и, следовательно, богатой полевыми шпатами, слюдой и т.д., о чем свидетельствует регистрация плотности и ГК (относительно высокое содержание калия), мы можем прийти к выводу о существовании структурной незрелости и угловатых зерен. С другой стороны, если песок выглядит очень чистым, характеризуется весьма низкой радиоактивностью и высокой пористостью, мы можем предположить существование химически и текстурно зрелого песка. Другими словами, речь идет о хорошо размытом или отсеянном и хорошо сортированном песке со сферическими зернами.

Согласно Sen (1980, 1981), форма зерен оказывает сильное влияние, когда электромагнитное поле применяется перпендикулярно к листам (слюдам). Следовательно, пески с высоким содержанием чешуек слюды, должны показывать более высокую диэлектрическую проницаемость, чем можно ожидать по данным замеров для кварца и слюды. Анализ данных, зарегистрированных с помощью аппаратуры EPT, должен обеспечить определение ориентации чешуек слюды и, следовательно, указать на наличие вертикальных или горизонтальных барьеров проницаемости в слюдистом песке.

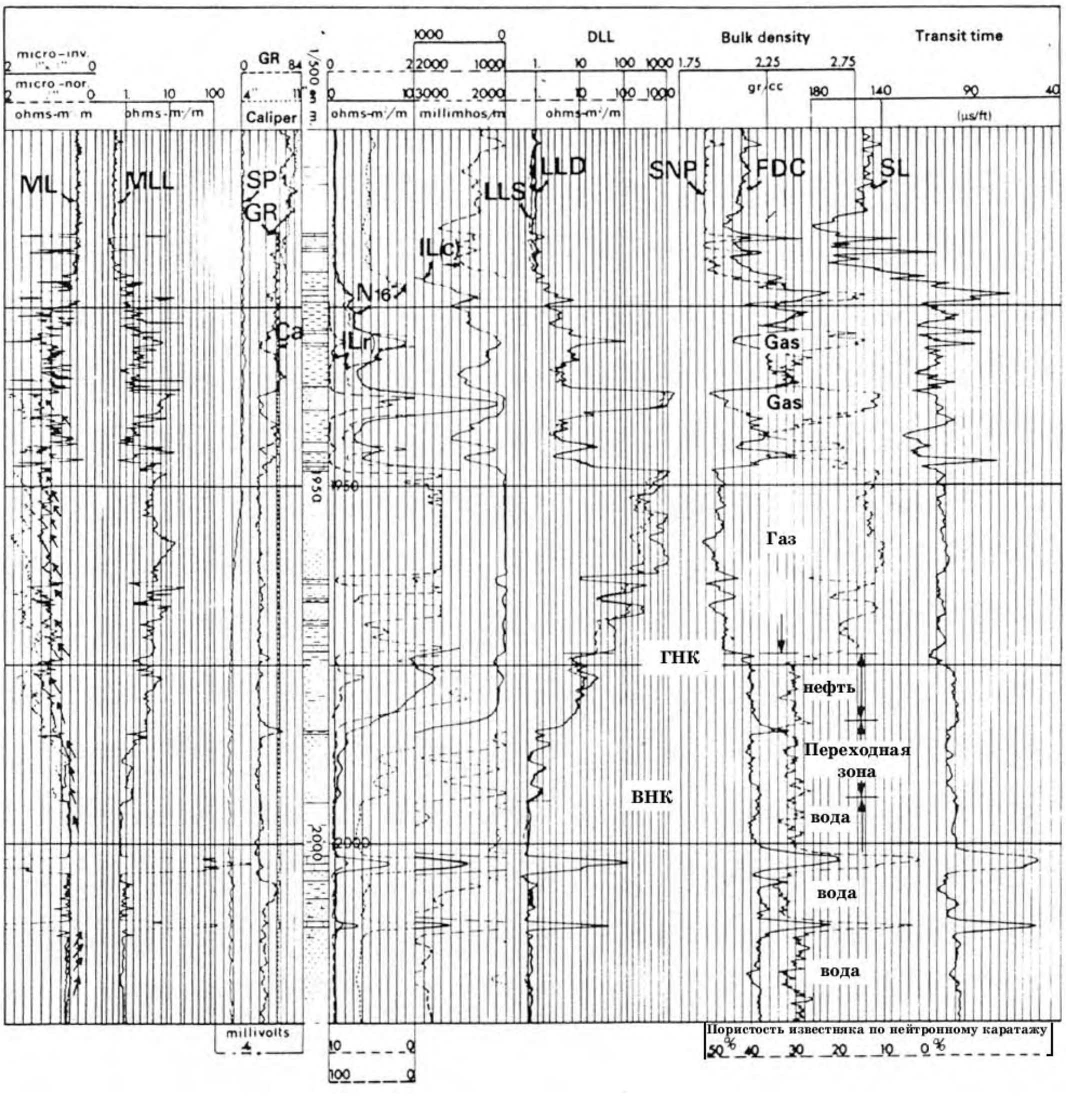



**Рис.3-30. Посмотрите на кривые микрокаротажа сопротивления. Их эволюция отражает изменения диаметра зоны проникновения, возможно, в связи с увеличением размера зерен. Обратите внимание на количество комплексов, которые могут быть выявлены в этом массивном песчаниковом коллекторе благодаря микрокаротажу.**

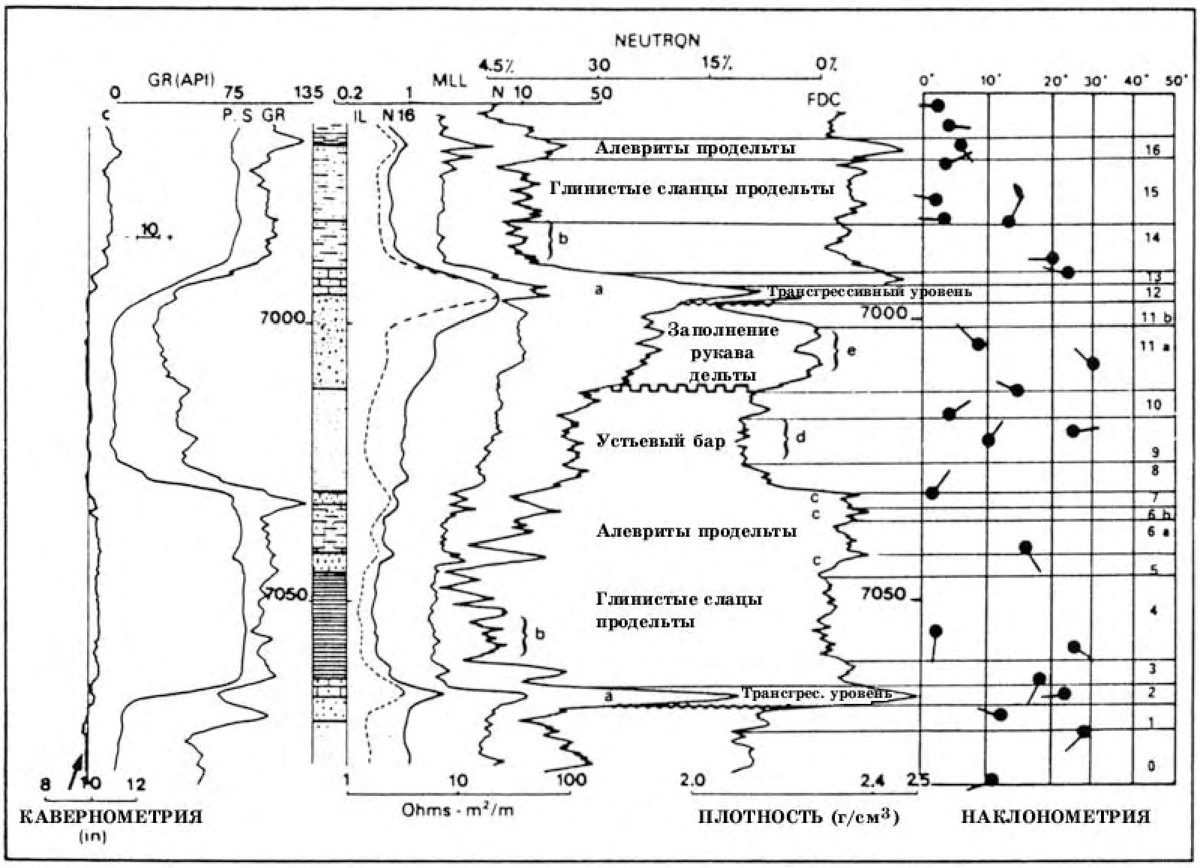



**Рис.3-31. Пронаблюдайте изменение пористости от уровней 9, 10 и 11, соответствующее изменению коэффициента сортировки. Два нижних слоя песка можно описать как тонкие, чистые, хорошо сортированные, с незначительной радиоактивностью; верхний песок является более крупнозернистым и плохо сортированным (из Serra и Sulpice, 1975).**

### 3.4.2. Обломочные консолидированные формации (песчаники)

В этом случае относительное содержание цемента является более важным. Пористость ниже, следовательно, не всегда бывает просто вывести определенные заключения, касающиеся зерен. Тем не менее, при одном и том же содержании цемента, уменьшение пористости должно быть отнесено за счет снижения коэффициента сортировки.

Тип цемента может быть определен по минералогическому составу породы, получаемому в результате анализа данных ГИС. В случае неоднозначности (кальцитовый или доломитовый цемент?), следует помнить, что, поскольку цементация всегда следует после процесса осадконакопления, объем цемента, добавленного к величине пористости, не может превышать максимальную величину пористости, которая существовала на начало процесса цементации.

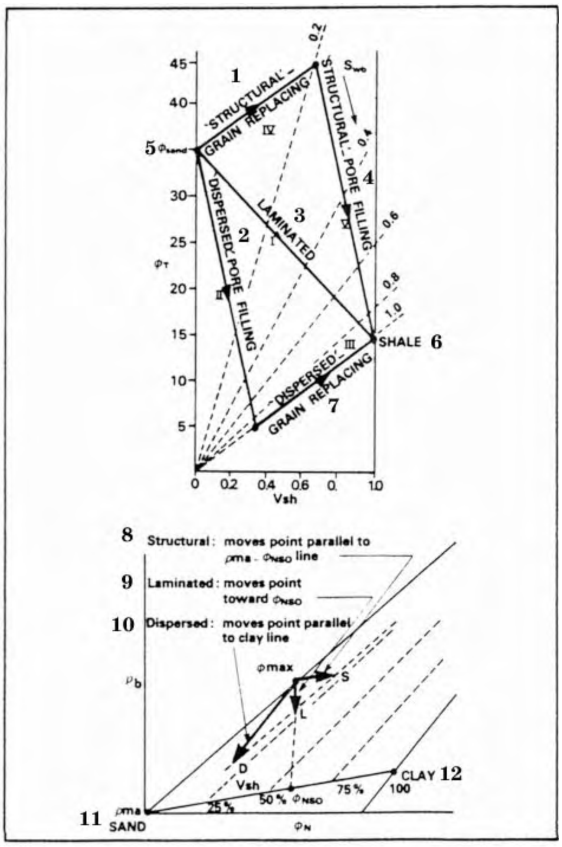


**Рис.3-32. Понижение коэффициента сортировки, эволюцию размера зерен и тип распределения глинистых сланцев можно предсказать в результате анализа графиков взаимной зависимости.**

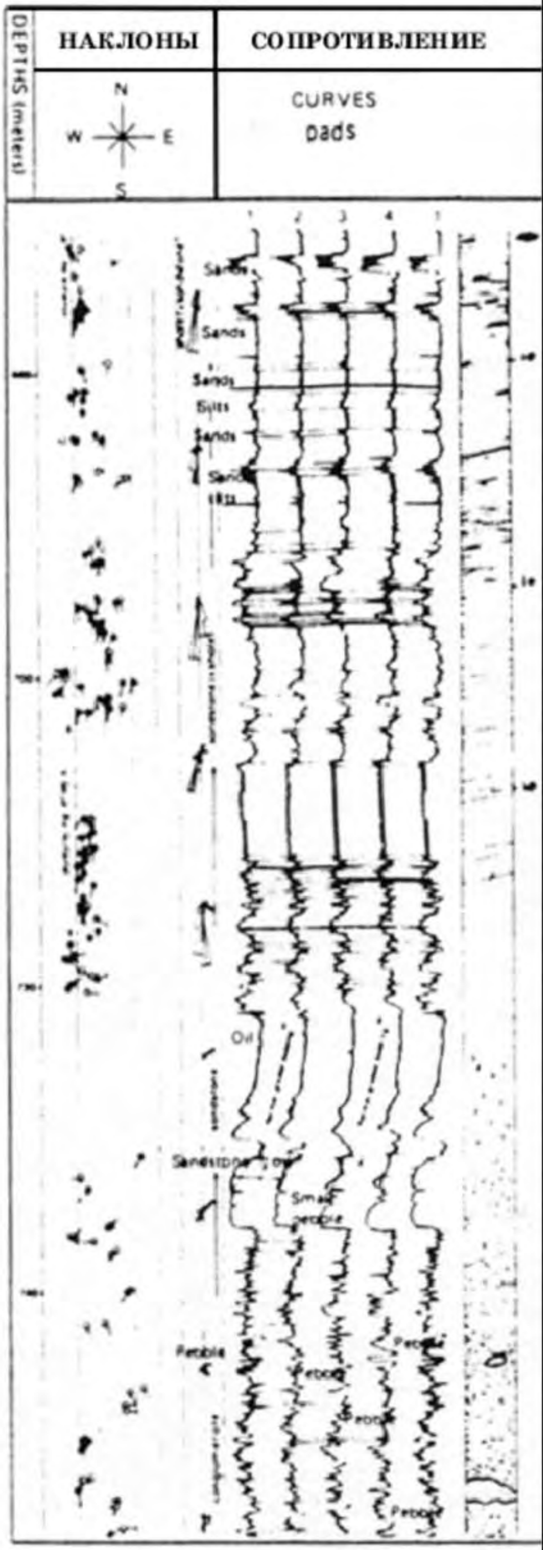
(1- ‘структурное‘ замещение зерен; 2- ‘дисперсное‘ заполнение пор; 3- ламинированное заполнение пор; 4- ‘структурное‘ заполнение пор; 5- $\varnothing_{песка}$; 6- глинистый сланец; 7- ‘дисперсное‘ замещение зерен; 8- Структурное: перемещает точки параллельно линии $\rho ma$-$\varnothing_{NSO}$; 9- Ламинированное: перемещает точки в сторону -$\varnothing_{NSO}$; 10- Дисперсное: перемещает точки параллельно линии глин; 11- песок; 12- глина)

Следовательно, если мы рассчитаем по графикам взаимной зависимости процентное содержание кальцитового цемента, которое выше обычного, следует принять гипотезу о доломитовом цементе, или, если существование кальцитового цемента подтверждается другими данными (Pe поплотностному каротажу LDT, анализом шлама), следует рассмотреть присутствие частиц известняка (биокластов, оолитов), ассоциированных с зернами кварца или полевых шпатов.

### 3.4.3. Конгломераты

Когда размеры гальки превышают размеры электродов, она может быть обнаружена с помощью наклономера или пластового микросканера (formation microscanner) FMS*, который будет рассмотрен в следующей главе. Обычно галька характеризуется более высоким сопротивлением, чем матрица, в которой она заключена. Следовательно, каждая галька различается по максимуму сопротивления, форма которого изменяется с размером, относительным содержанием и расположением гальки. Это придает кривым неоднородный вид, при практически полном отсутствии корреляции между ними (рис.3-33). Когда гальки соприкасаются между собой («зернистый конгломерат»), максимумы располагаются очень близко один к другому; там, где гальки изолированы в песчанистой или глинисто-песчанистой матрице («конгломерат, сцементированный глиной»), пики являются разобщенными (рис.3-34). Другие виды каротажа в открытом стволе могут указывать на детритовые формации с преобладанием кварца и, часто, полевых шпатов и слюд, или гальки, происшедшей от изверженных пород. Аппаратура NFS может быть весьма полезной для определения типа радиоактивных минералов.

Имея изображение FMS, можно даже определить средний размер гальки и иногда их ориентацию (рис.3-35), если диаметр превышает 5 мм.




**ОПИСАНИЕ КЕРНА**

Глинистый сланец, темно-серый до черного, твердый, микрослюдистый,
обломки растений, без флюоресценции.

Второстепенные кальцитовые жилы (кристаллический кальцит)
Тонкие линзы и слойки песчаников,
цемент коричневый, алевритистый, твердый, с пятнами нефти.
плохо видимая пористость, флюоресценция золотого цвета, выделение нефти и незначительное выделение пузырьков газа.

Песчано-глинистый коэффициент=1/200
Слои глинистого сланца, искаженные вокруг песчаных линз.

Переслаивание песчаника и глинистого сланца, Песчано-глинистый коэффициент =6/4.

- Песчаники: достаточно хорошо отсортированные, с алевритистым цементом.

Пирит, углистые включения, плохо видимая пористость, значительный запах нефти, золотая флюоресценция. Мощность песчаных слоев возрастает с глубиной.

- Глинистые сланцы: темно-коричневые до темно-серых, не известковистые, твердые, углистые и микрослюдистые, неправильные слои.

- Песчаник, массивный, сортировка от умеренной до хорошей, с редкими крупными зернами. Достаточно хорошо цементирован алевритистым цементом. Локальные известковистые включения.

Редкий пирит. Достаточно видимая пористость. Флюоресценция золотого цвета, запах нефти, выделение пузырьков нефти и газа, от умеренного до хорошего.

- С незначительной слоистостью глинистого сланца, черного до темно-серого, твердого, микрослюдистого, с обломками растений.

Песчано-глинистый коэффициент =100/1

Песчаник, достаточно сортированный, локально цементированный алевритом.
Некоторое количество кварцитовой гальки (от 5 до 1 см). Неоднородная флюоресценция золотого цвета, пятна нефти.
Выделение пузырьков нефти и газа.

Песчаник конгломератовый, кварцитовый и глинистая галька (1 см), твердая, зеленоватая, не известковистая.

Песчаник, с сортировкой от умеренной до хорошей, пористость от плохо видимой до достаточно видимой, флюоресценция желто-золотого цвета, запах нефти.

Песчаник конгломератовый, кварцитовый и глинистая галька.

Конгломерат с песчаниковой матрицей, цементация от умеренной до хорошей (цемент алевритистый и глинистый), пористость от плохо видимой до достаточно видимой.
Флюоресценция желто-золотого цвета, умеренный запах нефти.
Незначительное выделение пузырьков газа и нефти.

- Присутствие пирита и слюд в не известковистой матрице.
  Галька угловатая до почти окатанной, различного размера, различного происхождения (кварциты, окаменелая глина).
  Плохая сортировка

**Рис.3.33. Пример зернистого конгломерата.**

### 3.4.4. Карбонатные формации

Мы знаем, что в этом типе формации ранние диагенетические эффекты имеют тенденцию к полному изменению начальной текстуры. Следовательно, в этом частном случае, у нас будет возможность получить информацию о текстуре.

Кривые наклономера с микрозондами сопротивления после корреляции с керном могут указать на некоторые типы текстуры. На рис.3-36 показано, что по форме кривых сопротивления могут быть распознаны кальцирудиты или баундстоны, калькарениты или грейнстоны и кальцилютиты или аргиллиты.

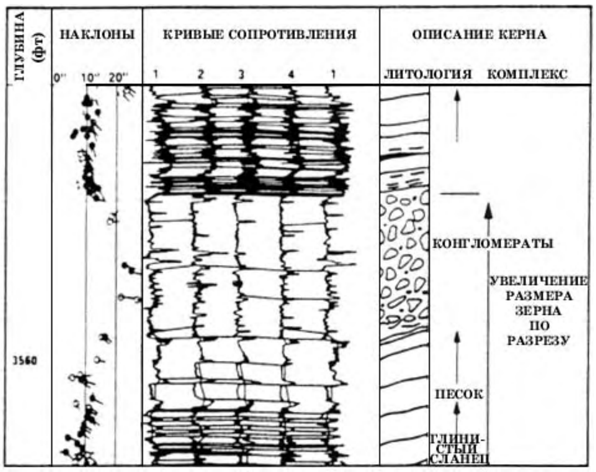



**Рис.3-34. Пример конгломерата, сцементированного глиной. Пронаблюдайте изолированные максимумы на кривых сопротивления.**


**Рис.3-35. Пример распознавания гальки на изображениях FMS (с разрешения Schlumberger).**

Согласно рис.3-37, имеется хорошее совпадение между описанием керна, данным в единицах процентного содержания компонентов, и кривой сорпотивления. Такое совпадение позволяет дать весьма детальное описание формации (рис.3-38) в единицах содержания аргиллита, ваккита, пакстона, грейнстона и даже баундстона. Это представляет значительный интерес для палеогеографического восстановления рифовых условий, особенно если имеются данные спектрометрии естественного гамма-излучения (аппаратура NGS), фотоэлектрического показателя (Pe) и плотности (аппаратура LDT). Содержание урана, измеренное аппаратурой NGS, отразит условия восстановления (присутствие урана) или окисления (отсутствие урана), что, в свою очередь, может помочь в определении тылового рифа или передовой части рифа. Величина Pe покажет значение доломитизации.

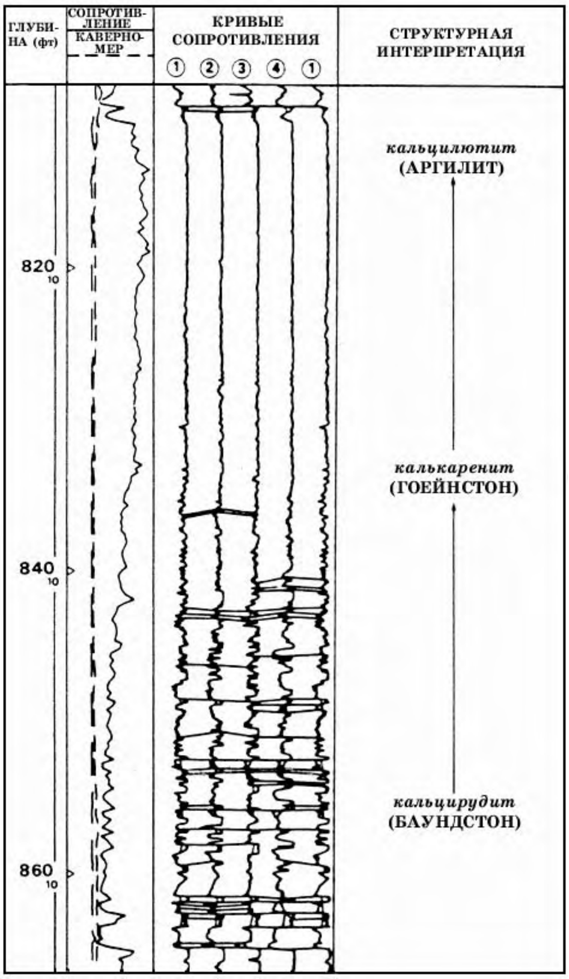



**Рис.3-36. Пример записи GEODIP в рифовой среде. Обратите внимание, что вид кривой наклономера с микрозондами сопротивления (аппаратура HDT) позволяет разделить баундстон или кальцирудит, грейнстон или калькаренит, и аргиллит или кальцилютит, в соответствии с термиами, предложенными Dunham (1962) или Grabau (1903).**

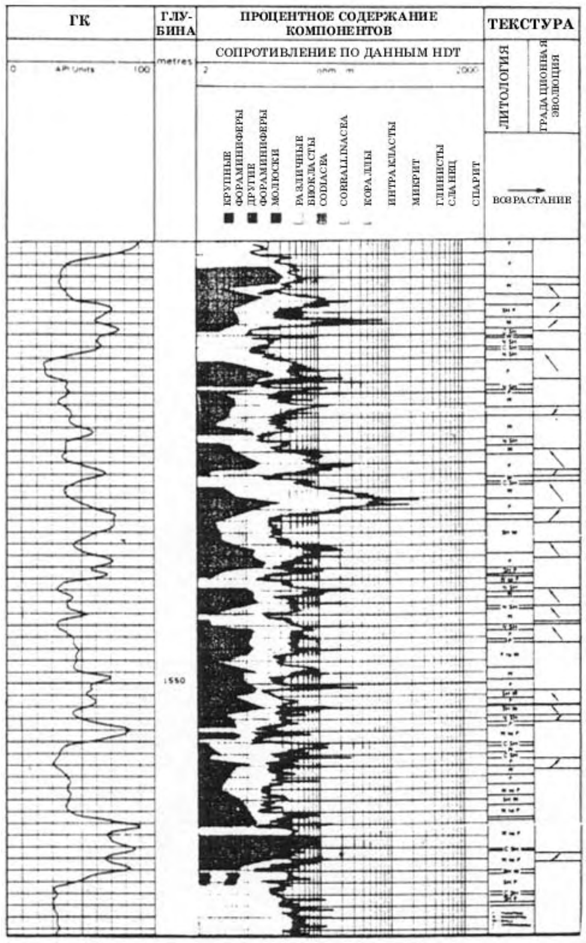
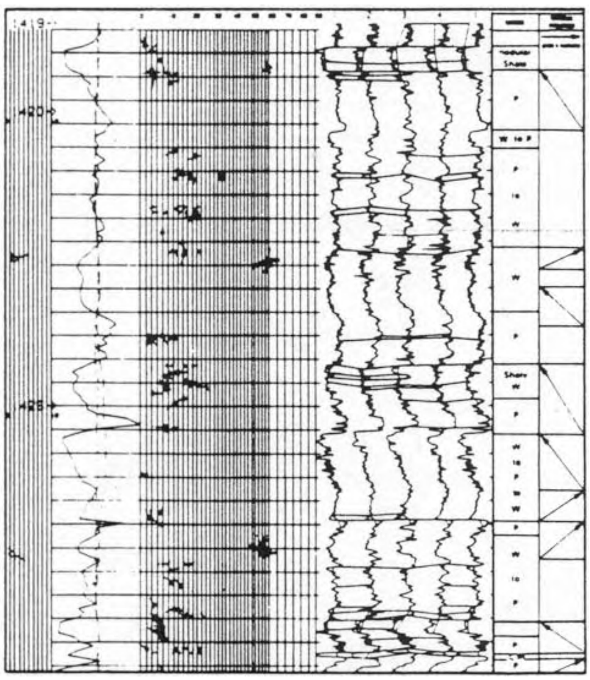



**Рис.3-37. Сопоставление текстурной интерпретации кривых микрокаротажа HDT с описанием керна (из Schlumberger, Well Evaluation Conference, India, 1983).**



W = ваккит; P = пакстон

**Рис.3-38. Весьма детальная интерпретация данных наклонометрии в карбонатной формации Индии (из Schlumberger, Well Evaluation Conference, India, 1983).**

Путем сопоставления с результатами анализа керна, было установлено эмпирическое соотношение между (a) параметрами наклона и кривой, и (b) фациями в карбонатах (см. Таблицу 3-6).

Таблица 3-6

*Соотношение между записями наклономера*
*и литофациями в карбонатах*

(из Theys и др., 1983).

| Запись GEODIP или LOCDIP | | | | | ФАЦИИ |
|---|---|---|---|---|---|
| АКТИВНОСТЬ КРИВЫХ | ПЛОТНОСТЬ КОРРЕЛЯЦИИ | ВЕЛИЧИНА НАКЛОНА | КАРТИНЫ НАКЛОНА | РЕЖИМ | |
| очень низкая | низкая до полного отсутствия | - | | | кальцилютит, аргиллит, мел |
| средняя | средняя до низкой | - | - | - | калькаренит или ваккит, пакстон или грейнстон вблизи рифа |
| средняя | средняя | средняя | синие, иногда красные | UNI | дельтовая слоистость оолитовые или биокластические отмели азимут падения указывает на основное направление течения |
| | | переменная | | SCATTER | косая слоистость |
| средняя | высокая | низкая | зеленые | UNI | ламинированные аргиллиты, или мергели, или глинистые сланцы здесь должен читаться структурный наклон |
| | | | красные | UNI | облекание предшествующего поднятия (рифа, бара…) |
| высокая | низкая | | разброс | - | кальцирудит, ваккит (рифовая осыпь) или баундстон (риф) или ангидритовые желваки (надлиторальные плоскотины) (для опознания см. $\rho_b$) или биотурбация |

Высокая пористость в сочетании с незначительным проникновением, при условии непрерывного прослеживания по определенному интервалу, может объяснить присутствие мела. Конечно, другие виды каротажа в открытом стволе должны показывать состав известняка.

Иногда проще определить существование пустот. Их можно даже видеть с помощью пластового микросканера (FMS) (рис.3-39). Пустоты соответствуют максимумам проводимости на кривых сопротивления, или темным пятнам неправильной формы на изображениях. Другие виды каротажа в открытом стволе подтвердят карбонатный характер породы.

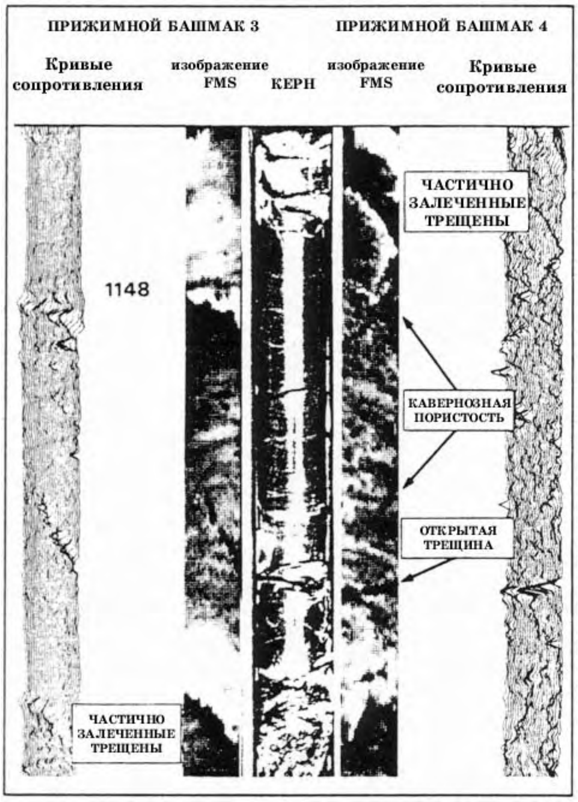



**Рис.3-39. Примеры пустот на изображениях FMS (с разрешения Schlumberger).**

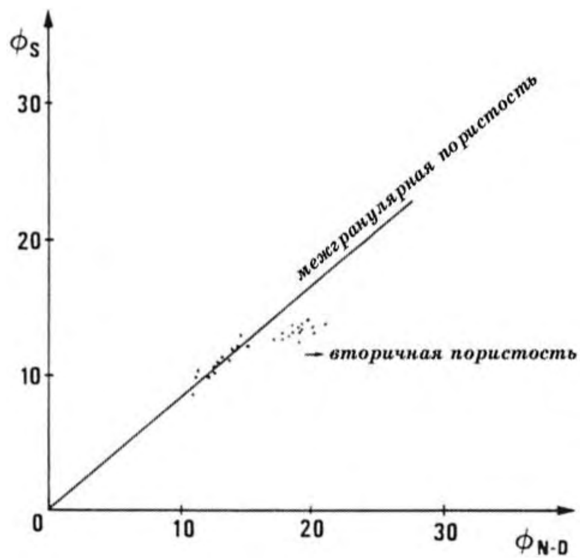



**Рис.3-40. Выявление вторичной пористости путем сопоставления пористости, полученной по АК, с пористостью, выведенной по комбинации плотностного и нейтронного каротажа**.

Пустоты связаны с вторичной пористостью вследствие растворения кристаллов кальцита или доломита в процессе циркуляции воды. Мы знаем, что в этом случае, аппаратура АК«не видит» эту вторичную пористость[1]. Следовательно, сопоставление пористости, определенной по комбинации показаний плотностного и нейтронного каротажа (аппаратура, которая «видит» общую пористость, связанную или не связанную), с пористостью, выведенной по показаниям АК, покажет эту пустотную пористость (рис.3-40). Показатель этой вторичной пористости (SPI) рассчитывается и воспроизводится рядом с левой дорожкой на изображении результатов вычисления (рис.3-41). Для этой цели мы можем также использовать M-N-плот (M-N-plot), или методику MID-плот (MID-plot) (рис.3-42).

Распределение пор в породе влияет на время пробега звуковой волны и на сопротивление. Сопротивление «не видит» изолированные или несвязанные поры (рис.3-43). На него влияют не размеры пор, а только сеть капилляров, связывающих поры.

[1] Фактически, первые вступления соответствуют одному, траектория которого пропустила большую часть пустот. В лучшем случае, показатель вторичной пористости (secondary porosity index – SPI) представляет ее минимальную величину. Правильнее было бы говорить о показателе неоднородности распределения пор, который, конечно, зависит от присутствия вторичной пористости. Правильное распределение небольших пустот должно формировать нулевой показатель вторичной пористости, а это означает, что аппаратура АК должна «видеть» общую пористость.

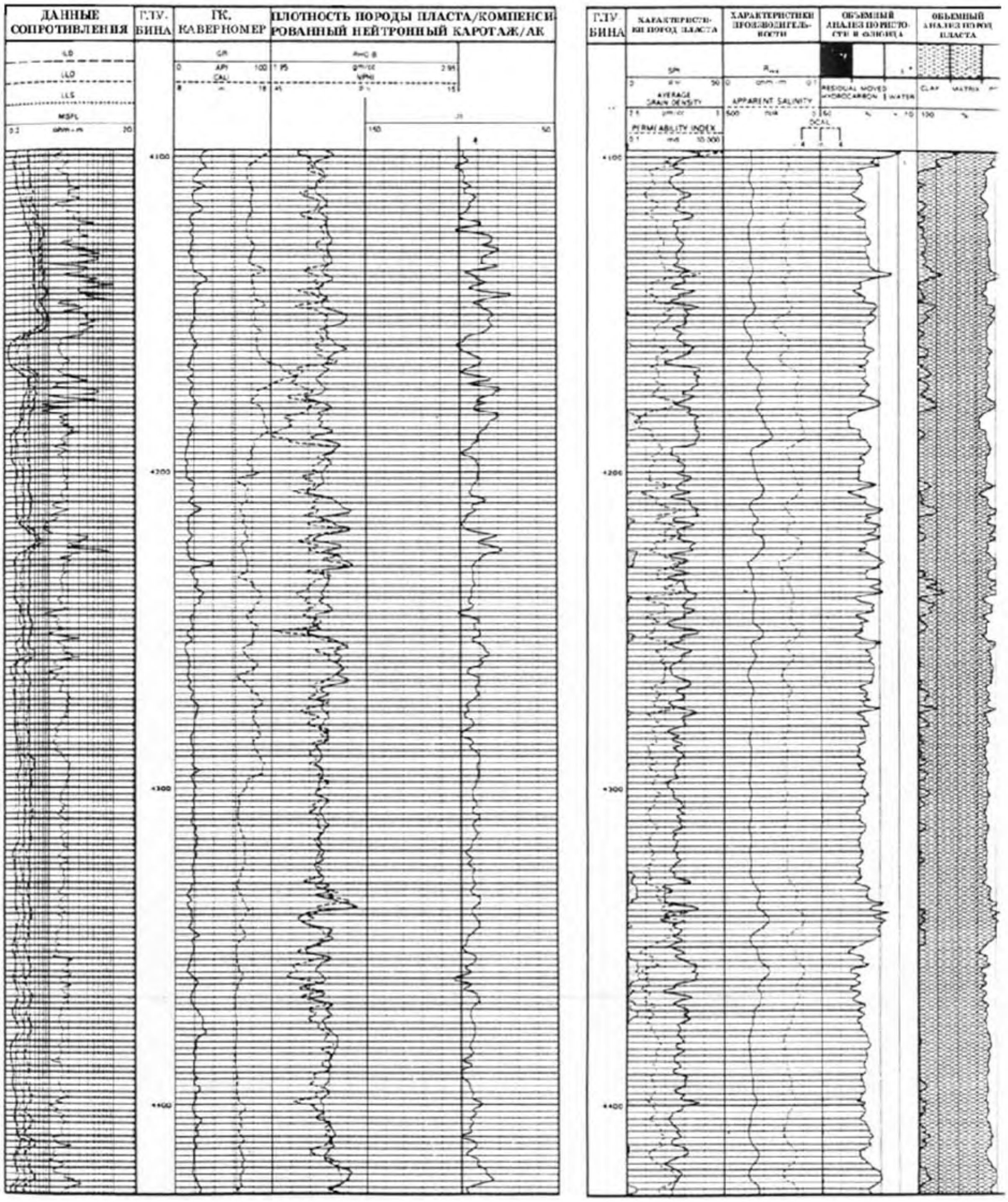


**Рис.3-41. Изображение диаграмм в открытом стволе и результатов расчета вместе с показателем вторичной пористости (из Schlumberger, Well Evaluation Conference, Emirats/Qatar, 1981).**

Brie *и др*. (1985) разработали метод анализа акустических и электрических измерений, основанный на модели Kuster-Toksoz для скоростей звуковых волн, и на модели Maxwell-Garnett для сопротивления. Этот метод определяет величину сферической (или оолитовой – oomoldic) пористости в карбонатных породах. Вышеназванные авторы предложили также способ оценки коэффициента цементации по уровням, исходя из показаний сферической пористостипо АК (рис.3-44). Этавеличина может быть использована для получения более точного значения водонасыщенности в таких коллекторах. Упоминается также, что точность модели может быть повышена путем ее сочетания с другими измерениями, чувствительными к структуре (например, с измерением диэлектрической проницаемости).

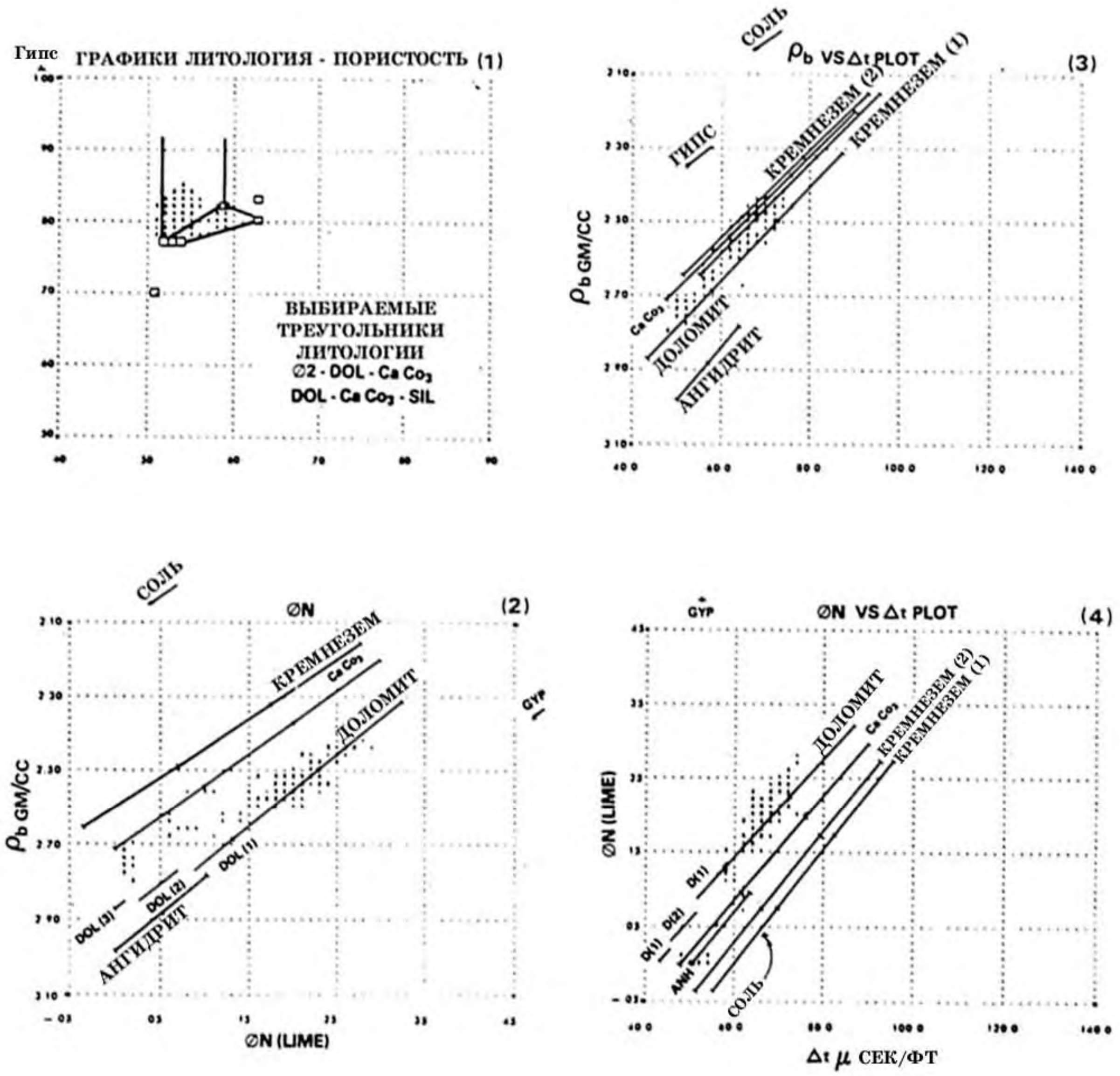




**Рис.3.42** Несколько графиков взаимной зависимости, позволяющих выявить вторичную пористость (из Clavier и др. 1976)

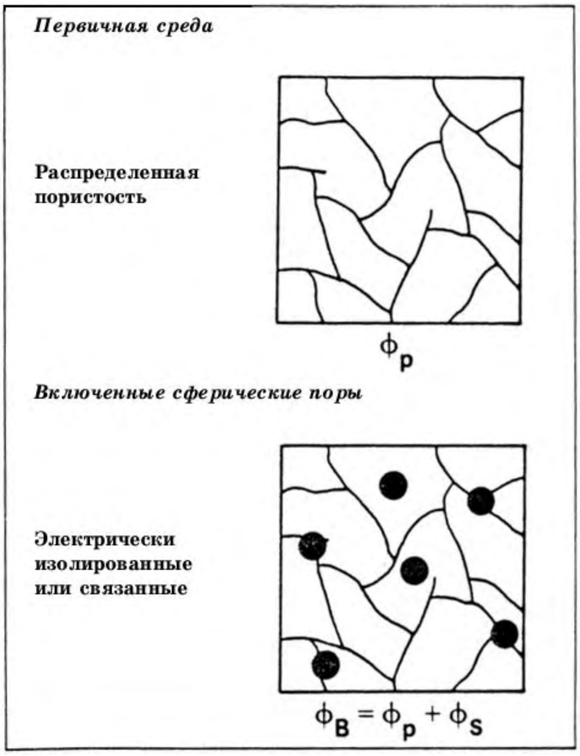



**Рис.3-43. Схематическое представление влияния пустот (предполагается, что они являются более или менее сферическими или оолитовыми) на электрические свойства (из Brie *и др.*, 1985).**

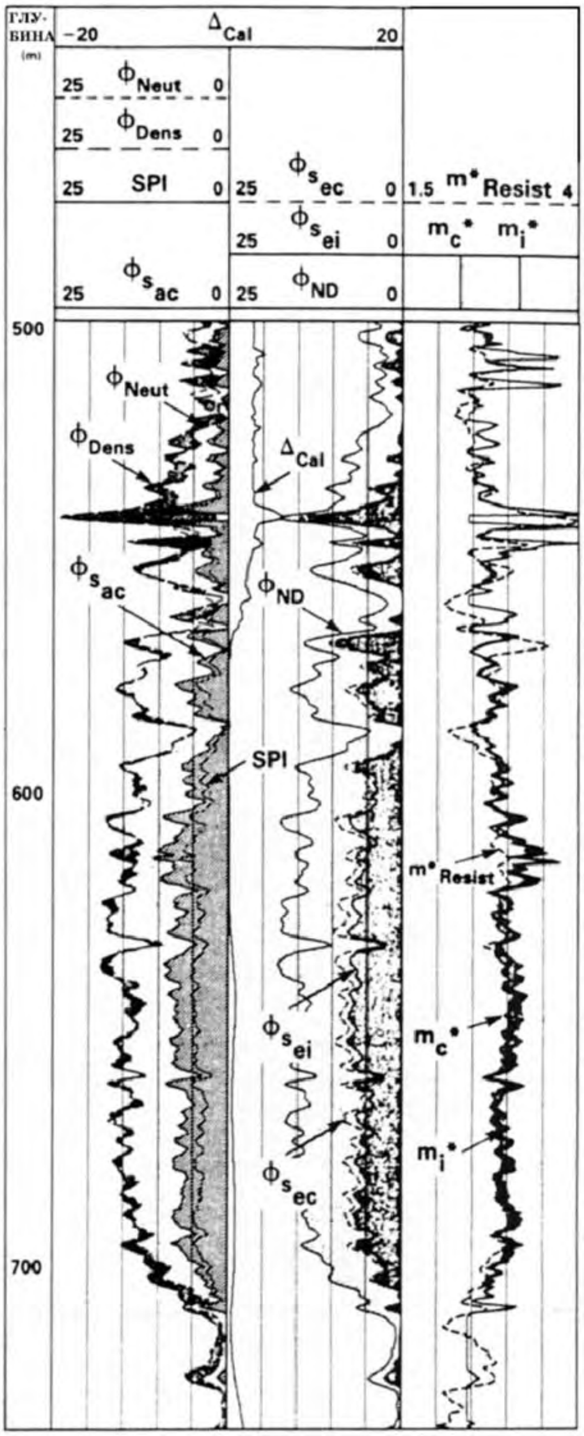


**Рис.3-44. Пример результатов расчета сферической пористости (из Brie *и др.*, 1985).**

Как следует из недавних работ, измерения диэлектрической проницаемости, выполненные с помощью аппаратуры высокочастотного электромагнитного каротажа с прижимным зондом (EPT), совместно с данными, выделенными с помощью приборов микрокаротажа, могут помочь в определении микрогеометрии карбонатной породы.

Kenyon (1984), Kenyon и Baker (1984) продемонстрировали необходимость введения «бимодальной модели», учитывающей микрогеометрию породы (форму пор и зерен) для объяснения реакции прибора EPT. Они поддерживают метод интерпретации измерения и выделяют эволюцию микрогеометрии и коэффициента цементации с глубиной в карбонатных сериях.

Rasmus и Kenyon (1985) разработали методику раздельной оценки количества межгранулярной и оолитовой воды, и использовали результаты для прогнозирования присутствия нефти и скорости ее потока в карбонатах.

В заключение, следует подчеркнуть важность знания текстуры для оценки проницаемости и для более точного расчета насыщенности, особенно в карбонатных коллекторах. Это знание поможет также в количественной интерпретации, способствуя выбору коэффициента m.

## *3.5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

ALGER, R.P. (1966). - Interpretation of Electric Logs in Fresh Water Wells in Unconsolidated Formations. *SPWLA, 7th Ann. Log. Symp. Trans., Tulsa.*

ALLEN, J.R.L. (1984). - Sedimentary structures. Their character and physical basis. *Developments in Sedimentology,* **30**. *Elsevier, Amsterdam.*

BEARD, D.C., & WEYL, P.K. (1973). - Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **57**, *p. 349-369.*

BLATT, H., MIDDLETON, G., & MURRAY, R. (1972, 1980). - Origin of Sedimentary Rocks. 1st and 2nd ed. *Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.*

BRIE, A., JOHNSON, D.L., & NURMI, R.D. (1985). - Effect of spherical pores on sonic and resistivity measurements. *SPWLA, 26th Ann. Log. Symp. Trans., paper W.*

CAROZZI, A.V. (Ed.) (1975). - Sedimentary Rocks. *Benchmark Papers in Geology,* **15**, *Dowden, Hutchinson, & Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania.*

CHOQUETTE, P.W., & PRAY, L.C. (1970). -Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **54**, *p. 207-250.*

CLAVIER, C., & RUST, D.H. (1976). - MID-PLOT : a new Lithology Technique. *The Log Analyst,* **17**, *6.*

DICKEY, P.A. (1979). - Petroleum Development Geology. *Petroleum Publishing Co., Tulsa.*

DODGE, C.F., HOLLER, D.P., & MEYER, R.L. (1971). - Reservoir heterogeneities of some Cretaceous sandstones. *Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **55**, *p. 1814-1828.*

DUNHAM, R.J. (1962). - Classification of Carbonate Rocks according to Depositional Texture. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **1**, *p. 108-121.*

ENGELHARDT, W.V. von (1960). - Der porenraum der sedimente. *Springer, Berlin, 207 p.*

FOLK, R.L. (1959). - Practical Petrographic Classification of Limestones. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **43**, *p. 1-38.*

FOLK, R.L. (1962). - Spectral subdivision of Limestone Types. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **1**, *p. 62-84.*

FRASER, H.J. (1935). - Experimental study of porosity and permeability of clastic sediments. *J. Geol.,* **43**, *p. 910-1010.*

FRIEDMAN, G.M., & SANDERS, J.E. (1978). -Principles of Sedimentology. *John Wiley & Sons, New York.*

GRATON, L.C., & FRASER, H.J. (1935). - Systematic packing of spheres with particular relation to porosity and permeability. *J. Geol.,* **43**, *p. 785-909.*

GRABAU, A.W. (1903). - Paleozoic coral reefs. *Bull. Geol. Soc. Amer.,* **14**, *p.337-352.*

HOBSON, G.D., & TIRATSOO, E.N. (1975). -Introduction to Petroleum Geology. *Scientific Press Ltd, Beaconsfield, England.*

KENYON, W.E. (1984). - Texture effects on megahertz dielectric properties of calcite rock samples. *J. Appl. Phys.,* **55**, *8, p. 31533159.*

KENYON, W.E., & BAKER, P.L. (1984). - EPT interpretation in Carbonates drilled with salty muds. *59th Ann. Tech. Conf. SPE of AIME, paper SPE 13192.*

KRUMBEIN, W.C., & MONK, G.D. (1943). -Permeability as a function of the size parameters of unconsolidated sand. *Petroleum Technol., AIME Techn. Publ. 1492,* **5**, *p.1-11.*

KRUMBEIN, W.C., & SLOSS, L.L. (1963). -Stratigraphy and Sedimentation. 2nd ed. *W.H. Freeman, & Co., San Francisco.*

KUSTER, G.T., & TOKSOZ, M.N. (1974). - Velocity and Attenuation of Seismic Waves in Two-Phase Media : Part I, Theoretical Formulations; Part II, Experimental results. *Geophysics,* **39**, *5.*

LANDES, K.K. (1951). - Petroleum Geology. *John Wiley, & Sons, New York.*

LEE, C.H. (1919). - Geology and groundwaters of the western part of San Diego County, California. *Wat.-Supply Irrig. Pap. Wash.,* **446**, *121 p.*

LEET, L.Don, JUDSON, S., & KAUFFMAN, M.E. (1978). - Physical Geology. 5th ed. *Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.*

LINK, P.K. (1982). - Basic Petroleum Geology. *OGCI Publications, Tulsa.*

LOMBARD, A. (1956). - Géologie Sédimentaire. Les séries marines. *Masson, Paris.*

LOMBARD, A. (1972). - Séries sédimentaires. Genèse - Evolution. *Masson, Paris.*

LONGMAN, M.W. (1980). - Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **64**, *p. 461-487.*

MAXWELL-GARNETT, J.C. (1904). - Transactions of the Royal Society, **203**, *p. 385, London.*

MIDDLETON, G.V. (1976). - Hydraulic interpretation of sand size distributions. *J. Geology,* **84**, *p. 405-426.*

NEASHAM, J.W. (1977). - The morphology of dispersed clays in sandstone reservoirs and its effect on sandstone shaliness, pore space and fluid flow properties. *52nd Ann Fall Meet SPE of AIME, paper SPE* **6858**.

NURMI, R.D., & FRISINGER, M.R. (1983). — Synergy of Core petrophysical measurements, log data, and rock examination in carbonate reservoir studies. *58th Ann. Fall Mtg. and Techn. Conf. of SPE of AIME, paper SPE* **11969**.

PETTIJOHN, F.J. (1930). - Imbricate arrangement of pebbles in a pre-Cambrian conglomerate. *Jour. Geol.,* **38**, *p. 568-573.*

PETTIJOHN, F.J. (1975). - Sedimentary Rocks. 3rd ed. *Harper, & Row, Publishers, New York.*

PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E., & SIEVER, R. (1972). - Sand and Sandstone. *Springer, New York.*

PICKETT, G.R. (1960). - The use of acoustic logs in the evaluation of sandstone reservoirs. *Geophysics,* **25**, *1, p. 250-274.*

PICKETT, G.R. (1963). - Acoustic Character Logs and their Applications in Formation Evaluation. *J. Pet. Technol.,* **15**, *6.*

POTTER, P.E., & PETTIJOHN, F.J. (1977). -Paleocurrents and Basin Analysis. 2nd ed. *Springer, New York.*

PRYOR, W.A. (1973). - Permeability-porosity patterns and variations in some Holocene sand bodies. *Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **57**, *p. 162-189.*

RASMUS, J.C., & KENYON, W.E. (1985). - An improved petrophysical evaluation of oomoldic Lansing-Kansas City Formation utilizing conductivity and dielectric log measurements. *SPWLA, 26th Ann. Log. Symp. Trans., paper V.*

REINECK, H.E., & SINGH, I.B. (1975, 1980). -Depositional Sedimentary Environments. 1st and 2nd ed. *Springer, New York.*

ROGERS, W.F., & HEAD, W.B. (1961). - Relationships between porosity, median size, and sorting coefficients of synthetic sands. *J. Sediment. Petrol.,* **31**, *p. 467-470.*

RUKHIN, L.B. (1958). - Grundzüge des Lithologie. *Akademie-Verlag, Berlin.*

RUSSELL, W.L. (1951). - Principles of Petroleum Geology. *McGraw-Hill Book Co., New York.*

SARMA, V.V.J., & RAO, V.B. (1963). - Variation of Electrical Resistivity of River Sands, Calcite and Quartz Powders with Water Content. *Geophysics, April.*

*Schlumberger* (1979). - Well Evaluation Conference. Algeria.

*Schlumberger Middle East S.A.* (1981). - Well Evaluation Conference. United Arab Emirates/ Qatar.

*Schlumberger Technical Services, Inc.* (1982). -Essentials of Natural Gamma ray Spectrometry Interpretation.

*Schlumberger Technical Services, Inc.* (1983). -Well Evaluation Conference. India.

SELLEY, R.C. (1970, 1978, 1985). - Ancient Sedimentary Environments. 1st, 2nd and 3rd ed. *Chapman & Hall, London.*

SELLEY, R.C. (1976). - An Introduction to Sedimentology. *Academic Press, London.*

SEN, P.N. (1980). - Dielectric and conductivity response of sedimentary rocks. *SPE of AIME, paper 9379.*

SEN, P.N. (1981). - Relation of certain geometrical features to the dielectric anomaly of rocks. *Geophysics,* **46**, *p. 1714-1720.*

SERRA, O. (1972). - Diagraphies & Stratigraphie. In : *Mém. B.R.G.M.,* **77**, *p. 775-832.*

SERRA, O. (1973). - Interprétation Géologique des diagraphies en Séries Carbonatées. *Bull. Centre Rech. Pau - SNPA,* **7**, *1, p. 265-284.*

SERRA, O. (1974). - Interprétation géologique des Séries deltaïques à partir des diagraphies différées. *Rev. A.F.T.P.,* **227**, *Oct., p. 9-17.*

SERRA, O., & ABBOTT, H. (1980). - The Contribution of Logging data to Sedimentology and Stratigraphy. *55th Ann. Fall Techn. conf. SPE of AIME, paper SPE 9270, and in SPE J., Feb. 1982.*

SERRA, O., & SULPICE, L. (1975). - Sedimentological Analysis of shale-sand series from well logs. *SPWLA, 16th Ann. Log. Symp. Trans., paper W.*

SERRA, O., & SULPICE, L. (1975). - Apports des diagraphies différées aux études sédimentologiques des séries argilo-sableuses traversées en sondage. *9th Cong. Intern. Sédiment., Nice, thème 3, p. 86-95.*

THEYS, P., LUTHI, S., & SERRA, O. (1983). - Use of dipmeter in Carbonates for detailed sedimentology and reservoir engineering studies.

VATAN, A. (1954). - Pétrographie sédimentaire. *Ed. Technip, Paris.*

VISHER, G.S. (1965). - Use of vertical profile in environmental reconstruction. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **49**, *p. 41-61.*

# Глава 4. ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОСАДОЧНОЙ СТРУКТУРЕ

**(Описание породы)**

## *4.1. ОБЗОР ОБЩИХ ПОНЯТИЙ*

### 4.1.1 Определение

Согласно Pettijohn и Potter (1964), «структура является неотъемлемым свойством породы и руководством для определения ее происхождения. Если текстура имеет дело с отношениями зерен в породе, то структура характеризует потерю непрерывности и основные неоднородности. Структура касается организации осадочного материала – особенностей его отложения. Следовательно, структура представляет собой более крупный элемент, который, в общем случае, лучше исследуется в обнажении, нежели на небольшим образце или в тонком разрезе». Вышеназванные авторы объясняют локальные изменения состава или структуры.

Осадочная структура относится к мегаскопическим морфологическим характеристикам. Эти характеристики исследовались в течение некоторого времени, поскольку они часто видны невооруженным глазом. Они включают мощность и форму пластов, их внутреннюю организацию, природу их поверхностей, отдельности, конкреции, кливаж и содержание окаменелостей.

Первичные осадочные структуры формируются скоростью течения, препятствующей действию силы тяжести, и ее эволюцией (размыв, эрозионные знаки, знаки ряби (рис.4-1 – 4-3), косая слоистость, волнистая слоистость, градационная слоистость (рис.4-4)). В числе других факторов можно назвать биологическую активность (следы, следы движения, фукоиды, корни растений), а также действие климатических или физических агентов (трещины усыхания, ямки, отпечатки нагрузки, конволютная слоистость, оползневые текстуры).

«Некоторые структуры зависят от текстуры. Например, знаки ряби, и косая слоистость характеризуют только те осадки, где размер зерен не выходит за пределы песчаной размерности» (Pettijohn и др., 1964).

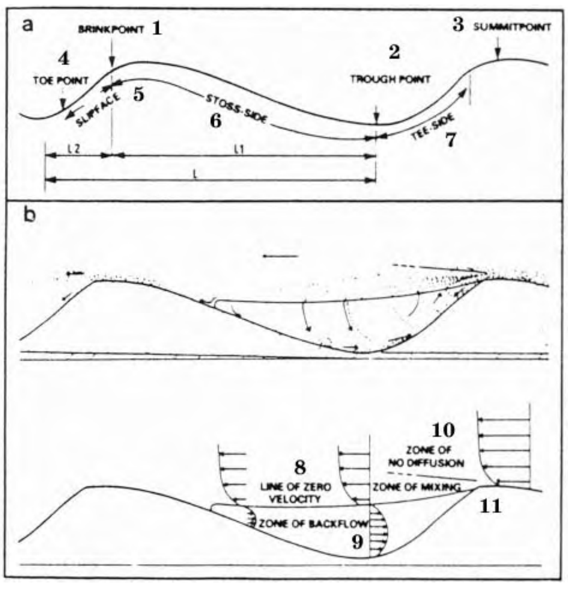



**Рис.4-1. (a) Термины, используемые в описании ряби. L – длина ряби. H – высота ряби. $L_1$ – горизонтальная проекция наветренной стороны склона. $L_2$ – горизонтальная проекция подветренной стороны склона. (b) Динамический механизм образования ряби.**

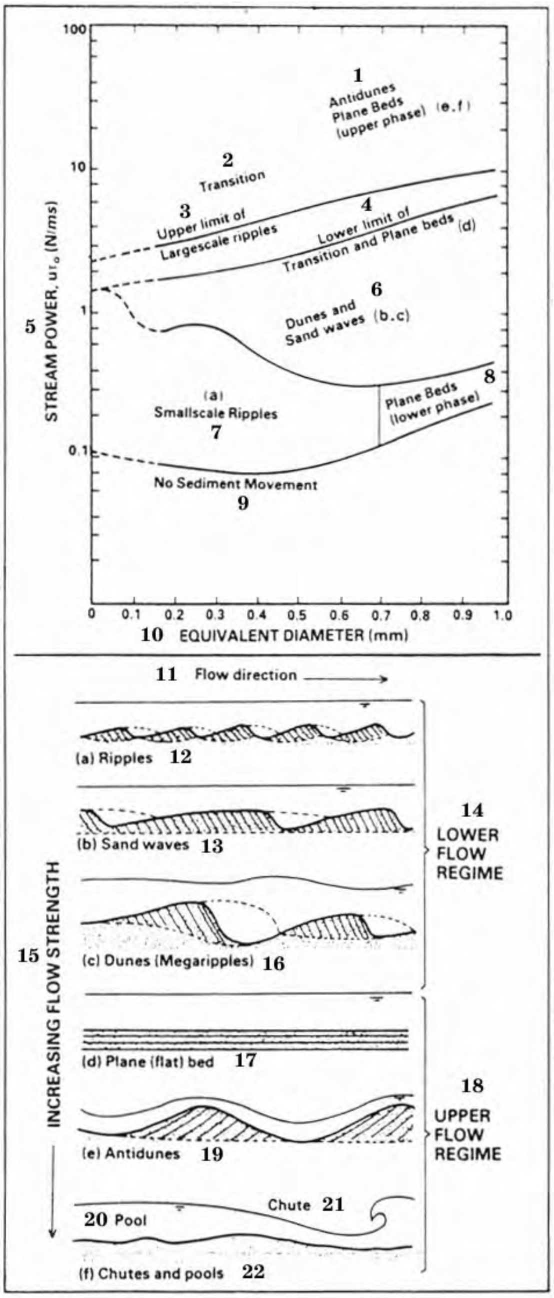
(1- Вершина подветренного склона; 2- Прогиб; 3- Вершина; 4- Подошва склона; 5- Поверхность скатывания; 6- Наветренная сторона склона; 7- Подветренная сторона; 8- Линия нулевой скорости; 9- Зона обратного течения; 10- Зона отсутствия диффузии; 11- Зона смешивания)

## 4.1.2. Важность осадочных структур

Первичные осадочные структуры особенно важны, т.к. они будут отражать гидродинамические условия во время осадконакопления (например, энергию, тип течения…). Они образуют существенный элемент фаций осадочной единицы (рис.4-5), и приводят к лучшему определению условий осадконакопления (Таблица 4-2).

Как упоминал Selley (1070), структуры, «в отличие от литологии и окаменелостей, несомненно, формируются на месте, и никогда не могут быть привнесены извне».

Следовательно, важно выявить структуры, анализируя данные ГИС в открытом стволе, в особенности данные наклонометрии и аппаратуры Formation MicroScanner*.



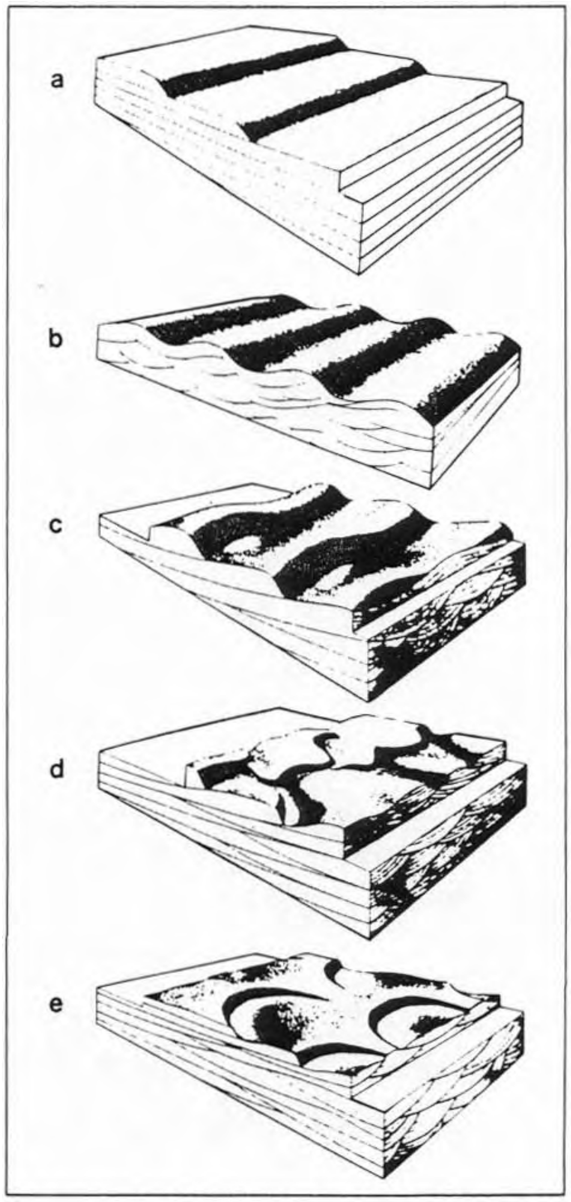




**Рис.4-3. Различные типы знаков ряби. (a) Мелкая рябь течения с прямым гребнем. Единицы с косой слоистостью являются плоскими. (b).**

* Марка Schlumberger

**Рис.4-2. Соотношение между энергией течения и формой пласта (из Allen, 1968, и Blatt *и др*., 1980).**
(1- Антидюны Плоские слои (верхняя фаза); 2- Переходная область; 3- Верхняя граница крупно-масштабной ряби; 4- Нижняя граница переходной области и плоских слоев; 5- Энергия потока; 6- Дюны и песчаные волны; 7- Мелкомасштабная рябь; 8- Плоские слои (нижняя фаза); 9- Движение осадков отсутствует; 10- Эквивалентный диаметр (мм); 11- Направление потока; 12- Рябь; 13- Песчаные волны; 14- Режим нижнего потока; 15- Возрастание энергии потока; 16- Дюны (мегарябь); 17- Плоские слои; 18- Режим верхнего потока; 19- Антидюны; 20- Плес; 21- Стремнина; 22- Стремнины и плесы)

**Асимметричная рябь волнения и косая слоистость, являющаяся ее результатом. (с). Волнистая мелкая рябь. Единицы с косой слоистостью имеют слабовыраженную фестончатую форму. На виде спереди, нижние единицы имеют резко выраженную форму впадин. d). Мигрирующая лингуоидная мелкая рябь. Единицы с косой слоистостью имеют резко выраженную фестончатую форму. e). Серповидная мегарябь. Единицы с косой слоистостью демонстрируют промоины в форме ложки (из Reineck и Singh, 1975).**

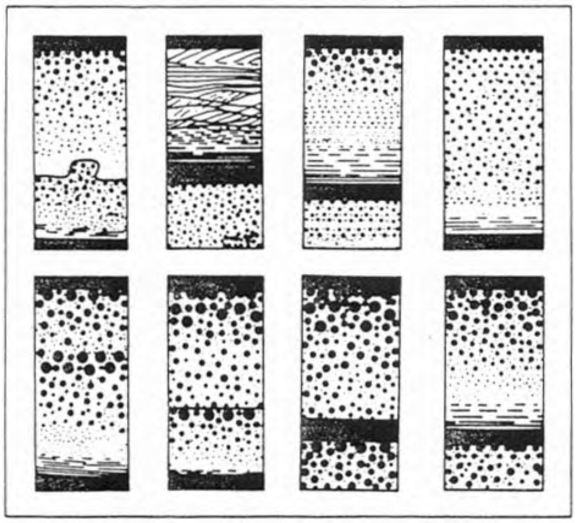


**Рис.4-4. Виды градационной слоистости (из Kuenen).**

Таблица 4-1
*Генетическая классификация ряби*
(из Reineck *и др*., 1971).

*а) Рябь течения (поперечный знак)*

| **Название** | **Характер гребня** | **Параметры размеров** | **Индекс ряби L.H.** | **Симметрия** | **Внутренняя структура** |
|---|---|---|---|---|---|
| Мелкая рябь течения | Прямой<br>Волнистый<br>Лингуоидный<br>Ромбоидный | L=4-60см (11,13)<br>H=до 6см (11,13) | > 5<br>(11,13)<br>В основном 8-15 | Асимметричная | Согласная с формой<br>Несогласная с формой<br>Climbing♣ (рябь набегания) |
| Мегарябь течения[a] | Прямой<br>Волнистый<br>Серповидный<br>Лингуоидный<br>Ромбоидный | L=0.6-30 м (9,13)<br>H=0.06-1.5 м (9,13) | В основном > 15 | Асимметричная | Согласная с формой<br>Несогласная с формой |
| Гигантская рябь течения[b] | Прямой<br>Волнистый<br>Раздвоенный | L=30-1000м (редко 20-30м)<br>H=1.5-15м (2,9,10) | В основном > 30<br>До 100 (2,9) | Асимметричная и симметричная | Известна только как несогласная с формой |
| Антидюны | Прямой | L=0.01-6м (7,10) H=0.01-0.45м (7,10) | | Почти симметричная | Согласная с формой (8)<br>Несогласная с формой (9) |

♣ Поперечные слойки знаков ряби, создаваемые наложенной мигрирующей рябью; гребни вертикально сменяющих друг друга слойков как бы набегают вверх по склону.
[a] Поле активной мегаряби может быть покрыто мелкой рябью.

[b] Поле активной гигантской ряби может быть покрыто мегарябью.

*b) Рябь волнения*

| Название | Характер гребня | Параметры размеров | Индекс ряби L.H. | Симметрия | Внутренняя структура |
|---|---|---|---|---|---|
| Симметричная рябь волнения | Прямой, частично раздвоенный | L=0.9-200см (4,5,11,15)<br>H=0.3-22.5см (4,11) | 4-13<br>В основном 6-7 (4,11) | Симметричная | Согласная с формой<br>Несогласная с формой<br>Рябь набегания |
| Асимметричная рябь волнения | Прямой, частично раздвоенный | L=1.5-105см<br>H=0.3-19.5см (4,11) | 5-16<br>В основном 6-8 (4,11) | Асимметричная<br>R.S.I.=1.1-3.8 (11) | Согласная с формой<br>Несогласная с формой<br>Рябь набегания |

c) *Изолированная (неполная) рябь*. (Формировалась на инородном субстрате в условиях малочисленных осадков)

| Название | Характер гребня | Параметры размеров | Симметрия | Внутренняя структура |
|---|---|---|---|---|
| Изолированная мелкая рябь волнения | Аналогично мелкой ряби течения | Аналогично мелкой ряби течения, но с меньшей высотой | Асимметричная | Согласная с формой<br>Несогласная с формой |
| Изолированная мегарябь течения | Прямой (6,7)<br>Искривленный (6)<br>В форме sichel (10) | Аналогично мегаряби течения, но с меньшей высотой | Асимметричная | Согласная с формой<br>Несогласная с формой (6,10) |
| Изолированная гигантская рябь течения (16) | Аналогично ряби течения | Аналогично гигантской ряби течения | Асимметричная<br>Симметричная | Согласная с формой |
| Изолированная рябь волнения | Прямой<br>Искривленный | Аналогично ряби волнения, но с меньшей высотой | Симметричная<br>Асимметричная | Согласная с формой<br>Несогласная с формой |

*d) Комбинированная (рябь течения/рябь волнения)*

| Название | Характер гребня | Параметры размеров | Симметрия | Внутренняя структура |
|---|---|---|---|---|
| Продольная рябь течения/рябь волнения (направление распространения волны составляет прямой угол с направлением течения) | Прямые, неразветвленные гребни параллельны направлению течения; встречаются также в иле | L=2.6-5см (16) | Симметричная и асимметричная | Согласная с формой (10,14) |
| Поперечная рябь течения/мелкая рябь волнения (направление распространения волны параллельно направлению течения) | Гребни в основном скругленные, расположены поперек направления течения (3) | | Асимметричная | Согласная с формой<br>Несогласная с формой |

*e) Ветровая рябь*

| Название | Характер гребня | Параметры размеров | Индекс ряби L.H. | Симметрия | Внутренняя структура |
|---|---|---|---|---|---|
| Ветровая песчаная рябь | Прямой, частично раздвоенный | L=2.5-25см H=0.3-1.0 см (1,12) | 10-70 и более (1,12) | Асимметричная | Ламинированный песок; редкие передовые слои. Концентрация крупного песка вблизи гребня. |
| Ветровая гранулярная рябь | Прямой, фестончатый, сходный с барханом | L=2.5см-20м H=2.5-60м (1,12) | 12-20 (12) | Асимметричная | Передовые слои в противоположных направлениях. Вторичное обогащение гранулами на гребне. |

Легенда: Продольная = гребень ряби параллелен направлению течения; поперечная = гребень ряби расположен под прямым углом к направлению течения. L = Длина ряби; H = Высота ряби.
(1) = Bagnold (1954b), (2) = Coleman (1969), (3) = Harms (1969), (4) = Inman (1957), (5) = Inman (1958), (6) = Newton and Werner (1969), (7) = Nordinn (1964), (8) = Panin and Panin (1967), (9) = Reineck (1963 a), (10) = Reineck and Singh (unpublished), (11) = Reineck and Wunderlich (1968 a), (12) = Sharp (1963), (13) = Simons et al. (1965), (14) = Van Straaten (1951), (15) = Werner (1963), (16) = Wunderlich (1969).


**Рис.4-5. (a) Соотношение между современными условиями и структурами (Blatt *и др.*, 1980). (b) Интерпретация Allen (1963) циклотем британского древнего красного песчаника (олдреда), в терминах режимов потока в модели меандрирующего русла.**

## Таблица 4-2
### *Случаи ряби в различных условиях осадконакопления*
### (из Reineck и Singh, 1975)

| | Мегарябь течения | Мелкая рябь течения | Рябь волнения | Слойчатость ряби набегания | Ромбоэдрическая рябь | Антидюны |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Река | ++ | ++ | 0 | ++ | 0 | 0 |
| Озеро | - | 0 | + | - | - | - |
| Берег озера | - | + | ++ | - | 0 | 0 |
| Лагуна | - | 0 | + | 0[a] | - | - |
| Литоральная плоскотина | + | ++ | ++ | 0 | 0 | 0 |
| Приливно-отливный канал стока и приливная протока | ++ | ++ | - | 0 | - | - |
| Верхний пляж и нижний пляж | + | + | ++ | 0 | + | + |
| Верхняя | | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| предфрон-тальная зона пляжа | + | + | + | - | - | - |
| Нижняя предфрон-тальная зона пляжа | - | 0 | + | - | - | - |
| Переходная зона | - | 0 | + | - | - | - |
| Илистый шельф | - | - | 0 | - | - | - |
| Песчаный шельф | + | + | 0 | - | - | - |
| Континен-тальный склон и под-ножие | - | 0 | - | - | - | - |
| Глубокое мо-ре | - | - | - | - | - | - |
| Глубокое мо-ре с песча-ным дном (sandy deep sea) | - | + | ? | - | - | - |
| Турбидит | 0 | + | - | + | - | 0 |
| Подводные горы | - | + | 0 | - | - | - |

[a]Слойчатость ряби набегания происходит только от ряби волнения.

++ распространенная + обычная 0 редкая - отсутствует

### 4.1.3. Классификация осадочных структур

Классификация структур может быть основана на *времени* их формирования. Они определяются следующим образом:

- *преседиментационные* (*predepositional*) – сформировались до отложения слоя. Эти структуры соответствуют особенностям, наблюдаемым на поверхности предыдущего слоя (например, эрозия или отпечатки;
- *сингенетичные, или первичные, или конседиментационные* (формировались параллельно процессу осадконакопления). Эти структуры содержат информацию о физических, химических или биологических условиях, существовавших на протяжении осадконакопления. Они подразделяются на неорганические и органические текстуры, в зависимости от их происхождения. Неорганогенные структуры являются результатом физических агентов, а органогенные структуры формируются в связи с органической деятельностью животных или растений (фукоиды, отпечатки, следы корней);
- *эпигенетические, или вторичные, или постседиментационные* – сформировались после осадконакопления. Эти структуры обычно имеют химическое происхождение. Эпигенетические структуры могут иметь физическое происхождение, т.е. являться результатом тектонических деформаций.

Можно предложить и вторую классификацию, основанную на агентах или процессах, которые создали осадочные структуры:

- *физические*, такие как действие силы тяжести, течения или давления (знаки ряби, следы выпахивания, конволютная слоистость, оползни, трещины усыхания…);

- *химические*, такие как растворение, конкреции;
- *биологические*, такие как фукоиды, следы, следы движения, отпечатки ног, следы корней…

Третья классификация осадочных структур основана на их *положении*:

- *внешние структуры*, которые охватывают размер и форму пластов, и, следовательно, характер их границ и форму нижней и верхней плоскостей напластования;
- *внутренние структуры*, которые относятся к внутренней организации пласта: массивные, ламинированные, градационная слоистость, структуры роста (строматолитовые известняки…).

Классификации, предложенные Krumbein и Sloss (1963), Selley (1976), в сущности, объединяют временной период и агент, тогда как классификация Pettijohn и Potter (1964) и Blatt и др. (1979) больше основываются на положении признаков (Таблица 4-3). Мы сохранили классификацию, выведенную по Pettijohn и Potter (Таблица 4-4), поскольку она лучше приспособлена для анализа и иллюстрации данных ГИС. Упоминается соотношение характерных особенностей и параметров, регистрируемых скважинными приборами, особенно наклономерами.

Таблица 4-3
*Классификация осадочных структур*
(из Pettijohn и Potter, 1964).

ВНЕШНЯЯ ФОРМА СЛОЕВ

1. Слои имеют *равную* или *почти равную* мощность: слои, однородные по мощности в латеральном направлении: выдержанные слои
2. Слои, *неравные* по мощности: слои, однородные по мощности в латеральном направлении: выдержанные слои
3. Слои, *неравные* по мощности: слои, изменяющиеся по мощности в латеральном направлении: выдержанные слои
4. Слои, *неравные* по мощности: слои, изменяющиеся по мощности в латеральном направлении: невыдержанные слои

ВНУТРЕННЯЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРА СЛОЕВ

1. Массивная (бесструктурная)
2. Слоистая (горизонтально-слоистая; с косой слоистостью)
3. Градационная
4. Черепитчатая и ориентированная внутренняя структура
5. Структуры роста (строматолиты и т.д.)

ЗНАКИ И НЕРОВНОСТИ ПЛОСКОСТЕЙ НАПЛАСТОВАНИЯ

1. На подошве слоя
   (a) Структуры нагрузки (отпечатки нагрузки)
   (b) Структуры течения (знаки размыва и следы выпахивания)
   (c) Следы деятельности организмов (следы окаменелостей)

2. Внутри слоя
   (a) Линейность течения на плоскостях напластования
   (b) Следы окаменелостей

3. На кровле пласта
   (a) Знаки ряби

(b) Эрозионные знаки (знаки промоины: серповидные намывы)
(c) Ямки и небольшие отпечатки (следы выхода пузырьков газа и дождевые отпечатки)
(d) Трещины усыхания, отпечатки трещин усыхания, отпечатки кристаллов льда, отпечатки кристаллов соли
(e) Следы окаменелостей

ПЛАСТЫ, ДЕФОРМИРОВАННЫЕ ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

1. Структуры обрушения и нагрузки (шарово-подушечные структуры, отпечатки нагрузки)
2. Конволютная слоистость
3. Оползневые структуры (складки, разломы и брекчии)
4. Инъекционные структуры (песчаниковые дайки и т.д.)
5. Органогенные структуры (фукоиды, «взбитые» (churned) слои и т.д.)

Таблица 4-4

*Соотношение между особенностями осадочных отложений и промыслово-геофизическими параметрами*

(из Serra, 1984)

| СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ (ОСАДОЧНЫЕ И ТЕКТОНИЧЕСКИЕ) | | | | МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЯВЛЕНИЯ |
|---|---|---|---|---|
| внешняя форма пласта | размер | вертикальная мощность | кажущиеся | все методы, но в особенности микрозонды и HDT, SHDT, FMS |
| | | | истинные | HDT, SHDT, FMS |
| | форма | изменение мощности по горизонтали | | корреляции HDT, SHDT, FMS (кривые и наклонные) |
| | расположение или последовательность слоев | | | все методы |
| | граница | вид | резкий, последовательный | все методы(форма кривых: колокол, воронка, цилиндр) |
| | | характер | согласный, несогласный | корреляция HDT, SHDT, FMS (кривые и наклонные) |
| особенности плоскости напластования | на подошве (на нижней границе) | физическое происхождение | нагрузка, эрозионные (знаки размыва) | HDT, SHDT (кривые и наклонные), FMS |
| | | | следы выпахивания | |
| | | органическое происхождение | следы движения, фукоиды | FMS |
| | на кровле (на верхней границе) | физическое происхождение | течение (рябь) | HDT, SHDT (кривые и наклонные), FMS |
| | | | следы эрозион. трещин усыхания | FMS |
| | | органическое происхождение | следы движения, фукоиды | |
| | массивные или однородные | | | все методы и HDT, SHDT (кривые), FMS |
| | неоднородные | | | HDT, SHDT (кривык и наклоны), FMS |
| | ламинарные | горизонтальная слоистость | | HDT, SHDT (кривык и наклоны), FMS |
| | | косая ламинация* | | HDT, SHDT (кривык и наклоны), FMS |
| | | передовые слои, косая слоистость | | все методы, но особенно HDT, SHDT, FMS |
| | градационная слоистость | | | (эволюция кривых |
| | ориентированная внутренняя структура роста | | | FMS? |
| | физическое происхождение | вертикальное движение | знаки нагрузки | HDT, SHDT (кривык и наклоны), FMS |
| | | | конволютная слоистость | FMS |
| | | | инекция трещины | FMS |
| | | | | все методы и HDT, SHDT (кривые, вращение прибора), FMS |
| | | | разломы | корреляция HDT, SHDT (эволюция наклона), FMS |
| | | горизонтальное движение | различные оползни | HGS |
| | | | падение | FMS |
| | органич. происхожд.: фукоиды | | | FMS |
| | химическое происхожд.: стилолиты | | | неоднородные кривые HDT, SHDT, FMS |
| | | | | HDT, SHDT с ГК или HGS, FMS |

*Косая слоистость, образованная передовыми слоями мощностью менее 1 см (McKee, Weir, 1953)

## *4.2. ОСОБЕННОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ, ВЫДЕЛЕННЫЕ ПО ДАННЫМ ГИС*

Вполне очевидно, что данные ГИС в открытом стволе могут отражать особенности отложений (структуру и текстуру), такие как мощность, иногда неоднородность или последовательности (эволюцию литологии или размера зерен). Однако в общем случае, для большинства приборов для необсаженных скважин, вертикальная разрешающая способность недостаточна для регистрации этих явлений или последовательностей и предоставления картины формаций, вскрытых скважиной.

Напротив, высокоразрешающие наклономеры (HDT и SHDT) способны регистрировать весьма незначительные события, которые могут быть связаны с особенностями отложений (структурными и текстурными).

Поскольку вышеназванные приборы имеют электроды очень малого размера (толщиной 1 см), а замеры выполняются с шагом выборки 2.5 мм или 5 мм (вместо 15 см или, в крайнем случае, 4 см у других приборов), они обладают лучшей разрешающей способностью среди всех приборов для необсаженных скважин. Эти приборы измеряют кажущуюся мощность событий (более 1 см), и регистрируют события или слойчатость менее 1 см, если они являются проводимыми в омической среде (рис.4-6).

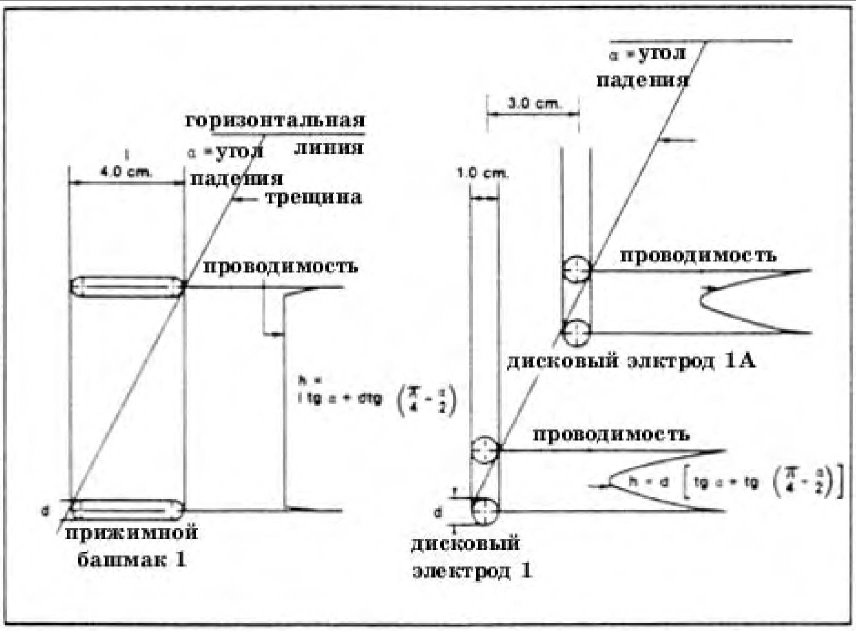
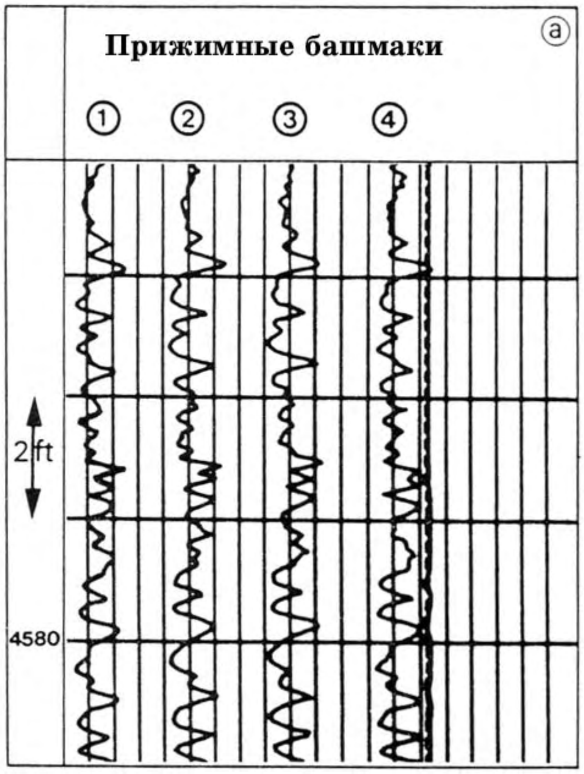



**Рис.4-6. Выявление очень тонких проводимых событий кривыми HDT или SHDT.**



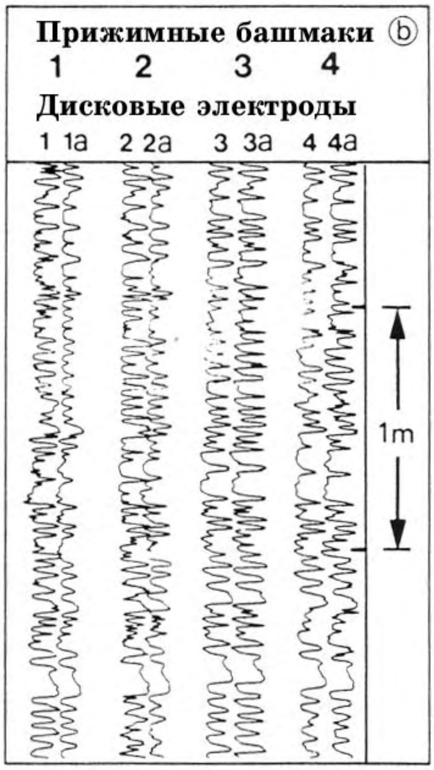




**Рис.4-8 Пример, показывающий детали выявленные наклономером. (a): кривые HDT; (b) кривые SHDT**

Наклономеры регистрируют четыре или восемь кривых в направлении четырех прижимных башмаков, разнесенных на 90 градусов, что улучшает охват стенки скважины и, следовательно, обеспечивает лучшее представление об изменениях в латеральном направлении.

Кривые позволяют рассчитать наклоны, которые являются показателем энергии и направлении течения и, следовательно, типа слоистости.

Чтобы убедиться в деталях, полученных с помощью этих приборов, достаточно сравнить кривые сопротивления каверномера в масштабе 1/20 или 1/40 (рис.4-7 и 4-19) с другими данными в открытом стволе. Может оказаться неожиданной плотность событий на детальной кривой, которые иногда могут быть легко коррелированы с другими сходными событиями на других кривых. Каждое выявленное отличие сопротивления объясняет изменение той или иной характеристики породы: минералогические изменение (например, слои глинистого сланца в песке) или структурное изменение (например, изменение гранулометрии, сортировки, пористости или коэффициента извилистости), или возможные изменения флюида.

Подробное исследование кривых наклономера показывает возможность идентифицирования многих элементов кривых при переходе от одной кривой к другой. Эти элементы имеют изменяющуюся мощность (от менее чем одного дюйма до нескольких футов), амплитуду и форму. Каждый элемент может рассматриваться как проявление геологического события в последовательности осадконакопления, или его эволюцию под действием диагенеза. Точки перегиба этих элементов кривых соответствуют верхним и нижним границам геологических событий, или границам пласта. Более того, наклон пласта не обязательно является постоянным, и иногда может изменяться очень быстро. Вся вышеперечисленная информация необходима для распознания особенностей отложений, и фирма Schlumberger разработала программы для получения этой информации.

Для аппаратуры HDT известна программа под названием GEODIP*. Она использует метод корреляции распознаванием образов. Данный метод лучше всего приспособлен к автоматическому выявлению элементов кривой, к их распознаванию при переходе от кривой к кривой, и к выводу наклонов на границах каждого отдельного элемента. Программа GEODIP имитирует процесс визуальной корреляции, разыскивая наиболее выдающиеся элементы, а затем перемещаясь вверх и вниз для подтверждения начальных опытных элементов. Программа исследует кривую, а затем применяет методы распознавания образов для идентифицирования ее элементов, которые могут быть совмещены с элементами других кривых.

Но различные элементы кривых часто сходны между собой, поэтому легко запутаться. При ручной корреляции можно избежать неоднозначности, постоянно перемещая взгляд, чтобы подтвердить или отвергнуть гипотетические корреляции. В этом случае, человек, выполняющий корреляцию, неявно, часто не осознавая этого, применяет некоторые логические правила, которые интегрированы в процесс его восприятия. Программа GEODIP использует эквиваленты таких правил. Интегрируются и ограничения, если они могут быть опознаны. В частности, метод строится вокруг основного закона, который объясняется геологическими условиями осадконакопления. Согласно этому закону, корреляции не могут пересекаться (Vincent и др., 1979).

Для аппаратуры SHDT разработана программа ассоциации события (event-association program), известная под названием LOCDIP* (Localdip). Рассчитываются производные всех восьми кривых, и максимумы производных каждой кривой используются для расчета смещения между кривыми и наклонами.

На соответствующих векторных диаграммах, на кривых сопротивления наклономера строятся линии корреляции, рассчитанные программой. Это позволяет контролировать качество корреляции и, следовательно, измерения наклона.

В этих видах обработки может быть установлена постоянная связь между наклоном и событием, которое привело к его расчету. Можно рассуждать об элементах кривой и о наклонах.

В 1985 г. фирма Schlumberger ввела новый прибор, который представляет собой вид электрический микросканер (microelectrical scanner) – Formation MicroScanner*. Размер электродов (5 мм), их количество (27 на прижимной башмак) и расположение (рис.4-9) обеспечивают непрерывную съемку стенки скважины по двум полосам шириной 7 см, что соответствует траекториям двух смежных прижимных башмаков, разнесенных на 90 градусов. Зарегистрированные кривые проводимости, после согласования по глубине, ввода поправки за скорость и выравнивания, могут быть преобразованы в изображения, где плотность серого цвета зависит от проводимости (рис.4-10). Изображения сопоставимы с черно-белыми фотографиями керна. Они показывают множество весьма интересных деталей, относящихся к текстуре и осадочной структуре; это будет показано далее.

---

* Марка Schlumberger

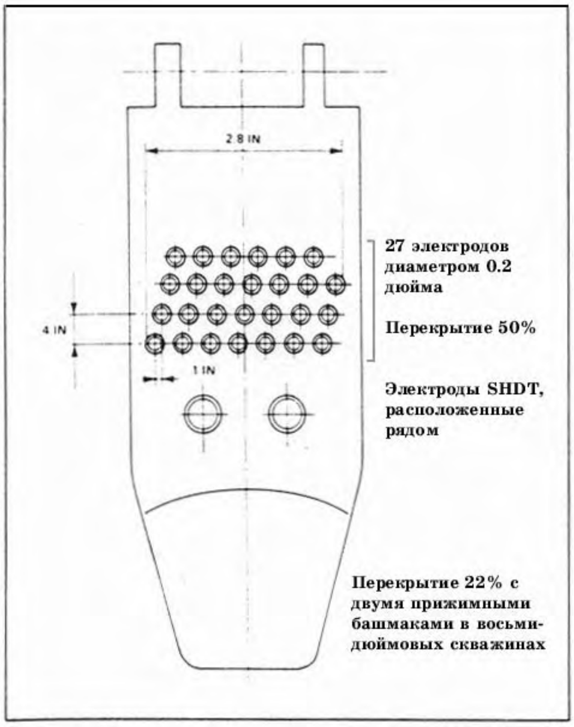



**Рис.4-9. Конфигурация прижимного башмака прибора Formation MicroScanner (с разрешения Schlumberger).**

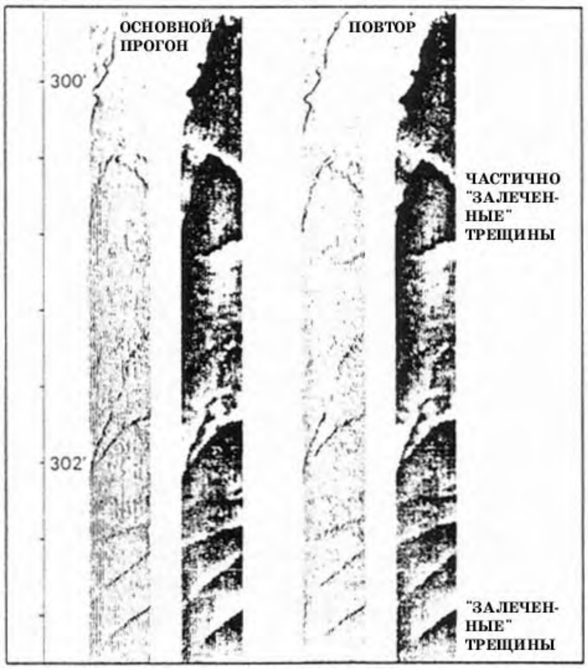



**Рис.4-10. Пример кривых и изображений, полученных с помощью прибора Formation MicroScanner**.

Можно утверждать, что наклономеры и прибор Formation MicroScanner дают информацию о текстуре и об осадочной структуре породы, и наклон может быть получен только посредством этой информации.

В результате анализа данных наклономера и Formation MicroScanner можно выделить три типа информации:

- информация, выведенная по расчету наклона (который, в свою очередь выводится по корреляции событий, выявленных на каждой кривой) и эволюции наклона с глубиной (особенности отложений, складки, разломы, несогласия);
- информация, выведенная в процессе анализа кривых проводимости. Например, изменение сопротивления отражает вариации следующих характеристик:

  ■ минералогии (процентного содержания глинистых минералов, слюд и тяжелых минералов, цемента);

  ■ текстуры (присутствия пустот, конкреций, или кристаллов сульфидов, размера частиц, размера пустот и протоков), и других текстурных параметров, таких как:

    - размер зерен, который частично контролирует минералогию (содержимое минералов алевритистой и глинистой размерности, рис.4-11), диаметр поровых связок и форму зерен, и от которых зависит проницаемость, которая, в свою очередь, контролирует глубину проникновения и минимальную водонасыщенность;
    - коэффициент сортировки, который также зависит от размера зерен (коэффициент сортировки снижается с уменьшением размера зерен), и который также контролирует пористость и извилистость (коэффициент *m*);
    - упаковка (расположение зерен), которая влияет на пористость, извилистость и проницаемость;

- структуры (однородности, неоднородности, градационной слоистости, линзообразной слоистости, полосчатой слоистости, косой слоистости…); трещин;
- процентного содержания флюидов, которое зависит от предыдущих параметров или от изменения флюидов;

- информация, выведенная из эволюции мощности слоев с глубиной.

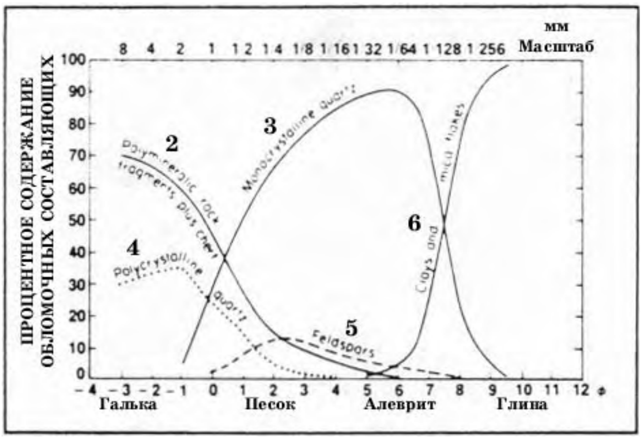



**Рис.4-11. Соотношение между размером зерен и составом обломочной фракции в кластических силикатных породах (из Blatt и др., 1980).**
(2- Обломки полиминеральных пород плюс кремень; 3- монокристаллический кварц; 4- Поликристаллический кварц; 5- Полевые шпаты)

## *4.3. ИНФОРМАЦИЯ О СТРУКТУРЕ, ВЫДЕЛЕННАЯ ИЗ ДАННЫХ НАКЛОНОМЕРА И ПЛАСТОВОГО МИКРОСКАНЕРА*

### 4.3.1. Форма пласта

Следует подчеркнуть, что отдельный пласт или *седиментационная единица* – это «такая мощность осадочного материала, который был отложен, по существу, при постоянных физических условиях» (Otto, 1938). Пласт отделен от других выше- и нижележащих пластов физически и визуально более или менее хорошо определенными плоскостями напластования, «…которые являются очевидными вследствие различной структуры или состава» (Pettijohn и Potter, 1964).

Параметры, определяющие форму пласта:

- мощность;
- плоскости напластования;
- размеры по горизонтали

### 4.3.1.1. *Мощность пласта*

Мощность пласта может изменяться от нескольких миллиметров до нескольких метров (Campbell, 1967). Пласт может быть массивным или иметь внутреннюю тонкую стратификацию, образованную последовательностью более мелких единиц (ламинацией – слоистостью с мощностью слоев – ламин – менее 1 см). Ламинация является результатом незначительных колебаний физических условий, преобладавших в среде осадконакопления. В частности, эти колебания выражаются в изменении размера зерен (от песка до алеврита), и иногда состава (от кварца до глинистых минералов). Мощность ламинации измеряется миллиметрами, и обычно не превышает нескольких сантиметров (рис.4-12).

В общем случае, мощность пласта без проблем регистрируется большей частью приборов, особенно наклономерами и прибором Formation MicroScanner. Эти приборы позволяют определять не только кажущуюся мощность пластов, которая превышает 1 см, но и их истинную мощность (для карт изопахит), поскольку наклон верхней и нижней границ пласта, их азимут, а также наклон и азимут отклонения скважины – известные величины (рис.4-13). Приборы позволяют также точно рассчитывать мощность пласта, поскольку вводятся поправки за изменение скорости движения прибора. Для данных других методов в необсаженных скважинах должно быть выполнено согласование по глубине и откорректирована мощность по данным наклономера.

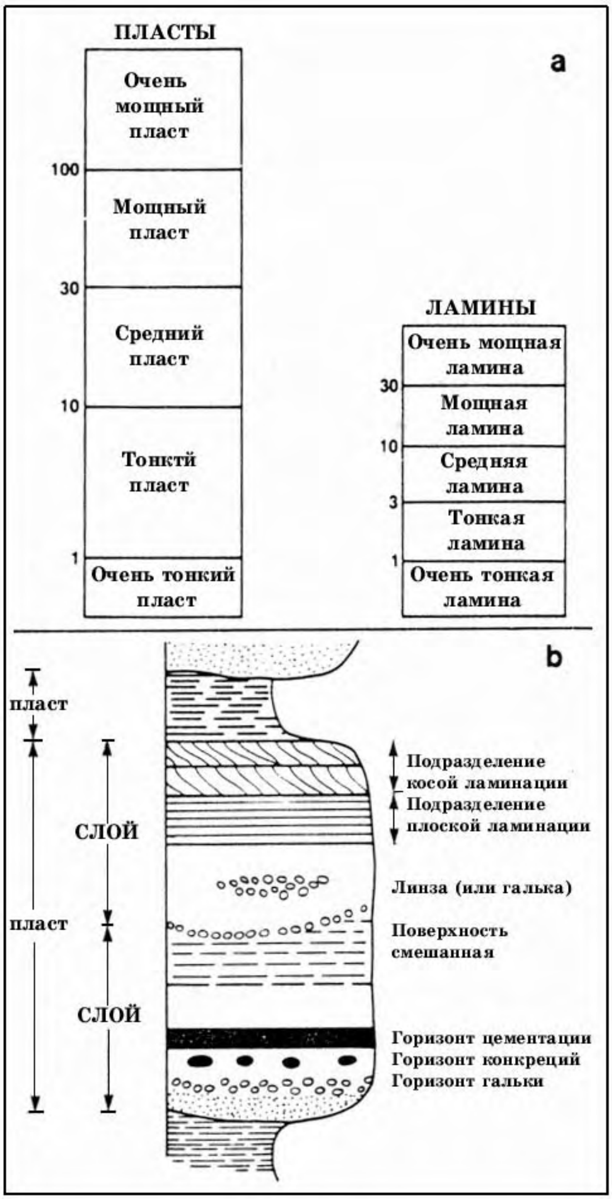



**Рис.4-12. (a) Терминология, используемая для определения мощности слоев и ламин (модификация Ingram, 1954, и Campbell, 1967; у Reineck и Singh, 1975). (b) Термины, используемые для описания слоев с внутренними структурами (из Blatt и др., 1980).**

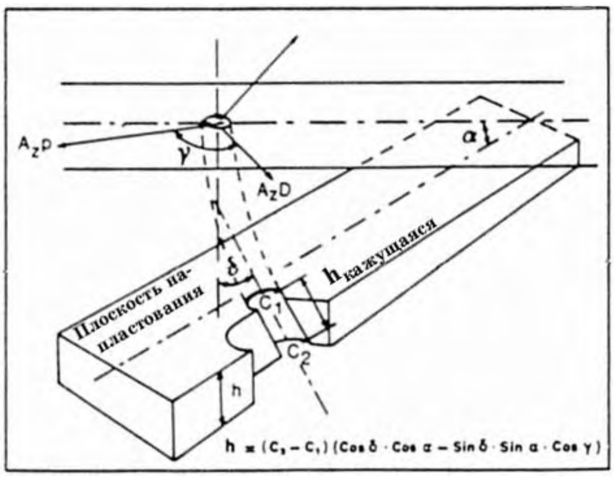



**Рис.4-13. Расчет истинной мощности пласта**.

Важно знать мощность пластов, т.к. иногда она связана с гранулометрией или с режимом осадконакопления. Например, в песчаных турбидитах и в вулканических туфах, мощность пластов и размер зерен связаны между собой, и уменьшаются в направлении потока (Scheidegger и Potter, 1971). Следовательно, это можно рассматривать как средство различения ближних и удаленных осадков. В 1966 г. Scott, следуя Schwarzacher (1953), показал, что распределение мощности отдельных пластов, относящихся к одному виду отложений, описывается прямой линией при логарифмической шкале (рис.4-14).

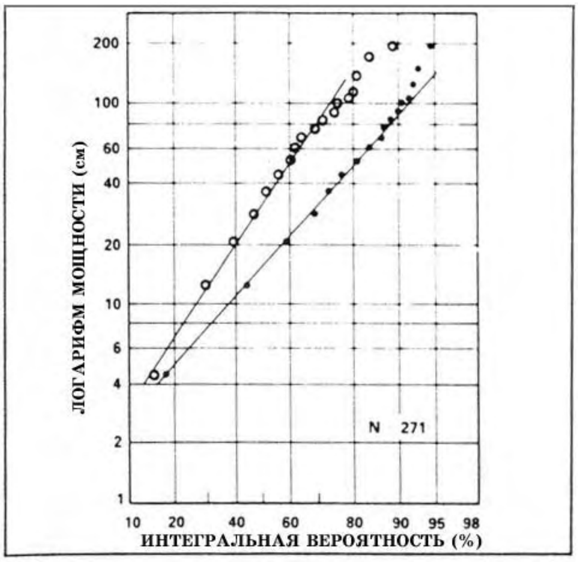



**Рис.4-14. Логнормальное распределение мощности пластов турбидитного песчаника (из Scott, 1966).**

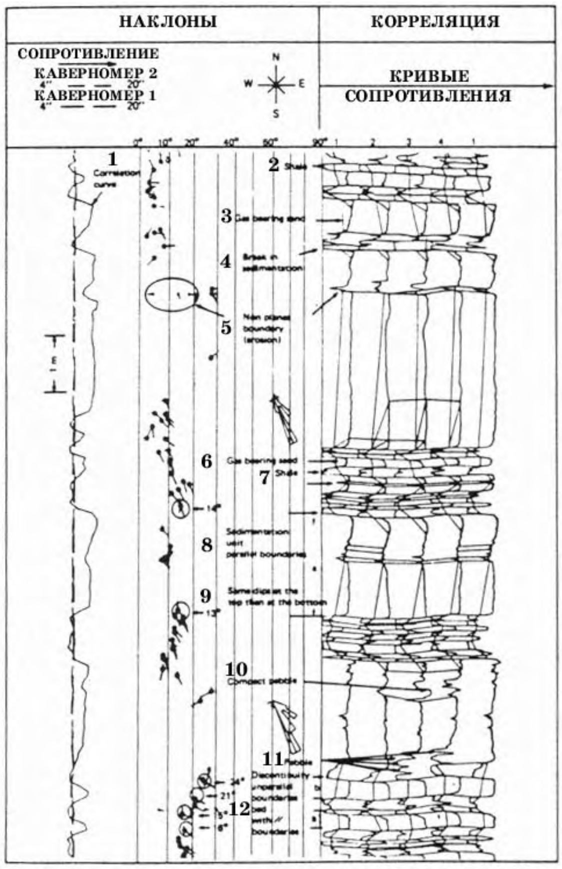



**Рис.4-15. Изменения мощности пласта на изображении GEODIP*.**
(1- Кривая корреляции; 2- Глинистый сланец; 3- Газонасыщенный песок; 4- Перерыв в осадконакоплении; 5- Неплоская граница (эрозия); 6- Газонасыщенный песок; 7- Глинистый сланец; 8- Параллельные границы седиментационной единицы; 9- Некоторые наклоны на кровле, затем на подошве; 10- Компактная галька; 11- Галька; 12- Пласт с непараллельными границами)

Согласно Pettijohn (1975), существование тонкой слоистости в морских условиях, является показателем либо очень быстрого осадконакопления ниже зоны волновой активности, либо восстановительной среды на морском дне, что объясняет отсутствие бентосной фауны и связанной с нею биотурбации.

Анализ эволюции мощности пластов по вертикали при постоянной литологии может указывать на изменение ритма осадконакопления. Такие изменения могут быть использованы в качестве временных маркеров. На рис.4-15 показаны изменения мощности пластов, как они выглядят на данных наклономера. На рис.4-17 (увеличенное изображение части рис.4-16) представлена четкая картина того, чего можно достичь с помощью данного прибора.

---

* Марка Schlumberger

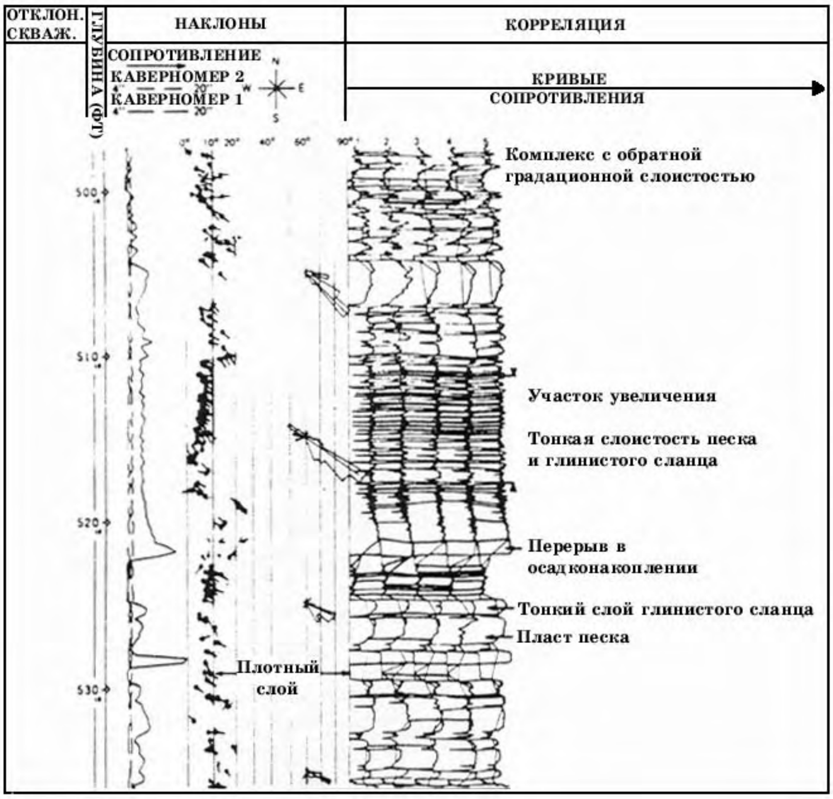



**Рис.4-16. Очень тонкие пласты, зарегистрированные аппаратурой HDT, которые демонстрируют волнистую слоистость.**

## 4.3.1.2. *Плоскости напластования*

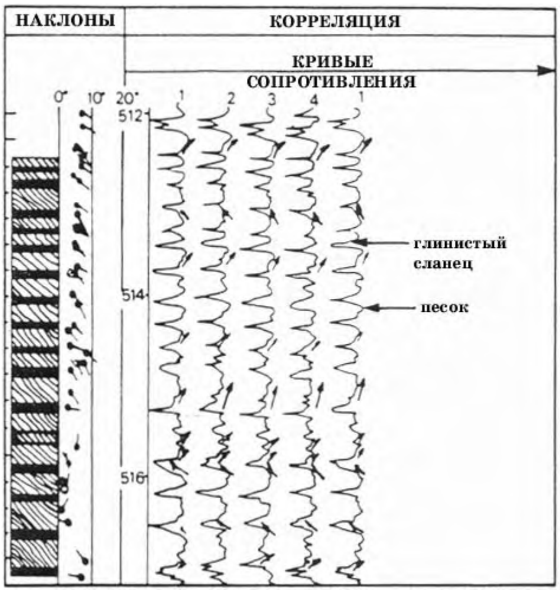



**Рис.4-17. Увеличенная часть рис.4-16, показывающая детали пластов и изменения наклона.**

Согласно результатам анализа Campbell (1967), поверхность пласта представляет поверхность отсутствия осадконакопления, или же соответствует быстрому изменению условий осадконакопления (изменению энергии среды), или поверхности эрозии. Обычно верхняя поверхность пласта образует нижнюю поверхность перекрывающего слоя. Плоскость напластования не имеет мощности, но характеризуется протяженностью в горизонтальном направлении, которая эквивалентна протяженности ограничиваемых ею слоев. Следовательно, характеристика пластов зависит от распознавания их поверхностей. Геометрия слоя зависит от относительного расположения двух его границ.

Campbell (1967) определил различные формы слоев, согласно характеру их поверхностей (рис.4-18).

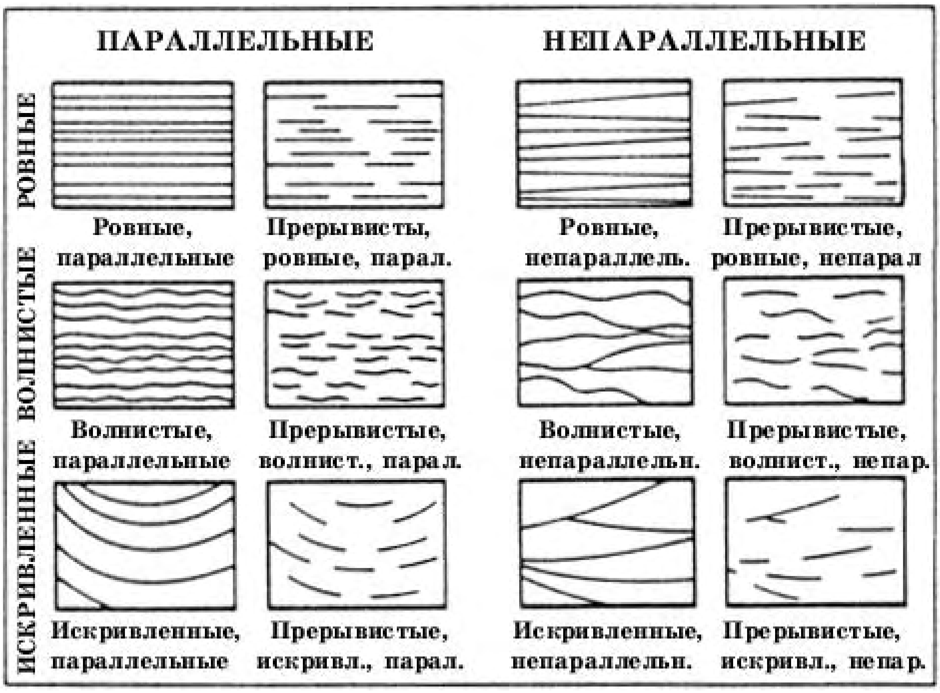



**Рис.4-18. Диаграмма, показывающая различные формы, которые могут быть приняты пластами различной мощности, и соответствующие описательные термины (из Campbell, 1967).**

На рис.4-19 показаны слои с ровными (плоскостными), параллельными и непрерывными поверхностями, а на рис.4-20 – прерывистые слои, которые появляются только на 1, 2 или 3 прижимных башмаках.

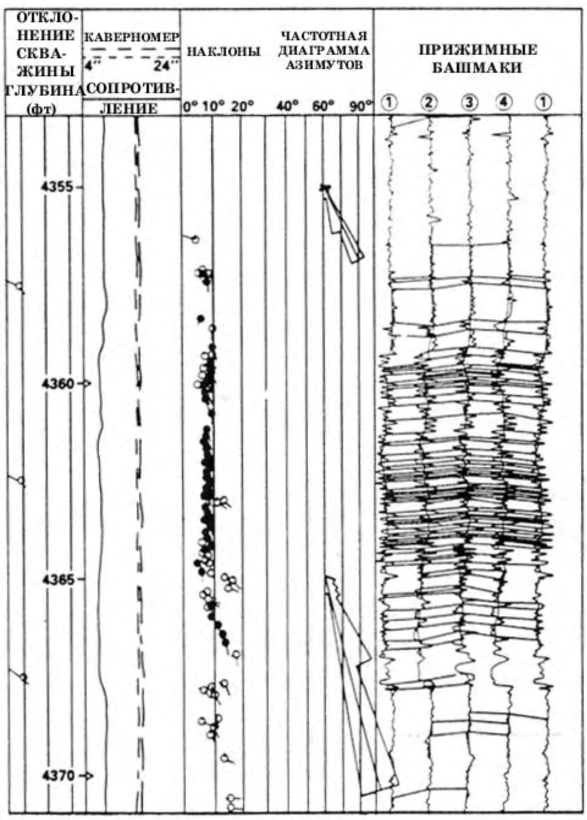



**Рис.4-19. Пример ровных, параллельных, непрерывных границ поверхностей. Обратите внимание на очень хорошую согласованность**

Поверхности, которые могут быть плоскими, не непараллельными в масштабе скважины, показаны на рис.4-21. Вероятно, они останутся непараллельными в масштабе слоев. Верхние и нижние границы каждого пласта могут показывать различные наклоны и иногда различные азимуты, что предполагает непараллельные границы. Примеры волнистых неплоскостных поверхностей представлены на рис.4-22. В представлении GEODIP, они соответствуют расчету четырех плоскостей путем сочетания кривых сопротивления по три (1-2-3, 2-3-4, 3-4-1, 4-1-2). На рис.4-15 и 4-16 можно видеть другие такие примеры. В представлении программ LOCDIP или SYNDIP они выделены знаком волнистости.

Поверхности, которые могут быть плоскими, не непараллельными в масштабе скважины, показаны на рис.4-21. Вероятно, они останутся непараллельными в масштабе слоев.

**наклонов.**

Верхние и нижние границы каждого пласта могут показывать различные наклоны и иногда различные азимуты, что предполагает непараллельные границы. Примеры волнистых неплоскостных поверхностей представлены на рис.4-22. В представлении GEODIP, они соответствуют расчету четырех плоскостей путем сочетания кривых сопротивления по три (1-2-3, 2-3-4, 3-4-1, 4-1-2). На рис.4-15 и 4-16 можно видеть другие такие примеры. В представлении программ LOCDIP или SYNDIP они выделены знаком волнистости.

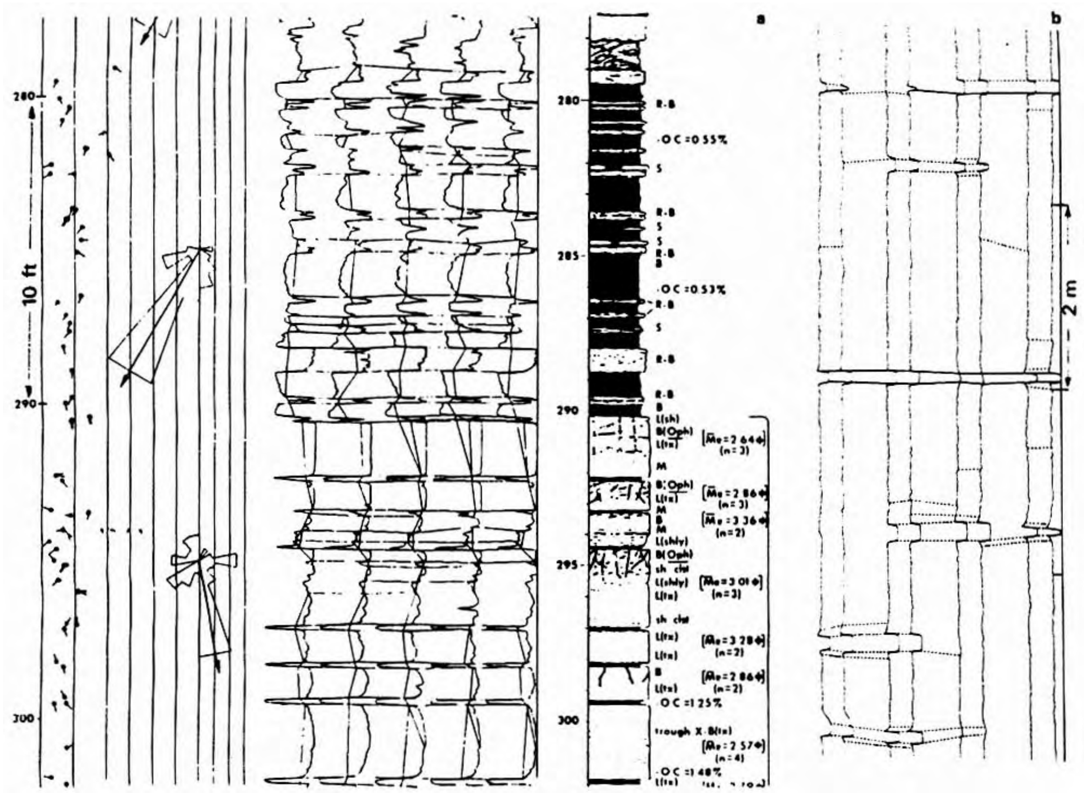



**Рис.4-20. Пример прерывистых волнистых пластов: (a) на изображении GEODIP; (b) на изображении LOCDIP.**

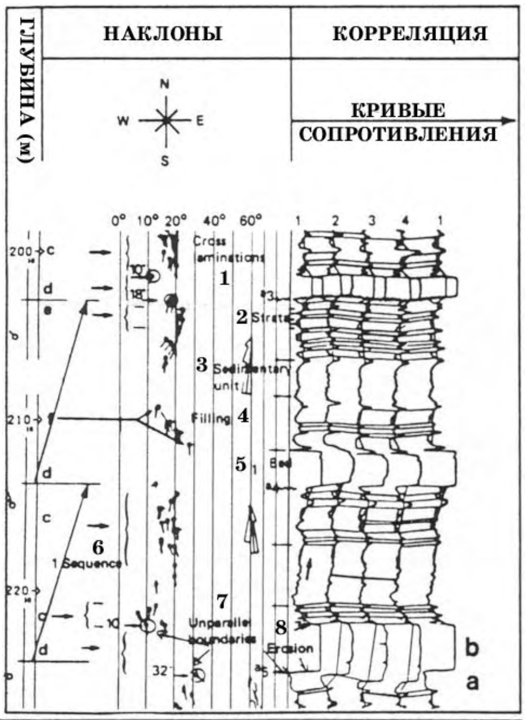



Рис.4-21. Пример ровных непараллельных непрерывных границ.

(1- Косая тонкая слоистость; 2- Слои; 3- Осадочная единица; 4- Заполнение; 5- Пласт; 6- Комплекс 1; 7- Непараллельные границы; 8- Эрозия)

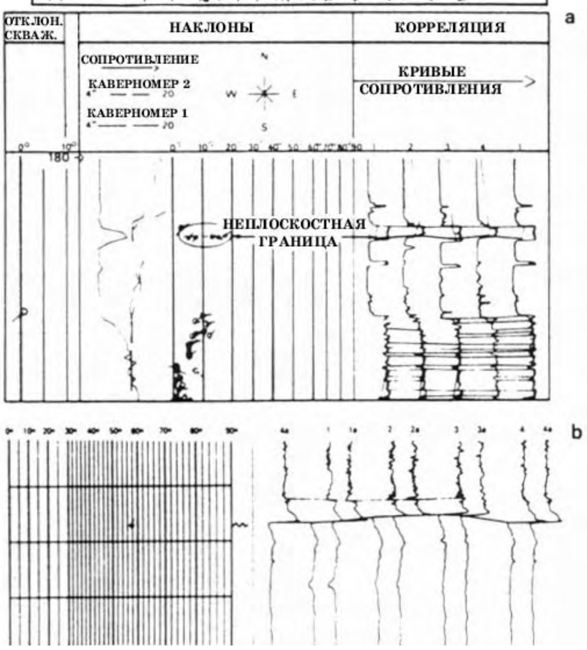



**Рис.4-22. Примеры неплоскостных границ: (а) в представлении GEODIP; (b) в представлении LOCDIP.**

На рис.4-16 и 4-24 показан седиментационный цикл, соответствующий изменению слоев песка и глины (полосчатая, волнистая и линзообразная слоистость) с волнистыми поверхностями, обнаруженными по изменениям величины наклона и азимута. Эти особенности лучше всего видны на изображениях Formation MicroScanner (рис.4-25), и соответствуют серповидным или линзообразным элементам, появляющимся в песчаниках.

На рис.4-23 приведено несколько типов границ пластов, как они наблюдаются на изображении Formation MicroScanner. Можно представить, насколько интересны эти элементы для определения фаций и восстановления условий осадконакопления.

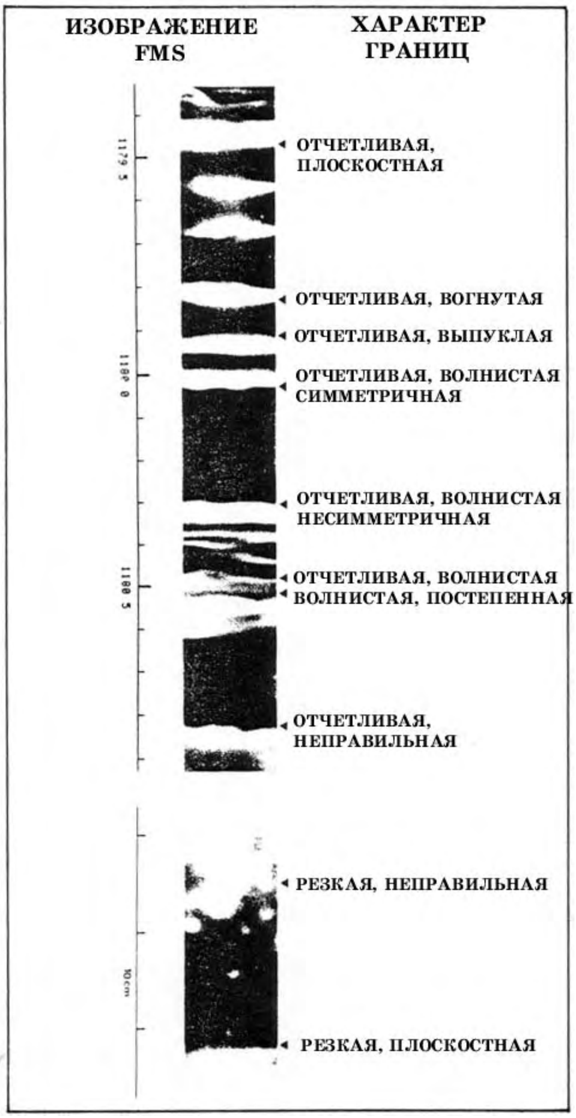



**Рис.4-23. Несколько примеров границ пластов, которые можно наблюдать на изображениях Formation MicroScanner.**

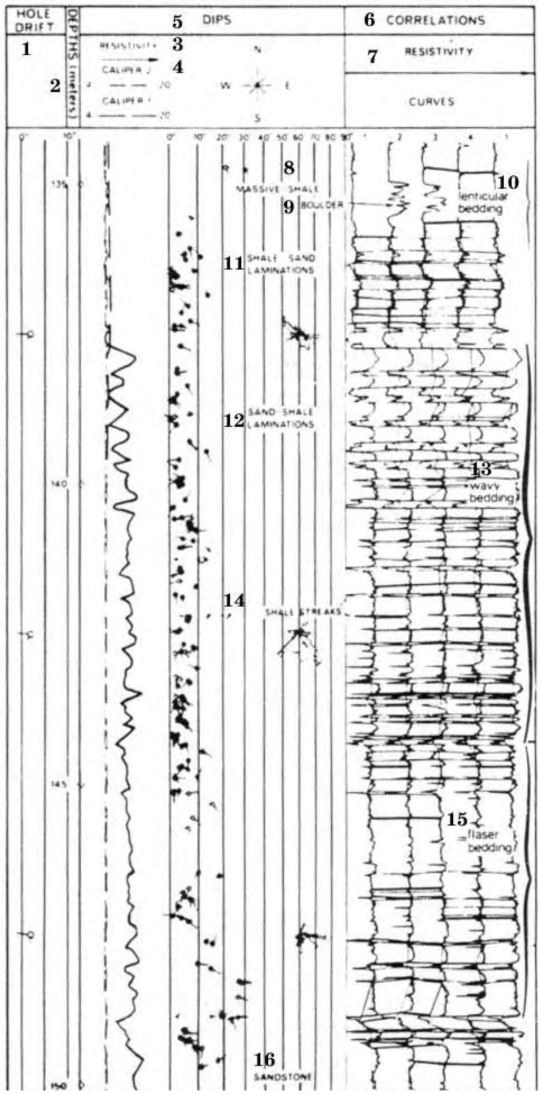



**Рис.4-24. Пример полосчатой, волнистой и линзообразной слоистости.**

## 4.3.1.3. *Горизонтальный размер пластов*

Наклономеры реагируют на изменение сопротивления вблизи скважины; следовательно, глубина исследования наклономера ограничена, и не точно позволяет протяженность по горизонтали пласта, вскрытого скважиной. Можно, однако, получить некоторое представление, если учесть следующие факторы.

*Мощность*

Чем толще пласт с параллельными границами, тем выше вероятность его значительной протяженности в горизонтальном направлении (рис.4-15).


**Рис.4-25. Пример полосчатой, волнистой и линзообразной слоистости на изображении Formation MicroScanner.**

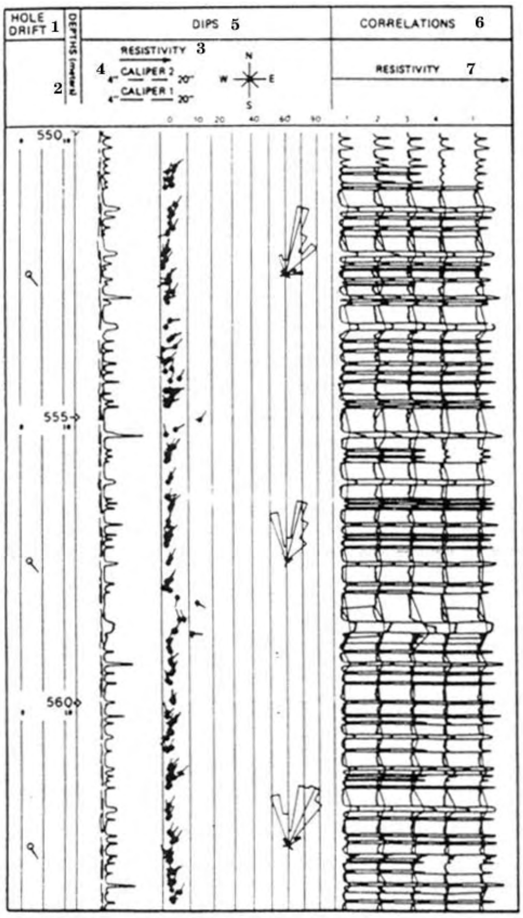



**Рис.4-26. Пример многочисленных пластов с хорошей согласованностью наклонов, которая предполагает их значительную протяженность в горизонтальном направлении.**
(1- отклонение скважины; 2- глубина (в метрах); 3- сопротивление; 4- каверномер 2; 5- наклоны; 6- корреляции; 7- сопротивление)

## 4.3.2. Характер границ пластов

Переход от одного слоя к другому может быть резким или постепенным. В первом случае, граница хорошо определена и согласуется с плоскостями напластования. Граница является согласной в том случае, если она соответствует короткому перерыву в осадконакоплении, без изменения последовательности осадконакопления или без эрозии, и если слои сохраняют параллельность (рис.4-24). Граница будет несогласной, если она соответствует перерыву в осадконакоплении, который сопровождается изменением в последовательности осадконакопления, подчеркнутым эрозионной или латеритизованной поверхностью (в континентальных условиях), и, возможно, изменени-

*Плоскости напластования*

Если эти плоскости ровные и параллельные, вероятность значительной протяженности будет выше (рис.4-19 и 4-26). Если верхняя и нижняя границы плоскостные, но наклонные, будет иметь место уменьшение мощности в одном направлении, и увеличение мощности в противоположном направлении. Если угол наклона двух поверхностей известен, можно определить направление уменьшения мощности и расстояние до точки выклинивания. Даже если известно направление уменьшения мощности, форма пласта не может быть определена (рис.4-21).

*Частота пластов*

Если пласты (даже тонкие), с хорошей согласованностью азимута и величины наклона, следуют один за другим в определенном интервале, можно сделать вывод об их значительной протяженности в латеральном направлении (рис.4-19 и 4-26).

ем наклона (рис.4-21, уровень b). В этом последнем примере мы можем четко наблюдать: эрозию подстилающего песчаного пласта на кривых сопротивления (прижимные башмаки 3 и 4); наклон 32° N 120° нижней границы, сравнительно со средним региональным падением 20° N 180°; заполнение эрозионного рельефа породой с высокой степенью консолидации и цементации (обратите внимание на наиболее мощный пласт, который перекрывает самый тонкий пласт на прижимном башмаке 3). Верхняя поверхность этой породы характеризуется падением 10° N 180°, с эффектом облекания. Другой пример заполнения эрозионного палеорельефа представлен на рис.4-36 (выше 495 м).

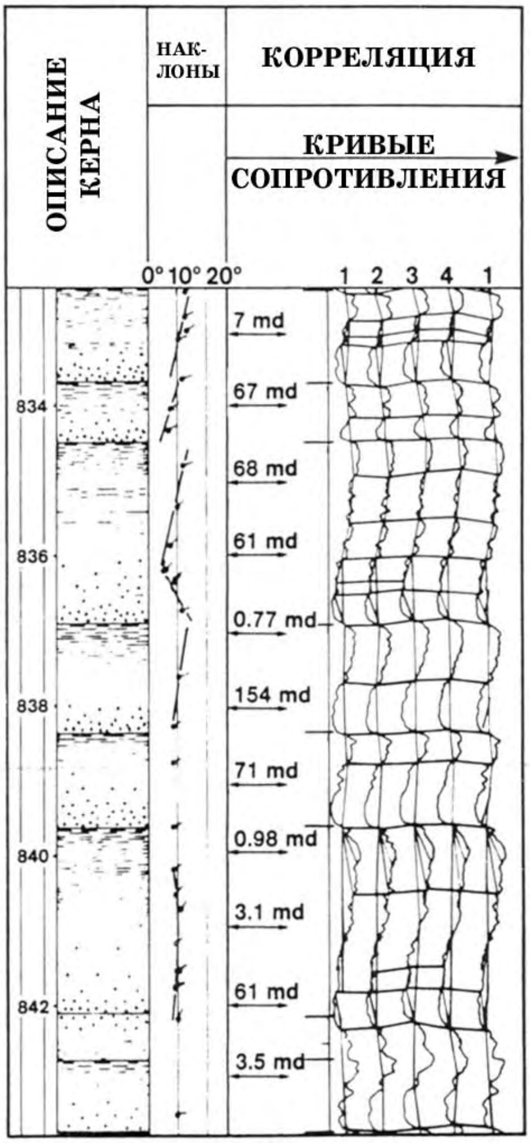



**Рис.4-27. Пример постепенного перехода, соответствующего последовательностям**.

В случае постепенного перехода, граница определена нечетко и, следовательно, не видна. В таком случае, она согласуется с последовательностью, которая является либо гранулометрической (нормальной или обратной), либо минералогической, либо той и другой (переход от песка к глинистому сланцу, рис.4-27). Такой переход хорошо виден на изображении Formation MicroScanner по изменению плотности серого цвета по вертикали (рис.4-28), которое легче выявить при сжатой шкале.

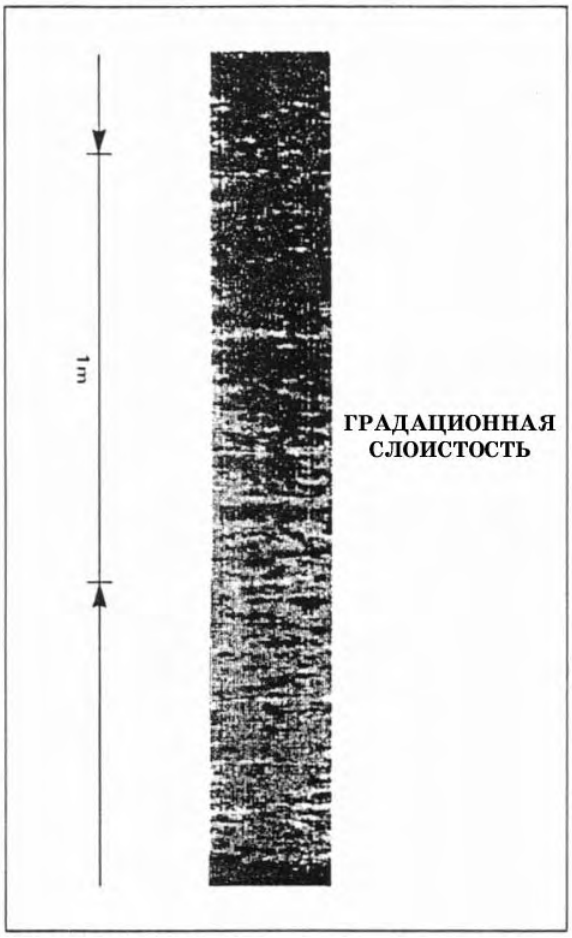



**Рис.4-28. Пример постепенного перехода, как он видим на изображении Formation Micro-Scanner (с разрешения Schlumberger).**

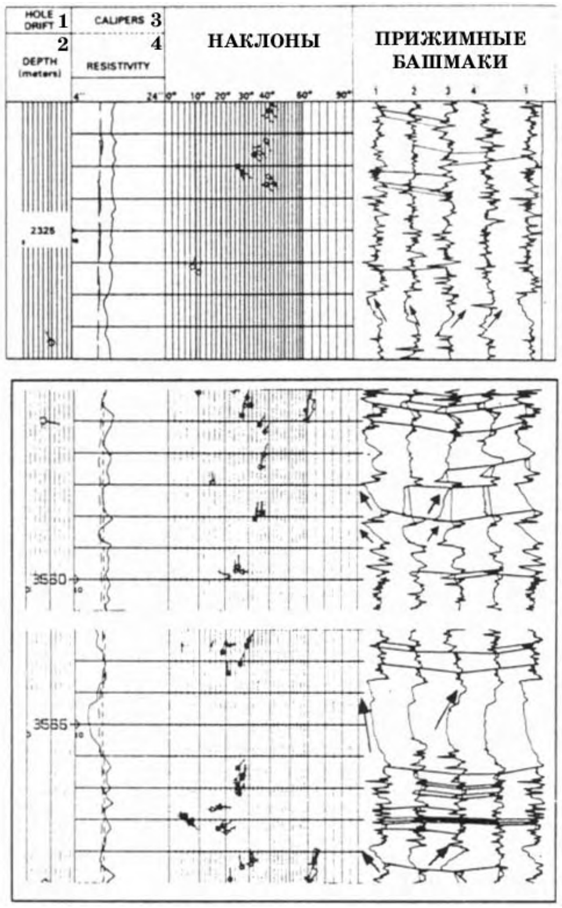



**Рис.4-29. Пример псевдорампов, обусловленных малым кажущимся углом между отклонением скважины и наклоном пластов.**
(1- отклонение скважины; 2- глубина (метров); 3- каверномер; 4- сопротивление)

Однако, в случае данных наклономера, это не следует связывать с малым кажущимся углом между отклонением скважины (здесь – 3°) и наклоном пластов (от 30 до 40 градусов), который формирует псевдорампы (pseudo-ramps) на противоположных прижимных башмаках (рис.4-29).

### 4.3.3. Внутренняя организация слоев

Распознаются несколько типов внутренней организации.

### **4.3.3.1.** *Массивная слоистость*

Пласт может быть *однородным* (т.е. без какого-либо изменения сопротивления, обусловленного структурными изменениями или особенностями отложений). Это соответствует постоянным условиям осадконакопления, без стратификации вследствие отсутствия ряби течения, либо интенсивной биотурбации, либо даже внезапного массивного осадконакопления, которое полностью уничтожило все следы стратификации (рис.4-30).

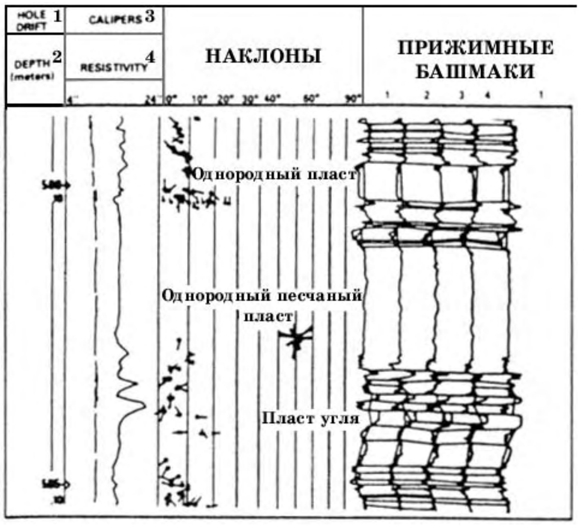



**Рис.4-30.Пример однородных пластов.**
(1-отклонение скважины; 2- глубина (в метрах); 3-кавернометр; 4- сопротивление)

*Замечание*

*Однородный пласт не следует путать с интервалом, где отсутствие активности кривой обусловлено плохим выбором тока EMEX[1]. В этом случае, кривая сопротивления насыщается в области очень высокого или очень низкого сопротивления (сравните кривые на рис.4-31, зарегистрированные в одном интервале, но при двух различных токах EMEX).*

## **4.3.3.2.** *Ламинированная слоистость*

Пласт может быть тонкослоистым и, следовательно, иметь стратификацию параллельную, наклонную или косую. На рис.4-32 показан пример стратификации в эоловом песке (крупномасштабная косая слоистость в красном лежне из Северного моря). Можно распознать каждую последовательность осадконакопления и проследить изменения в направлении ветра. На рис.4-32b представлен результат расчета наклона программой CLUSTER для одного интервала. Сравнивая рис.4-32a и 4-32b, можно видеть значительное количество дополнительной информации, которую обеспечивает программа GEODIP. На рис.4-33 показан вид изображения, получаемого в такой среде с помощью аппаратуры Formation MicroScanner, и его сравнение с фотографией керна. В этом последнем случае хорошо видны передовые слои.

---

[1] Ток EMEX – это ток, испускаемый зондом в целом. Он фокусирует ток, испускаемый дисковыми электродами, и обычно подбирается так, чтобы обеспечивалась лучшая контрастность в среде с низким или с высоким сопротивлением. В аппаратуре SHDT ток EMEX может регулироваться автоматически.

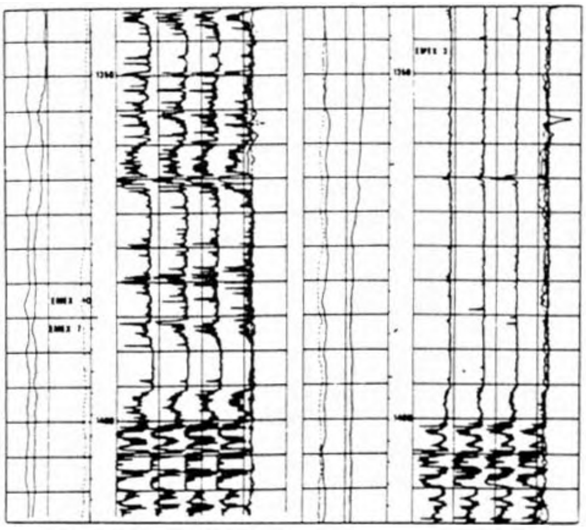


**Рис.4-31. Пример изменения вида кривой вследствие того, что ток EMEX принял другое значение. В соответствии с выбором EMEX, кривые насыщаются в области низкого или высокого сопротивления.**

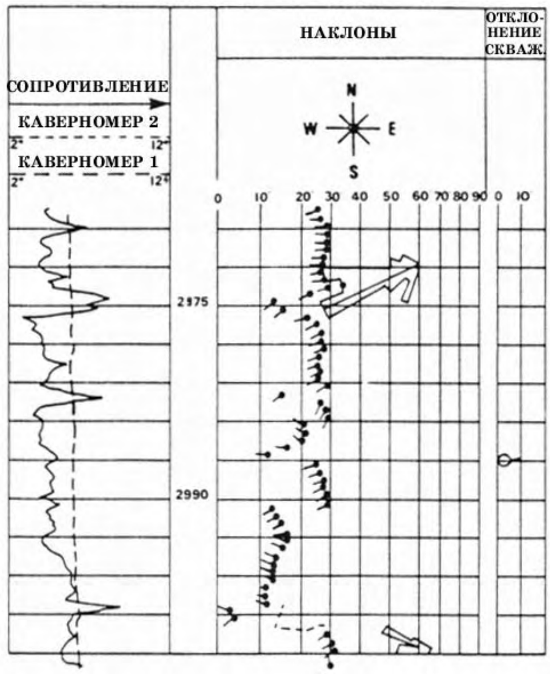



**Рис.4-32b. Пример результатов применения программы CLUSTER в том же интервале, что и на рис.4-32a.**

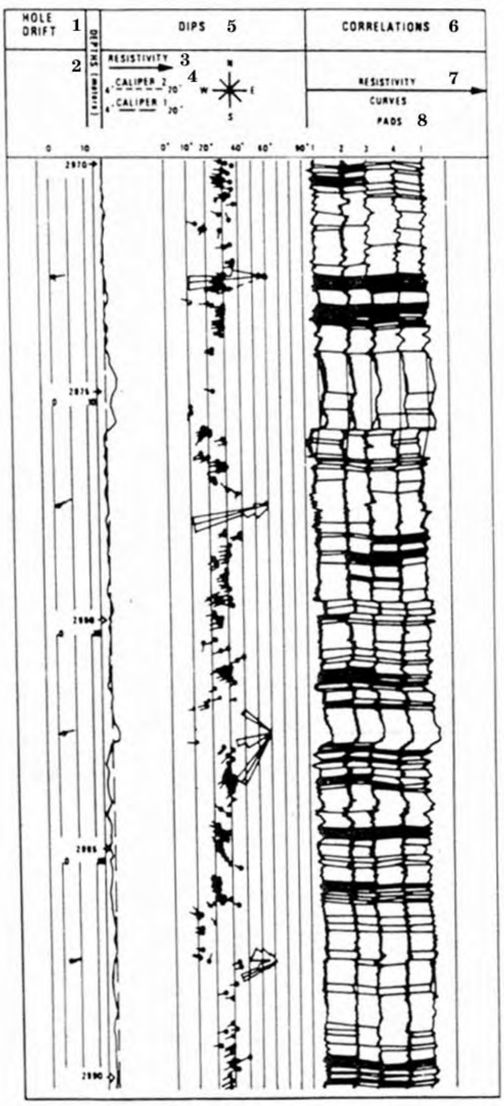



**Рис.4-32a. Пример сигнала GEODIP в эоловом песке**.

(1- отклонение скважины; 2- глубина (в метрах); 3- сопротивление; 4- кавернομер 2; 5- наклоны; 6- корреляции; 7- кривые сопротивления; 8- прижимные башмаки)

## **4.3.3.3.** *Рябь и косая слоистость*

Эти элементы лучше распознаются на изображениях Formation MicroScanner (рис.4-34 и 4-35).

Но наклонная (косослоистая) стратификация речного песка может быть также обнаружена с помощью наклономеров, как показано на рис.4-36. В данном особом случае, определяется не наклон каждого слоя, а наклон, соответствующий каждой границе свиты (set) (McKee и Weir, 1953) – рис.4-37.

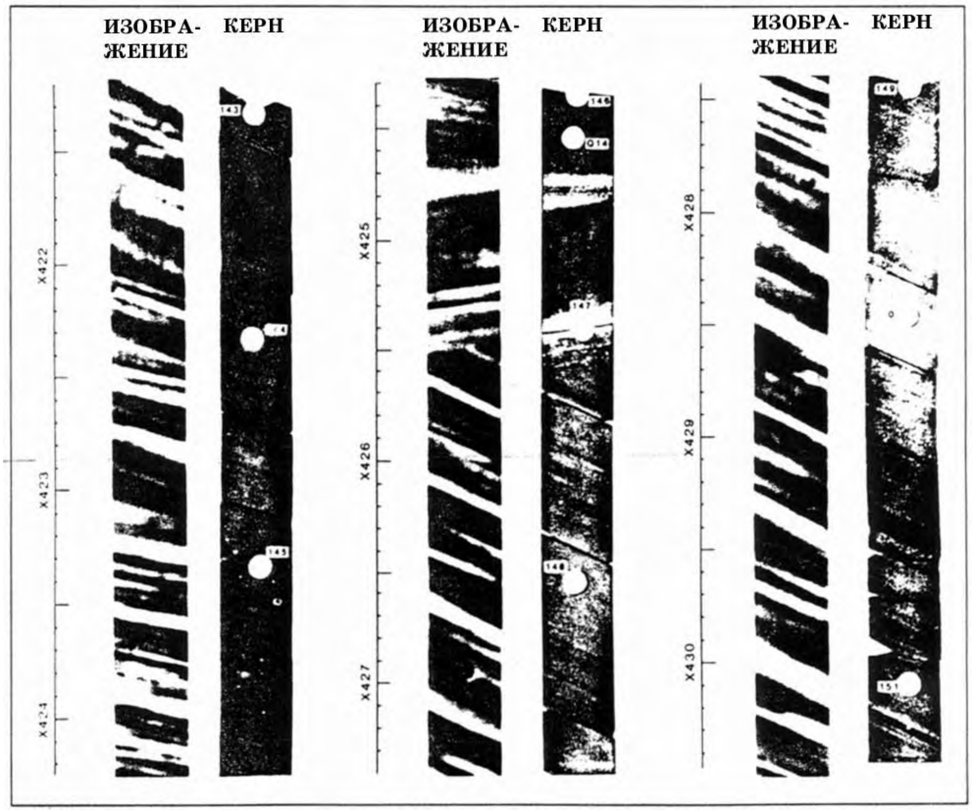
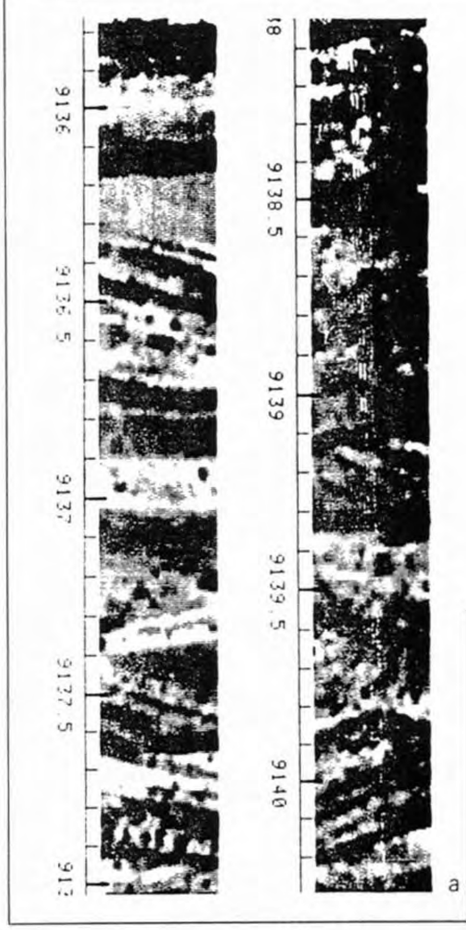



**Рис.4-33. Изображение Formation MicroScanner в эоловых песках и сравнение с фотографией керна.**



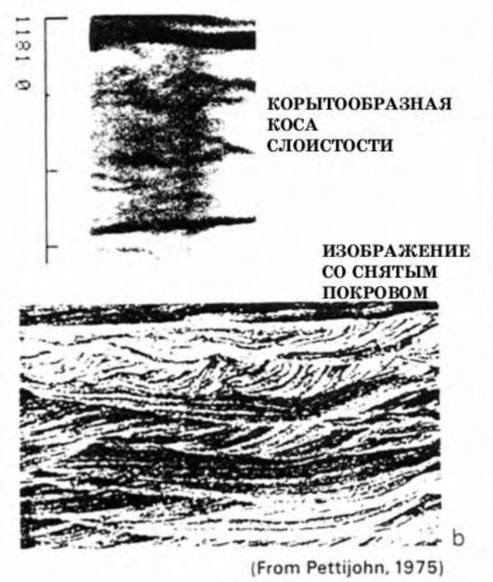




**Рис.4-34. а) Пример ряби течения стрельчатой формы. b) Пример косой слоистости, хорошо видной на изображении Formation MicroScanner, и сравнение с изображением со снятым покровом (peel). Как видно, обнаруживаются даже косые слои.**


**Рис.4-35. Пример тангенциальной косой слоистости, очень хорошо наблюдаемой на изображении Formation MicroScanner**.

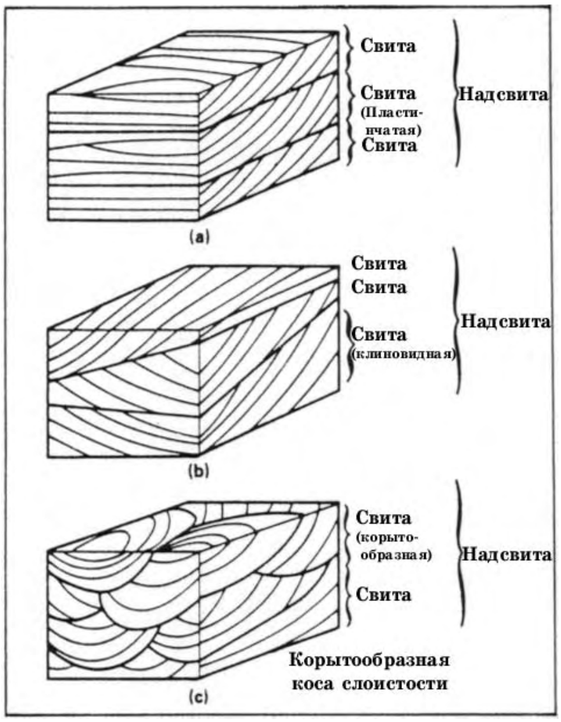



**Рис.4-37. Терминология для косой слоистости. В (a) и (b), косые слои образуют контакт с нижележащей свитой от тангенциального до углового. В (a) свиты являются пластинчатыми, а в (b) они имеют форму клина. В (c), косые слои и свиты имеют корытообразную форму (терминология по McKee и Weir, 1953).**

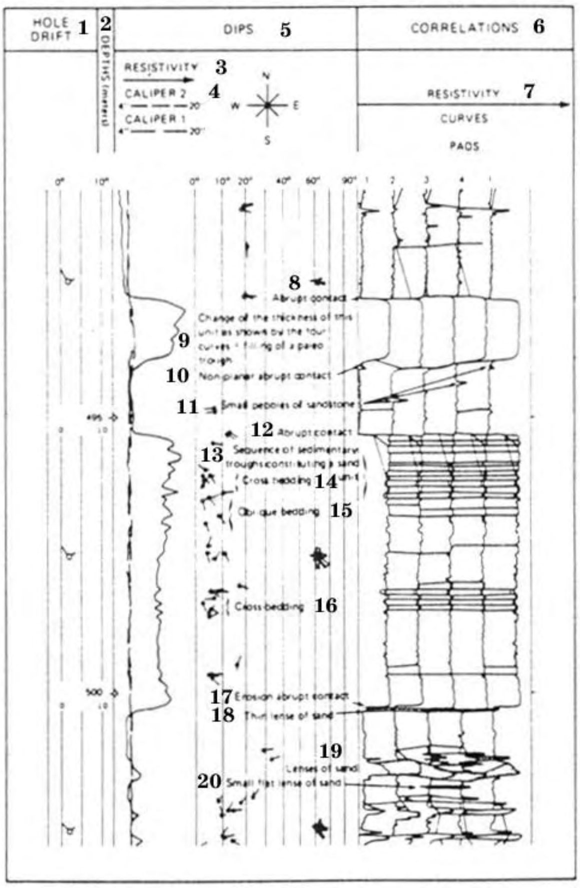



**Рис.4-36. Пример косой слоистости в речном песке, выявленной на изображении GEPDIP по изменениям величины и азимута падения.**
(1- отклонение скважины; 2- глубина (в метрах); 3- сопротивление; 4- каверномер 2; 5- наклоны; 6- корреляции; 7- кривые сопротивления; 8- Резкий контакт; 9- Изменение мощности этой единицы, как показано четырьмя кривыми = заполнение палеовпадины; 10- Неплоскостной резкий контакт; 12- Резкий контакт; 13- Последовательность осадочных впадин, образующих песчаную единицу; 14- Косая слоистость; 15- Наклонная слоистость; 16- Косая слоистость; 17- Резкий эрозионный контакт; 18- Тонкая линза песка; 19- Линзы песка; 20- Небольшая плоская линза песка)

## **4.3.3.4.** *Градационная слоистость*

Имеются два типа эволюции размера зерен в пласте по вертикали: нормальная (зерна уменьшаются вверх по разрезу), и обратная (зерна увеличиваются вверх по разрезу) градационная слоистость. Нормальная градационная слоистость обычно выделяется резким контактом на подошве (рис.4-27), и может быть определена на кривых сопротивления наклономера. В этом примере, грубозернистые пески подошвы комплекса обладают меньшим сопротивлением, чем алевриты или глинистые сланцы кровли. С одной стороны, это может быть связано с составом флюида (минерализованная вода), а с другой стороны – с изменениями извилистости (коэффициента *m*), проницаемости (меньшая подвижность флюида, различная глубина проникновения), или, возможно, с эволюцией пористости. Этот последний фактор становится более значимым с ростом коэффициента сортировки, который, в свою очередь, понижается с уменьшением размера зерен. Может иметь место обратная картина, когда песок содержит флюид с высоким сопротивлением (газ, нефть, пресную воду (рис.4-38)). Градационная слоистость может быть обратной: размер зерен возрастает вверх по разрезу. На рис.4-27 приводится несколько примеров комплексов с обратной градационной слоистостью, переслаивающихся с комплексами с нормальной градационной слоистостью.

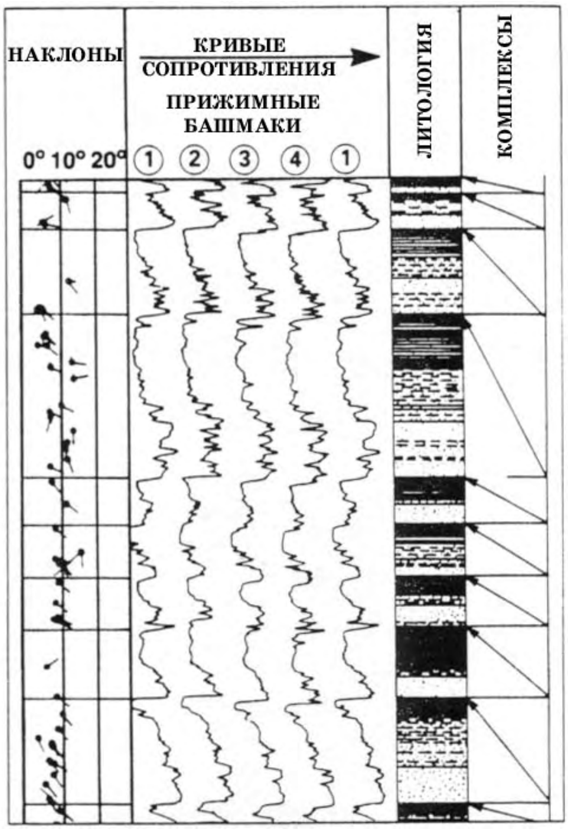



**Рис.4-38. Последовательность комплексов с уменьшением размера зерен вверх по разрезу. На подошве каждого комплекса имеется нефтеносный грубозернистый песчаник мощностью около одного фута. Обратите внимание, что необработанные данные наклономера показывают уменьшение сопротивления вверх по разрезу в нормальном градационном слое, поскольку проницаемые зоны являются нефтенасыщенными**.

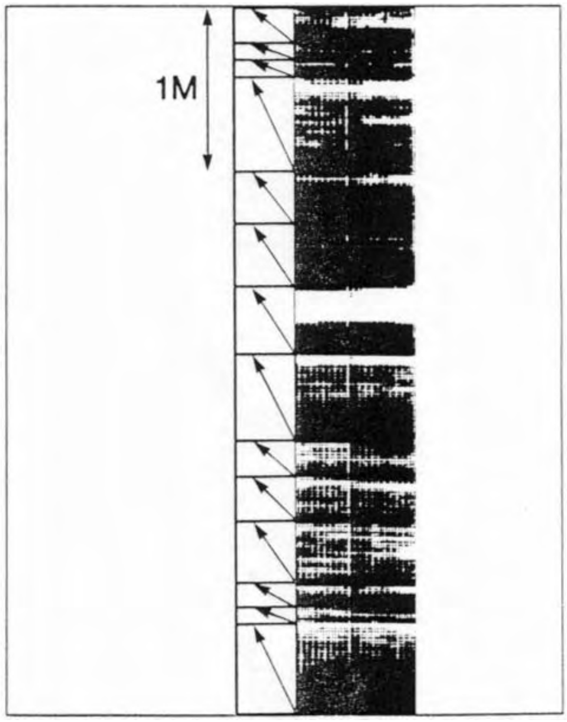



**Рис.4-39. Пример градационной слоистости, очень хорошо наблюдаемой на изображениях Formation MicroScanner.**

На изображениях Formation MicroScanner градационная слоистость обычно различается лучше, если использовать сжатый масштаб вместо традиционного масштаба 1/5 (рис.4-39).

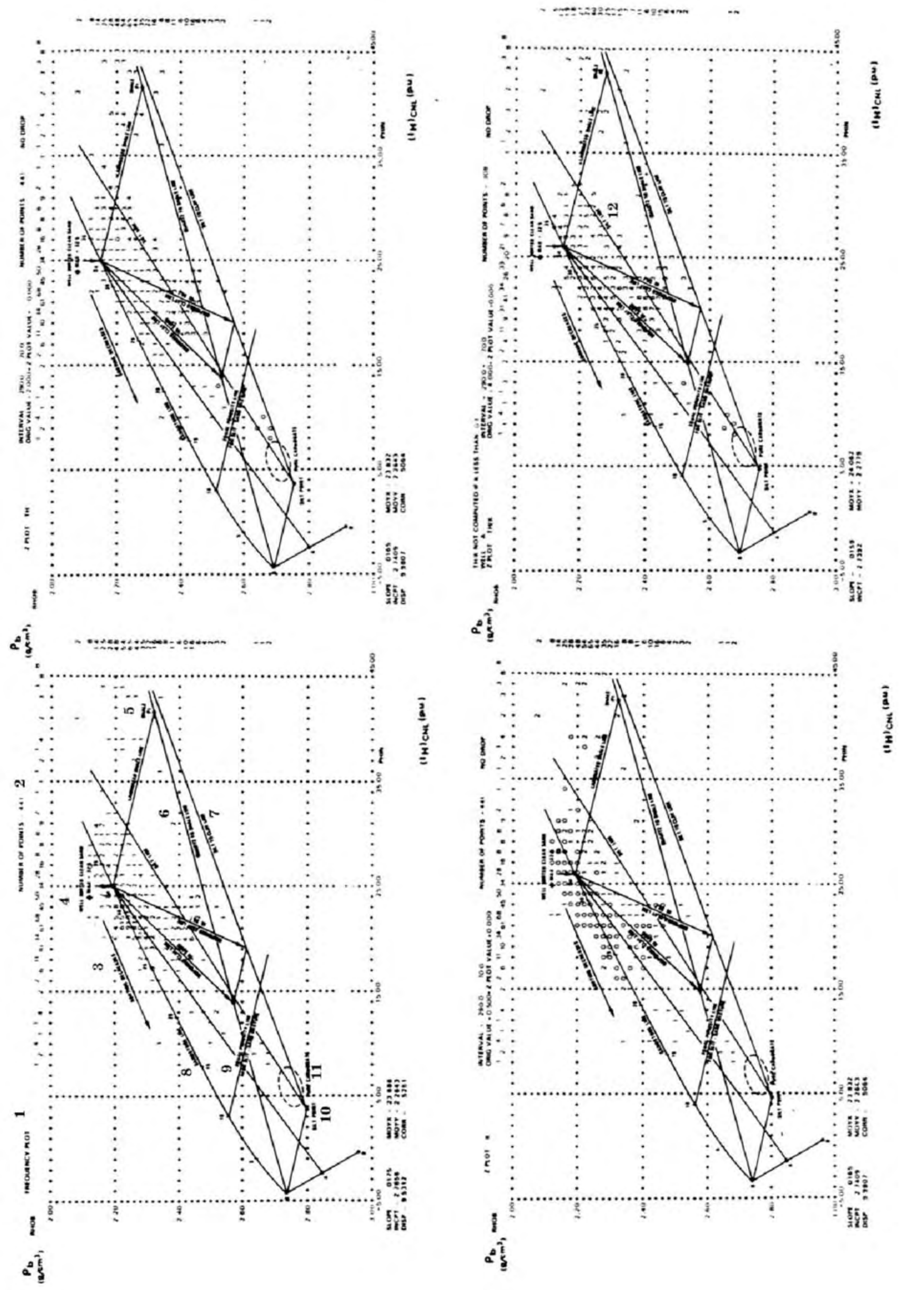


**Рис.4-40. Графики взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$ (по оси Z отложены показания ПС, K и Th), хорошо показывающие эволюцию размера зерен (из Schlumberger Well Evaluation Conference, India, 1983).**

(1- частотный график; 2- количество точек; 3- уменьшения коэффициента сортировки; 4- хорошо отсортированный чистый песок; 5- глинистый сланец; 6- линия кварц-глинистый сланец; 7- линия алеврит-глинистый сланец; 8- линия песчаника; 9- линия равной пористости для смеси алеврит-песок; 10- точка алеврита; 11- чистый карбонат; 12- линия алеврита)

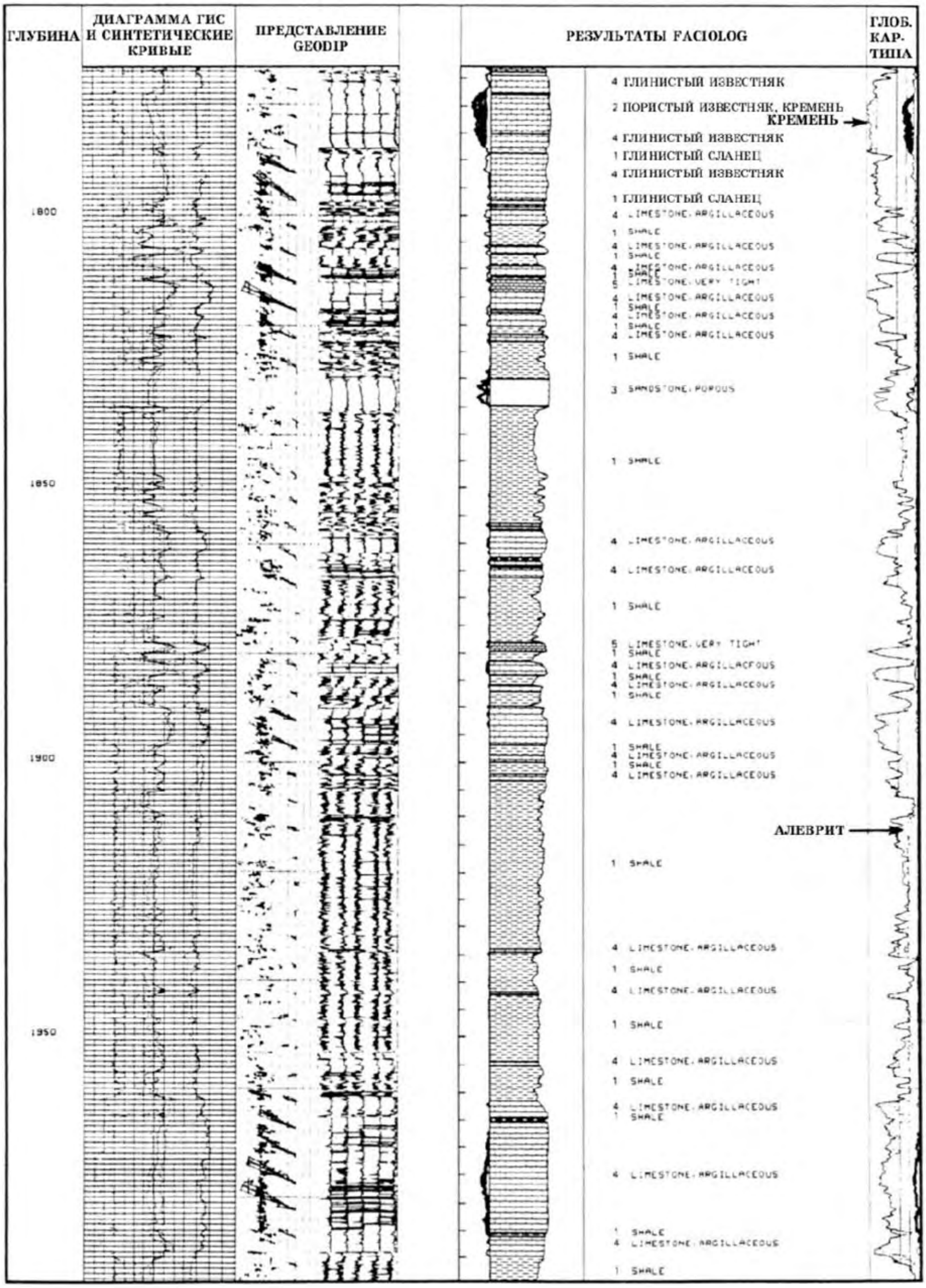



**Рис.4-41. Сводная диаграмма, включающая результаты GEODIP (из Schlumberger Well Evaluation Conference, Egypt, 1984).**

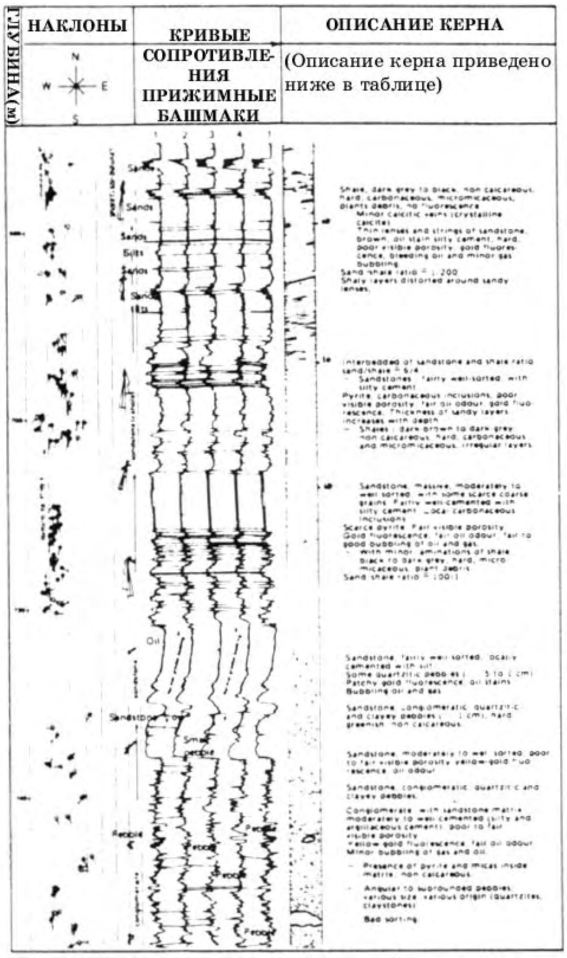
Градационная слоистость может также распознаваться на графиках взаимной зависимости $\rangle_b$ и $Ø_N$ с применением методики Z-плот, как показано на рис.4-40.

Чтобы точно определить эволюцию комплекса, необходимо согласовать по глубине данные наклонометрии с данными других методов (например, ГК, плотностного каротажа, метода сопротивления…), и с литологической колонкой. Для этой цели нужно отобразить результаты GEODIP или LOCDIP совместно с данными других методов, или с результатом обработки, которая дает литологию (рис.4-41).

### **4.3.3.5.** *Черепитчатая слоистость (однородные слои)*

Иногда достаточно просто посмотреть на кривые сопротивления наклономера, чтобы увидеть весьма однородные слои. На каждой кривой наблюдаются многочисленные события, но они либо некоррелируемые, либо корреляции, найденные программой, являются ошибочными. Эта ситуация, в общем случае, соответствует одному из следующих случаев:

*Интервалы конгломератов*




Когда размер гальки превышает размер электродов (наибольший диаметр > 1 см для SHDT, или 5 мм для Formation MicroScanner), она обнаруживается как элементы с более высоким сопротивлением, нежели окружающая матрица. Форма элемента кривой изменяется в зависимости от размера гальки или ее относительного содержания в породе. Это дает однородный вид кривых, при почти полном отсутствии корреляции между ними (рис.4-42). Другие методы в необсаженной скважине могут указывать на обломочную формацию с преобладанием кварца, и часто полевых шпатов и слюд, или гальки, происшедшей от изверженных пород. Спектрометрический ГК (NGS) может быть весьма полезным для определения типа радиоактивных минералов.

**Рис.4-42. Пример комплекса с общим уменьшением размера зерен вверх по разрезу, который начинается с зернистого конгломерата.**

ОПИСАНИЕ КЕРНА

Глинистый сланец, темно-серый до черного, не известковый, твердый, карбонатный, микрослюдистый,

| | |
|---|---|
| обломки растений, без флюоресценции | |
| | Второстепенные кальцитовые жилы (кристаллический кальцит)<br>Тонкие линзы и слойки песчаника,<br>цемент коричневый, алевритистый, с пятнами нефти, твердый,<br>плохо видимая пористость, флюоресценция золотого цвета, выделение нефти и второстепенных пузырьков газа |
| Песчано-глинистый коэффициент = 1/200<br>Слои глинистого сланца, искаженные вокруг песчаных линз. | |
| | |
| | |
| Переслаивающиеся песчаники и глинистые сланцы; песчано-глинистый коэффициент = 6/4 | |
| | Песчаники: достаточно хорошо отсортированные, с алевритистым цементом |
| Пирит, углистые включение, плохо видимая пористость, запах нефти, флюоресценция золотого цвета. Мощность песчаных пластов возрастает с глубиной. | |
| | Глинистые сланцы: темно-коричневые до темно-серых, не известковистый, твердый, углистый и микрослюдистый. Неправильные слои. |
| | |
| | |
| | Песчаник, массивный, сортировка от умеренной до хорошей, с незначительным количеством крупных зерен. Достаточно хорошая цементация алевритистым цементом. Локальные углистые включения. |
| Незначительное количество пирита. Достаточно видимая пористость. Флюоресценция золотого цвета, запах нефти, выделение пузырьков нефти и газа от умеренного до хорошего. | |
| | С второстепенными тонкими прослоями глинистого сланца, черного до темно-серого, твердого, микрослюдистого, с обломками растений. |
| Песчано-глинистый коэффициент = 100/1 | |
| | |
| | |
| Песчаник, сортировка от умеренной до хорошей, местами сцементирован алевритом.<br>Некоторое количество кварцитовой гальки (от 5 до 1 см) | |
| Участками флюоресценция золотого цвета, пятна нефти | |
| Выделение пузырьков нефти и газа | |
| | |
| Песчаник конгломератовый, кварцитовая<br>и глинистая галька (1 см), твердая,<br>зеленоватая, не известковистая. | |
| | |
| | |
| Песчаник, сортировка от умеренной до хорошей, видимость пористости от плохой до достаточной, флюоресценция желто-золотого цвета, запах нефти | |
| | |
| Конгломератовый песчаник, кварцитовая и глинистая галька | |
| | |
| Конгломерат с песчаниковой матрицей,<br>цементация от умеренной до хорошей (цемент<br>алевритистый и глинистый), видимость пористости от плохой до достаточной<br>Флюоресценция желто-золотого цвета, явный запах нефти<br>Второстепенное выделение пузырьков нефти и газа. | |
| | |
| | Присутствие пирита и слюд в не известковистой матрице |
| | |
| | Галька, от угловатой до почти окатанной,<br>различного размера, различного происхождения (кварциты, окаменелая глина) |
| | |
| | Плохая сортировка |

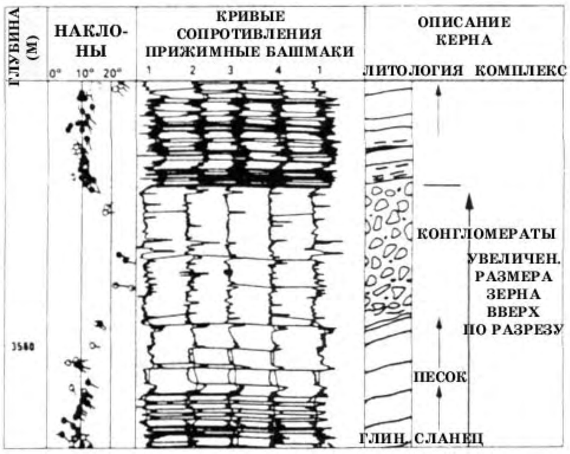



**Рис.4-43. Пример конгломерата с глинистым цементом.**

*Неоднородные глинистые сланцы с включениями (т.е. с кремнем, галькой, конкрециями ангидрита или карбоната, фрагментами лигнита…)*

Эти включения в более проводимой матрице обычно обладают очень высоким сопротивлением и выглядят как последовательность пиков сопротивления (рис.4-44а). Другие методы (ГК, НК, плотностной каротаж) указывают на глинистый характер матрицы. Такие включения могут служить признаком определенной среды осадконакопления (континентальной, обезвоживание глины на воздухе…).

*Очень тонкослоистый глинистый сланец*

Поскольку слоистость является очень тонкой для того, чтобы быть выявленной каждым электродом, амплитуды отклонений невелики сравнительно с предыдущим случаем, и кривые сопротивления выглядят осложненные помехами (рис.4-44b, нижняя часть). Коррелируемость событий также низкая. Эта ситуация соответствует тонкой слоистости (ламинации), жилам или прослойкам глинистого сланца или песка, обломкам лигнита малой толщины и длины. Прибор Formation MicroScanner дает более четкую картину этого вида глинистого сланца (рис.4-45). На таких изображениях, даже при наличии прослойков и потере непрерывности, на каждом электроде можно вывести кажущийся угол и ассоциировать его для расчета падения (рис.4-46).

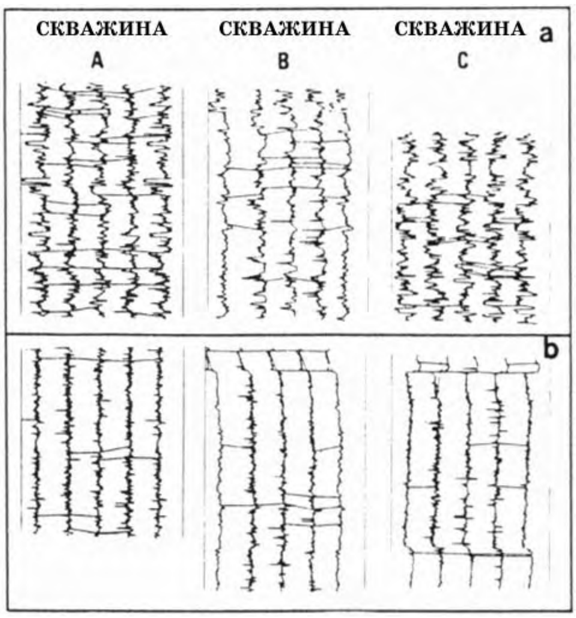



**Рис.4-44. Пример неоднородных глинистых сланцев, легко распознаваемых и коррелируемых от скважины к скважине. (а): глинистые сланцы с желваками ангидрита; (b): глинистые сланцы с очень тонкими жилами или прослойками алеврита или песка.**

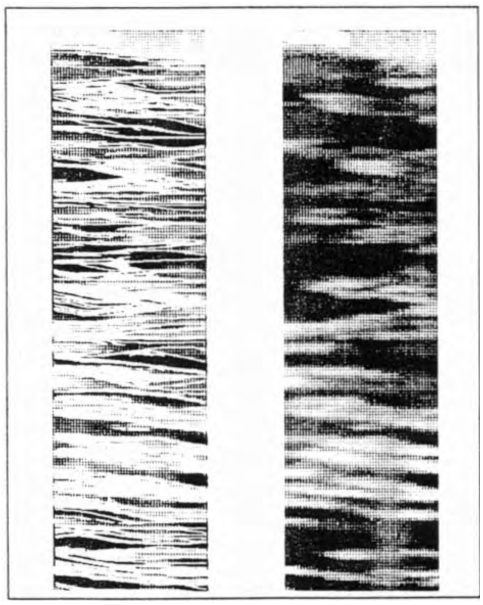


**Рис.4-45. Глинистые сланцы с очень тонкими прерывистыми слоями алеврита – как они виды на изображении Formation MicroScanner (с разрешения Schlumberger).**

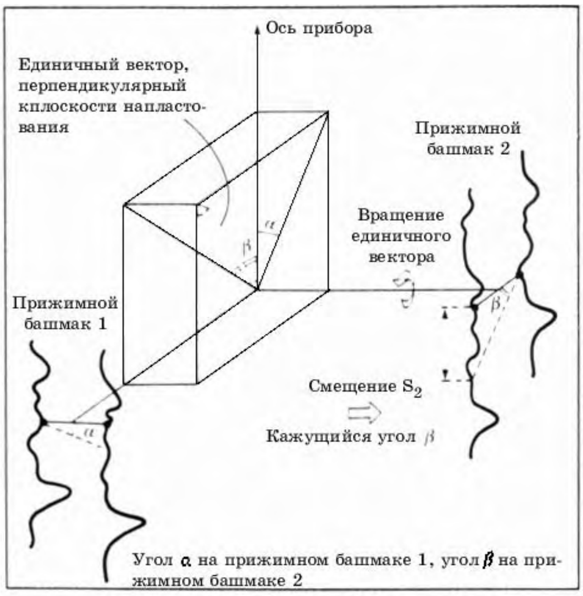



**Рис.4-46. Метод расчета наклона путем ассоциации двух векторов (с разрешения Schlumberger).**

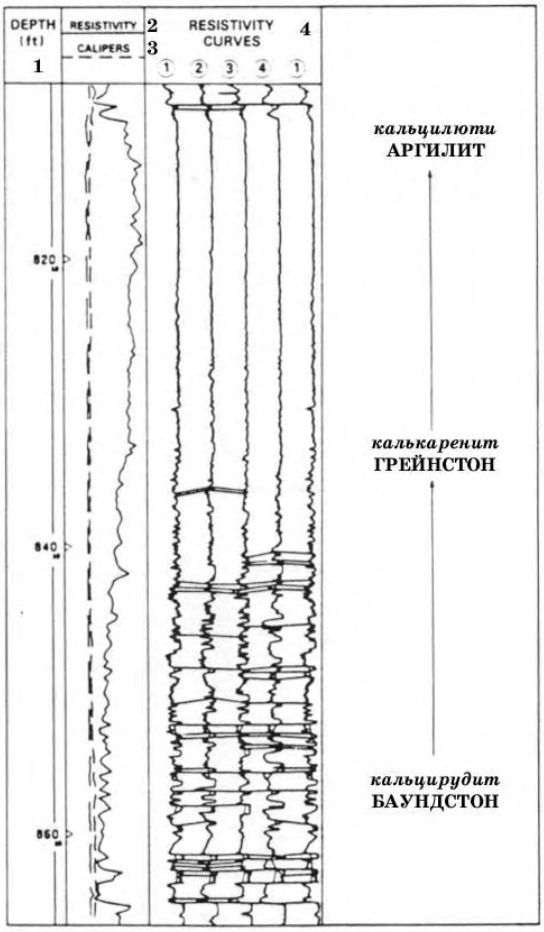



**Рис.4-47. Пример сигнала GEODIP в рифовой среде. Обратите внимание, что вид кривой позволяет отличать баундстон от кальцирудита, грейнстон от калькаренита, аргиллит от кальцилютита (если следовать терминам, используемым Dunham, 1962, или Grabau, 1903).**
(1- глубина (в футах); 2- сопротивление; 3- каверномер; 4- кривые сопротивления)

### *Рифовая формация*

Кривые сопротивления имеют неоднородный вид, что связано со структурой и специфичной внутренней структурой, типичной для этих формаций (обломки кораллов, или кальцитизированные раковины с очень высоким сопротивлением в микритовой матрице, присутствие проводящих пустот… (рис.4-47)). Другие методы дают литологическую информацию, которая позволяет сделать отличие от предыдущих случаев, когда минералогия, в сущности, представлена кальцитом или доломитом. В рифах, кривые сопротивления в значительно большей степени указывают на структуру пород, нежели на ее осадочную текстуру (см. Главу 3).

Изображение Formation MicroScanner четко указывает на кавернозный текстурный тип: темные пятна неправильной формы (рис.4-48).

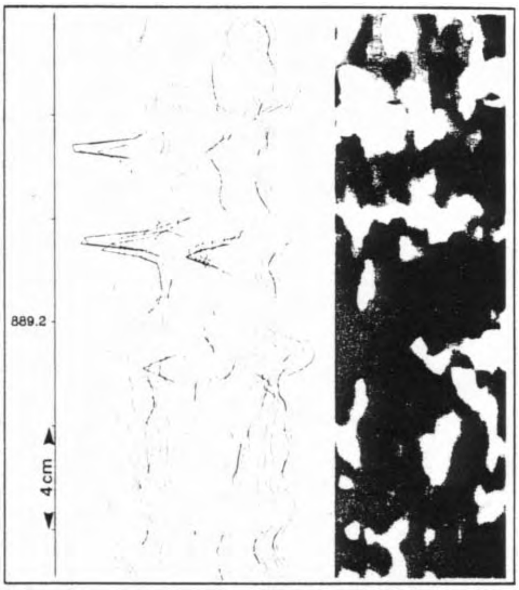



**Рис.4-49. Пример кристаллов пирита, видимых на изображении Formation MicroScanner**.

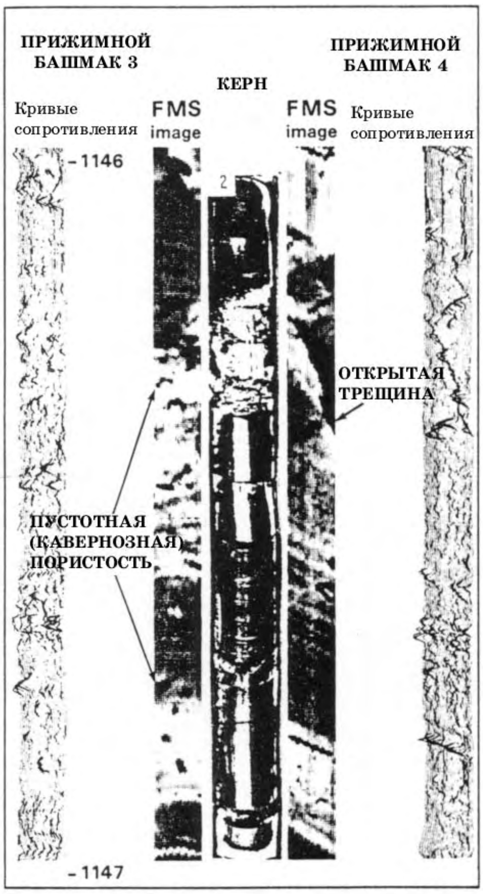



**Рис.4-48. Пример изображений Formation MicroScanner в кавернозном известняке.**

*Фосфатные конкреции*

Точки, видимые на изображении Formation MicroScanner выше разрыва на кривых сопротивления, могут соответствовать фосфатным конкрециям, если они ассоциируются с максимумами урана, наблюдаемыми на диаграммах NGS.

*Кристаллы сульфидов*

Всплески очень высокой проводимости, которые можно видеть на кривых Formation MicroScanner (черные точки на изображениях), могут соответствовать кристаллам сульфидов (пирита или галенита), если они ассоциируются с возрастанием плотности или индекса Pe (рис.4-49).

*Ангидритовые конкреции*

Сильные пики сопротивления на нескольких кривых, или белые пятна неправильной формы на изображениях Formation MicroScanner могут соответствовать ангидритовым конкрециям (желвакам), если на этой же глубине другие методы в открытом стволе указывают на известняки или доломиты локальным увеличением $\rangle_b$ (рис.4-50).

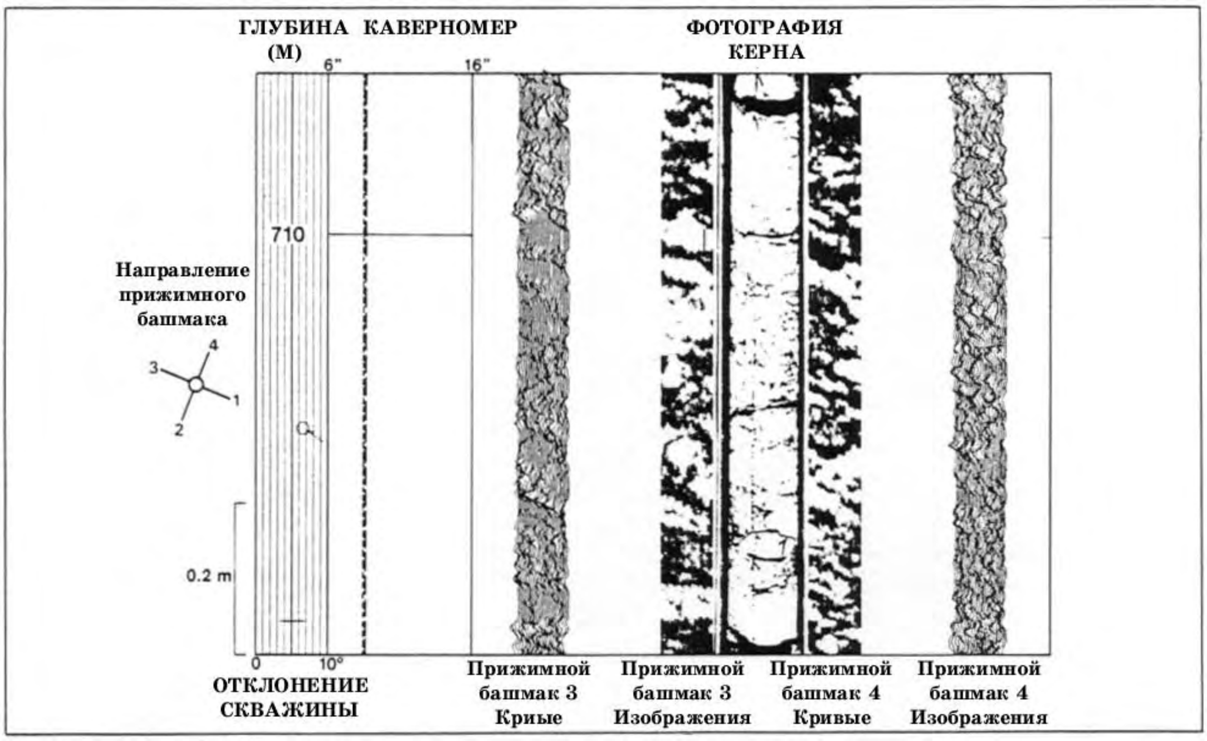



**Рис.4-50. Пример конкреций ангидрита, хорошо наблюдаемых на изображении Formation Micro-Scanner.**

## **4.3.3.6.** *Деятельность организмов*

Иногда на изображениях Formation MicroScanner хорошо видны элементы, которые соответствуют деятельности организмов. Например, на рис.4-51 можно видеть часть раковины устрицы с характерной вогнутостью кверху. Присутствие таких устриц подтверждается фотографией керна. На рис.4-52 видна фитоморфоза. Она соответствует черному вертикальному элементу, проникающему в белый субстрат. Фотография керна из этого же интервала подтверждает наличие фитоморфозы.

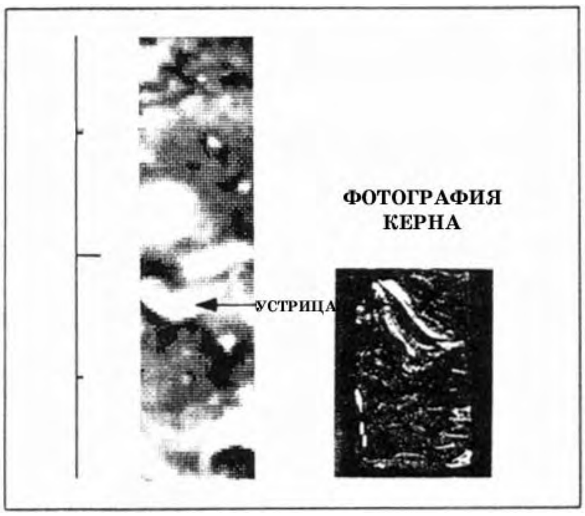



**Рис.4-51. Пример раковины устрицы, обнару-**


**Рис.4-52. Пример фитоморфозы, обнаруженной на изображении Formation MicroScanner,**

**женной на изображении Formation MicroScanner, и подтвержденной фотографией керна.**

**и подтвержденной фотографией керна.**

## **4.3.3.7.** *Деформации*

Как видно на рис.4-53 – 4-44, такие элементы как оползни, конволюты (convolutes), трещины и стилолиты, хорошо распознаются на изображениях Formation MicroScanner. Их распознание представляет особый интерес для более точного определения обстановки осадконакопления, а также эффектов диагенеза.

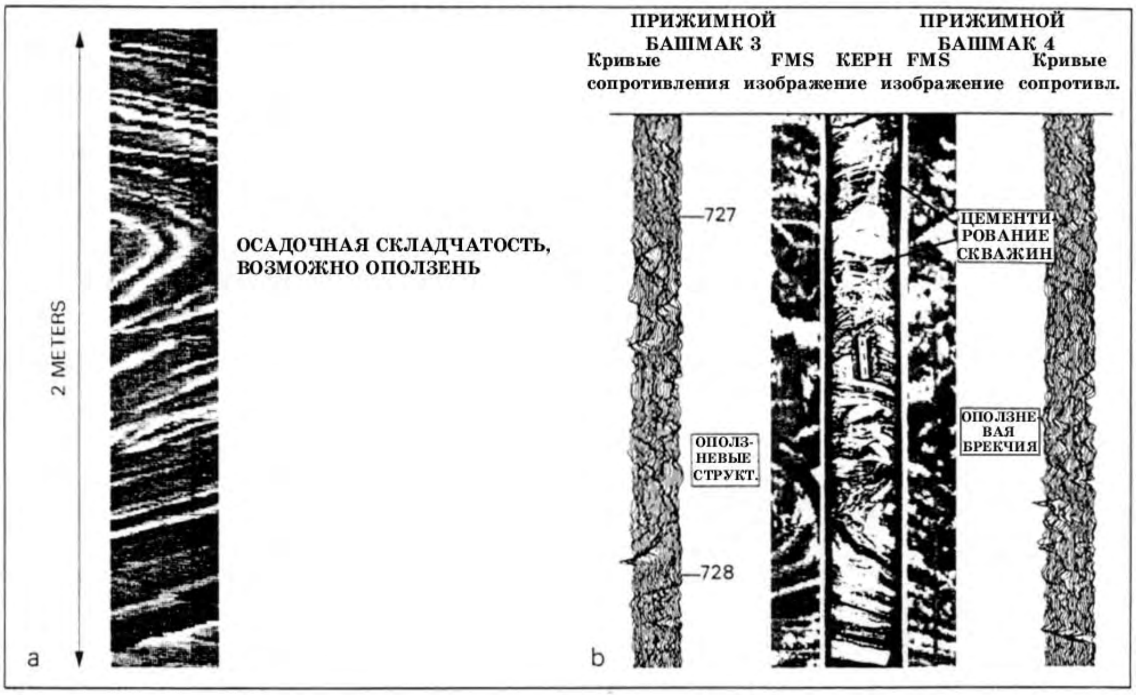



**Рис.4-53. Примеры оползней, очень хорошо видимых на изображениях Formation MicroScanner.**

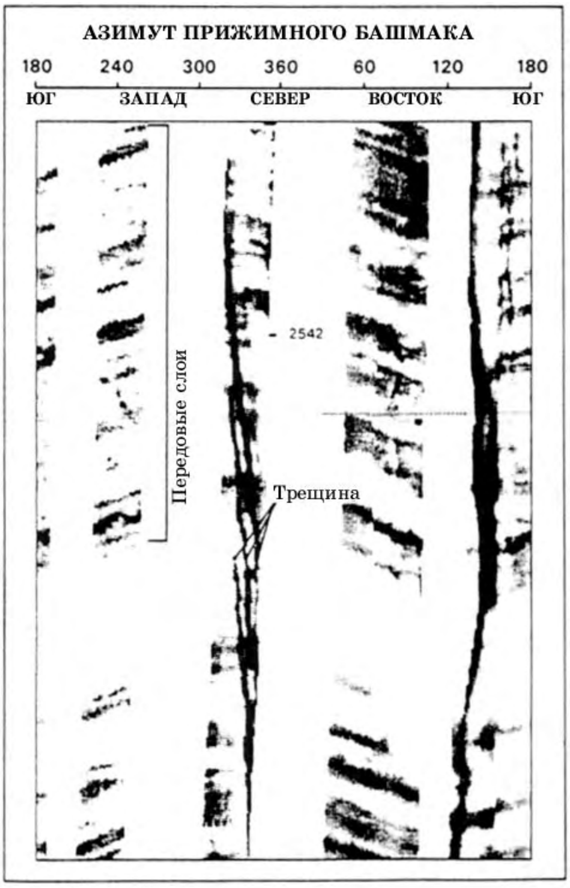



**Рис.4-54. Пример трещин, выявленных на изображении Formation MicroScanner. Можно отличить открытые трещины от «залеченных» трещин.**

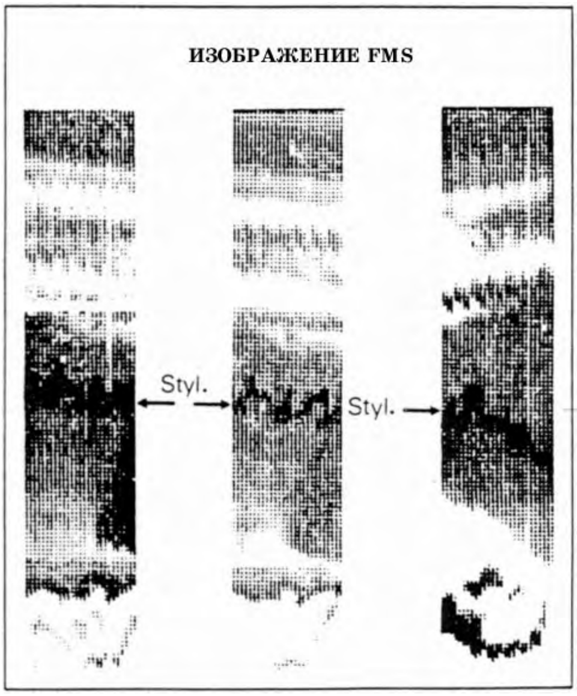



**Рис.4-55. Пример стилолитов, очень хорошо заметных на изображении Formation MicroScanner.**

## 4.3.4. Группы пластов («свита пластов» – «bedset»)

McKee и Weir (1953) определили группу пластов как последовательность слоев, по существу, согласных, отделенных от соседних осадочных единиц поверхностью эрозии или перерыва в осадконакоплении, или резкой сменой характеристик.

Группа пластов называется *простой* группой, если она состоит из двух или более стратифицированных пластов, имеющих одинаковые общие характеристики (минералогию, текстуру, внутреннюю структуру) и окруженных другими пластами иного характера.

Последовательность пластов называется *сложной*, если она состоит из группы слоев, имеющих различный состав, текстуру и внутреннюю структуру (рис.4-56).

Группы сложных пластов, состоящих из чередования параллельных слоев песка и глинистого сланца, показаны на рис.4-19 и 4-26.

Случай группы сложных пластов, имеющих «волнистую слоистость», показан на рис.4-16 и 4-24.

На этом последнем рисунке представлены почти все промежуточные случаи между «полосчатой слоистостью» и «линзообразной слоистостью», согласно классификации Reineck и Singh, 1975 (рис.4-57 и 4-58).

Сходные особенности проще наблюдать на изображении Formation MicroScanner (рис.4-59).

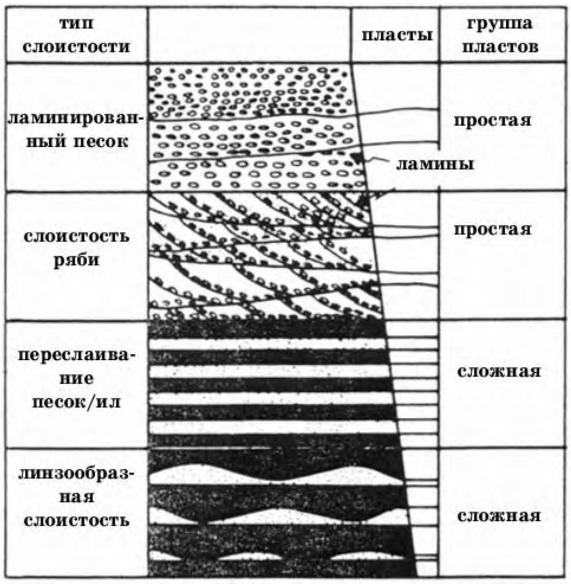



**Рис.4-56. Схематическая иллюстрация терминов, применяемых для обозначения слоистости: ламина (lamina), пласт, простая группа пластов, сложная группа пластов и тип слоистости (из Reineck и Singh, 1975).**

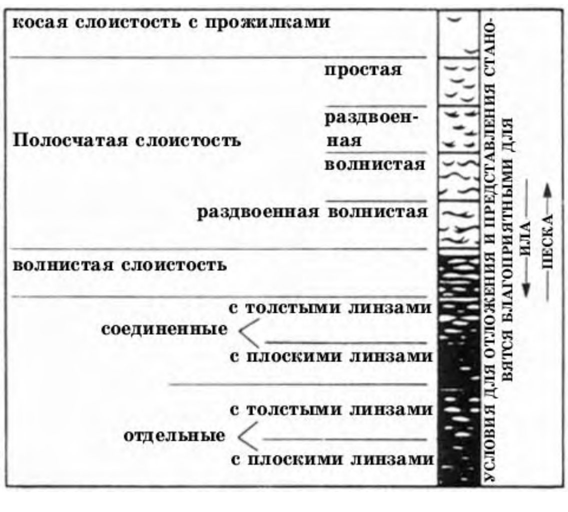



**Рис.4-57. Схематическая классификация полосчатой и линзообразной слоистости. Черный цвет = ил, белый цвет = песок (из Reineck и Singh, 1975).**

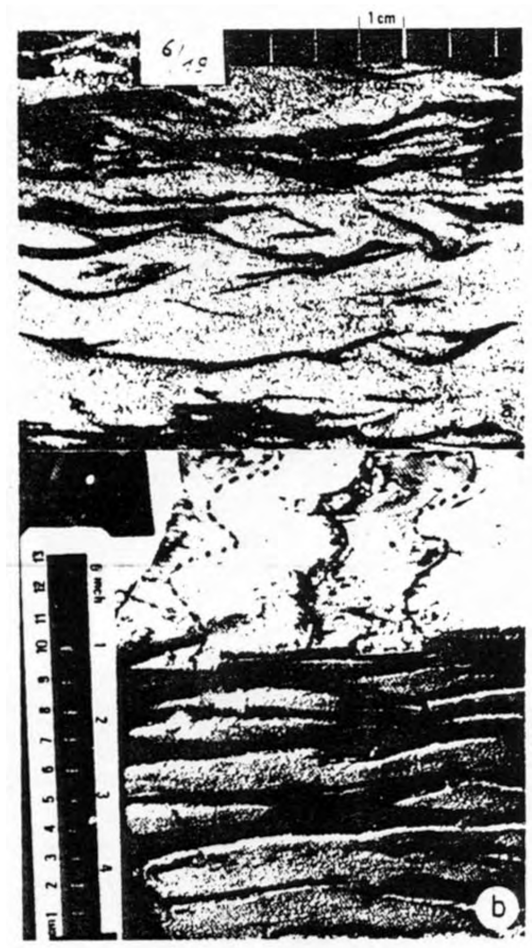
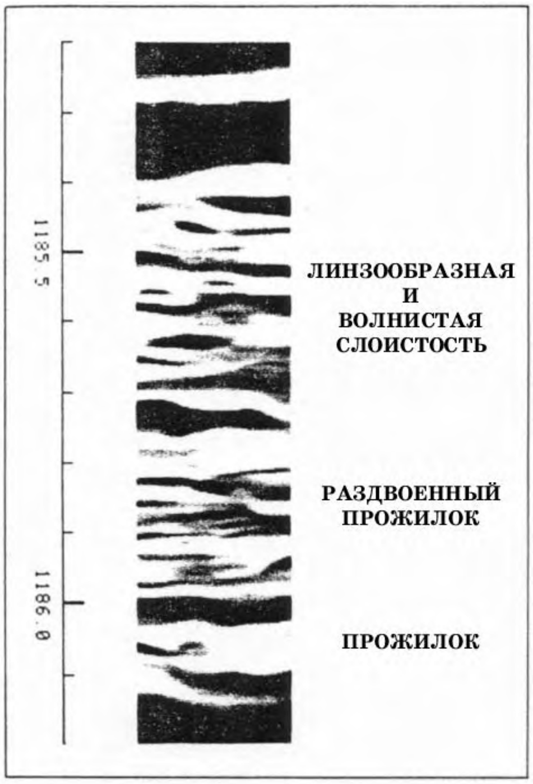



**Рис.4-58. Фотографии (a): полосчатой слоистости, и (b): линзообразной слоистости на разрезе, нормальном к гребням ряби (из Reineck и Singh, 1975).**

Рис.4-59. Примеры полосчатой и линзообразной слоистости, очень хорошо видимой на изображении Formation MicroScanner.




## 4.3.5. Комплексы, ритмы и циклы

Важность седиментологических параметров для восстановления среды осадконакопления хорошо установлена, и для этого предмета выделена целая глава (см. Главу 6). Для распознания комплексов, ритмов или циклов используются все имеющиеся данные ГИС, и часто имеет место предварительный период, который включает фациальный анализ. Однако может быть так, что мощность комплексов, ритмов или циклов настолько мала, что они могут быть выявлены только с помощью наклономера или прибора Formation Micro-Scanner , которые обладают высокой разрешающей способностью. Такие гранулометрические или литологические комплексы показаны на рис.4-27. Два других примера таких случаев в «флишевой» серии и в карбонатных турбидитах представлены на рис.4-60 и 4-61.

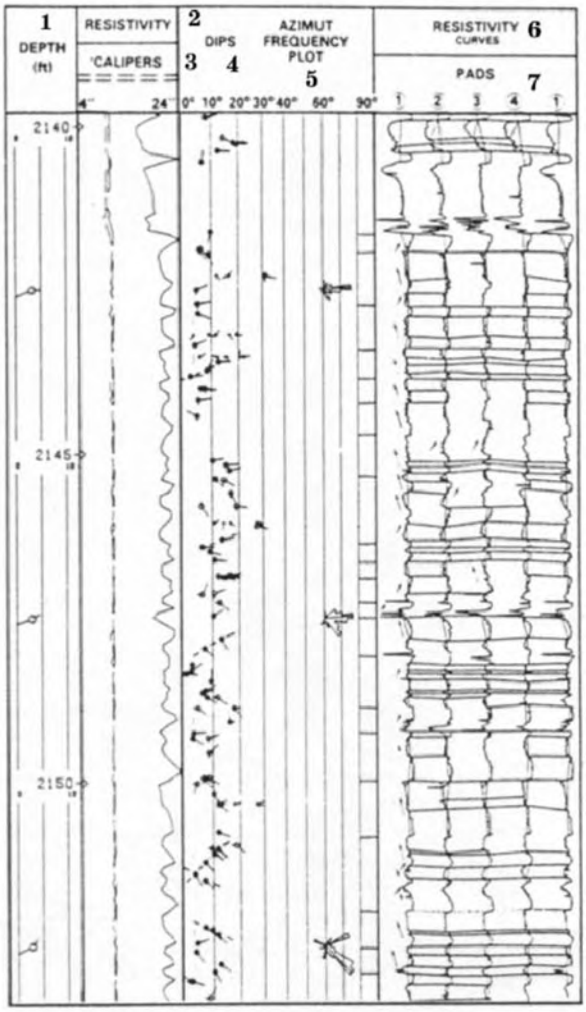



Рис.4-60. Пример комплексов малой мощности

## 4.3.6. Точное определение структурного наклона

Поскольку имеется возможность анализа геологического происхождения наклона, можно выбрать интервалы, которые демонстрируют наклоны с постоянной величиной и азимутом в низкоэнергетичной среде. Эти интервалы соответствуют группам слоев, плоскости напластования которых не подвергались изменениям биогенного характера или под действием оползней. Можно предположить, что эти пласты были отложены на поверхностям, близким к горизонтальным, и что их настоящие наклоны являются результатом тектонического давления (рис.4-19 и 4-26).

**в флишевой серии – в представлении GEODIP (из Payre и Serra, 1979).**
(1- глубина (в метрах); 2- сопротивление; 3- каверномеры; 4- наклоны; 5- частотная диаграмма азимутов; 6- кривые сопротивления; 7- прижимные башмаки)

После того, как структурный наклон идентифицирован, важно устранить его величину перед анализом картины наклона.

### 4.3.7. Картины палеотечений и направление переноса

Наклоны, рассчитанные программами GEODIP или LOCDIP, ассоциируются с хорошо наблюдаемыми событиями на кривых и, следовательно, в формациях. Таким образом, происхождение этих событий можно определить, выполняя одновременное исследование кривых сопротивления. Можно выбрать наклоны, связанные с особенностями течения, и проанализировать их эволюцию с глубиной.

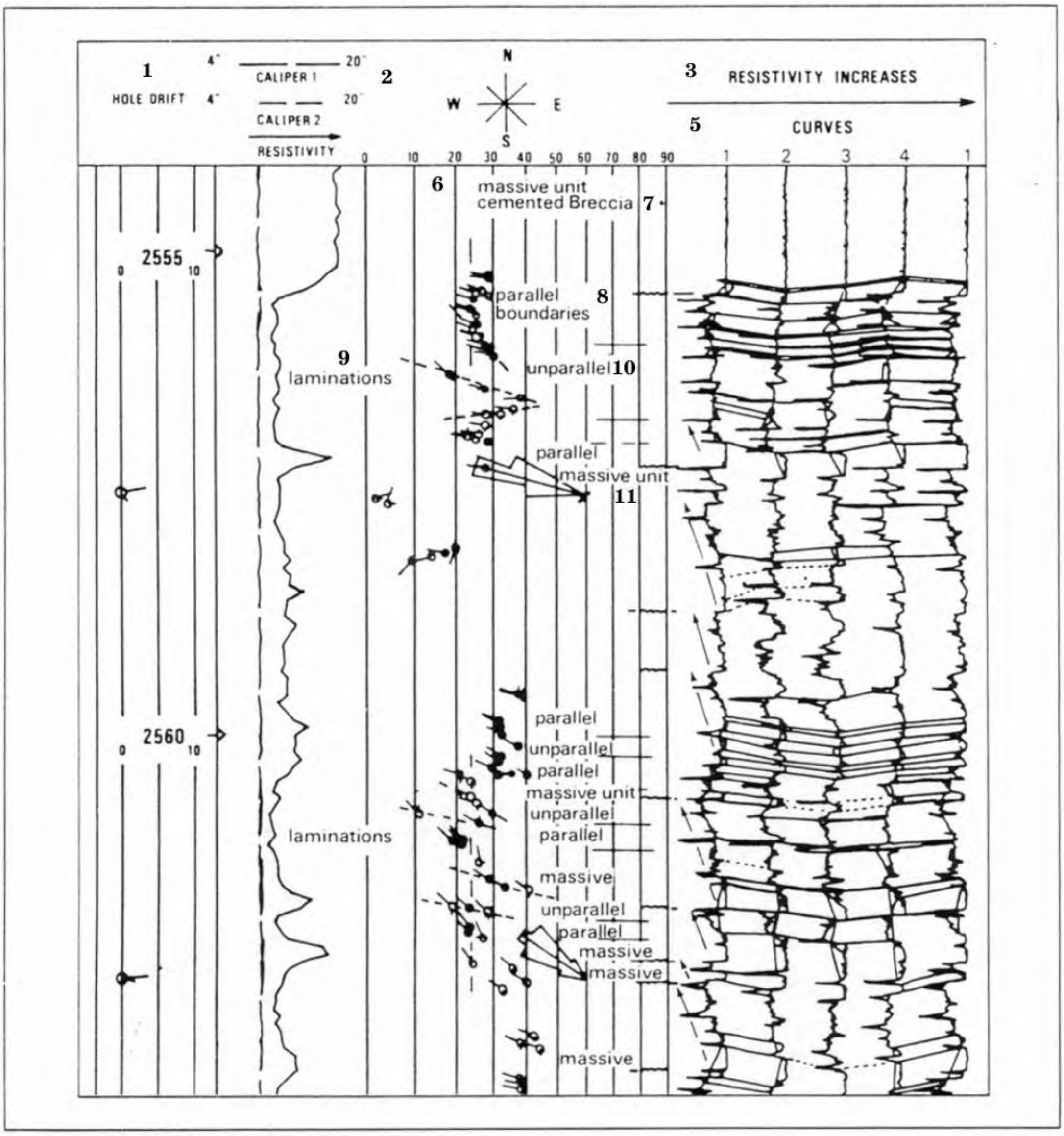



**Рис.4-61. Пример комплексов малой мощности в карбонатных турбидитах в представлении GEODIP (из Payre и Serra, 1979).**

(1- отклонение скважины; 2- каверномер 1; 3- сопротивление; 4- увеличение сопротивления; 5- кривые; 6- массивная единица; 7- сцементированная брекчия; 8- параллельные границы; 9- тонкая слоистость; 10- непараллельные границы; 11- массивная единица)

Исследование осадочных текстур может быть завершено определением направления транспортировки. Перед восстановлением первоначальных условий, необходимо вычесть структурный наклон или эволюции наклона, связанные с дифференцированным уплотнением. После этого появляется возможность определить, каким является направление течения: унимодальным, бимодальным или полимодальным, и установить амплитуду изменения наклона. Полученные результаты помогут определить динамический режим, преобладающий в осадочном бассейне (энергию течения, изменение направления со временем…), и получить улучшенное представление об обстановке осадконакопления (Таблица 4-5).

Методика группирования наклонов («цветовая картина» – «color pattern»), введенная Gilreath и др. (1964), могут быть использованы для этой цели в том случае (рис.4-62), если она применяется на осадочной единице. Последовательность наклонов с одним и тем же азимутом, но возрастающих по величине вверх по разрезу в пределах одной осадочной единицы, определяет группу, называемую «синей картиной» (blue pattern). Эта картина характеризует последовательность передовых слоев, связанных с рябью течения, которая ассоциируется с аккрецией или распространением (рис.4-63). Иногда эти передовые слои очень хорошо наблюдаются на изображениях Formation MicroScanner, что позволяет легко определить направление переноса (рис.4-64). Если наклоны уменьшаются по величине вверх по разрезу (рис.4-62), определяется группа «красная картина» (red pattern). Эта группа указывает либо на заполнение впадины (рис.4-65b, 4-65c), либо на выпуклую часть передовых слоев (рис.4-63), либо на облекание предыдущих отложений, которое формирует рельеф поверхности, либо на береговой бар (рис.4-66), либо на риф (рис.4-67), либо на облекание диапировых соляных или глиняных куполов (рис.4-68). В таких случаях, будут наблюдаться красные картины в большом интервале.

Таблица 4-5

*Характеристики слоистости течения в терминах протяженности наклона и наклонных комплексов, в зависимости от глубины и ориентации слоистости течения, связанной с геометрией палеосклона и песчаного тела для нескольких вариантов обстановки осадконакопления.*

| ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ | ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОИСТОСТИ ТЕЧЕНИЯ | ОРИЕНТАЦИЯ СЛОИСТОСТИ ТЕЧЕНИЯ |
|---|---|---|
| АЛЛЮВИЙ РАЗВЕТВЛЕННОЙ РЕКИ | - ФЕСТОНЧАТЫЙ (КОРЫТООБРАЗНЫЙ) ТИП<br>- БОЛЬШАЯ ПРОТЯЖЕННОСТЬ ПО ПАДЕНИЮ | - - УНИМОДАЛЬНАЯ, С БОЛЬШИМ РАССЕЯНИЕМ (90°)<br>- В ОБЩЕМ СЛУЧАЕ ВНИЗ ПО ПАЛЕОСКЛОНУ<br>- НАПРАВЛЕНИЕ УДЛИНЕНИЯ ПЕСЧАНОГО ТЕЛА |
| КОСА МЕАНДРИРУЮЩЕЙ РЕКИ | - ФЕСТОНЧАТЫЙ (КОРЫТООБРАЗНЫЙ) ТИП<br>- БОЛЬШАЯ ПРОТЯЖЕННОСТЬ ПО ПАДЕНИЮ<br>- УВЕЛИЧЕНИЕ УГЛА У ПОДОШВЫ<br>- ПЛАСТИНЧАТАЯ СЛОИСТОСТЬ С МАЛЫМ УГЛОМ В КРОВЛЕ | - УНИМОДАЛЬНАЯ, С СИЛЬНЫМ РАССЕЯНИЕМ (180°)<br>- В ОБЩЕМ СЛУЧАЕ НИЖНИЙ ПАЛЕОСКЛОН<br>- НАПРАВЛЕНИЕ ОРИЕНТИРОВКИ МЕАНДРОВОГО АЛЕВРИТОВОГО И ПЕСЧАНОГО ТЕЛА |
| ЭОЛОЛВЫЕ ДЮНЫ | - ПЛАСТИНЧАТАЯ СЛОИСТОСТЬ С БОЛЬШИМ УГЛОМ (30°), ВЕСЬМА ВЫДЕРЖАННАЯ<br>- УМЕНЬШЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА У ПОДОШВЫ | - УНИМОДАЛЬНОЕ НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ РАССЕЯНИЕ<br>- НЕТ СВЯЗИ С ПАЛЕОСКЛОНОМ<br>- НОРМАЛЬНАЯ К НАПРАВЛЕНИЮ УДЛИНЕНИЯ ПЕСЧАНОГО ТЕЛА |
| РАЗВЕТВЛЕННЫЕ РУКАВА ДЕЛЬТЫ | - ФЕСТОНЧАТАЯ, ПЛАСТИНЧАТАЯ<br>- УВЕЛИЧЕНИЕ УГЛА В ПОДОШВЕ<br>- УМЕРЕННОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ | - УНИМОДАЛЬНАЯ, УМЕРЕННОЕ РАССЕЯНИЕ<br>- В НАПРАВЛЕНИИ МОРЯ<br>- НАПРАВЛЕНИЕ УДЛИНЕНИЯ ПЕСЧАНОГО ТЕЛА |
| РАЗВЕТВЛЕННЫЕ УСТЬЕВЫЕ БАРЫ | - ПЛАСТИНЧАТАЯ, С УМЕРЕННЫМ УГЛОМ НАКЛОНА (> 10°)<br>- УВЕЛИЧЕНИЕ УГЛА НАКЛОНАВ КРОВЛЕ<br>- ° | - УНИМОДАЛЬНАЯ, РАДИАЛЬНАЯ<br>- В НАПРАВЛЕНИИ МОРЯ, НО ИСПЫТЫВАЕТ ВЛИЯНИЕ БЕРЕГОВЫХ ТЕЧЕНИЙ<br>- НАПРАВЛЕНИЕ УДЛИНЕНИЯ ПЕСЧАНОГО ТЕЛА (В ФОРМЕ ЛОПАСТИ) |
| ЭСТУАРИЕВЫЕ РУСЛА И ПРИЛИВНО-ОТЛИВНЫЕ КАНАЛЫ СТОКА | - ПЛАСТИНЧАТАЯ, С МАЛЫМ УГЛОМ (10°)<br>- УВЕЛИЧЕНИЕ УГЛА В ПОДОШВЕ<br>- УМЕНЬШЕНИЕ УГЛА В КРОВЛЕ | - БИМОДАЛЬНАЯ (180°), РАССЕЯННАЯ<br>- НОРМАЛЬНАЯ К БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ<br>- НАПРАВЛЕНИЕ УДЛИНЕНИЯ ПЕСЧАНОГО ТЕЛА |
| ПЛЯЖИ И БАРЫ | - ПЛАСТИНЧАТАЯ<br>- МАЛЫЙ УГОЛ НА СТОРОНЕ, ОБРАЩЕННОЙ К МОРЮ (< 10°)<br>- БОЛЬШОЙ УГОЛ НА СТОРОНЕ | - УНИМОДАЛЬНАЯ, ВОЗМОЖНО, БИМОДАЛЬНАЯ<br>- ОБЫЧНО ВНИЗ ПО ПАЛЕОСКЛОНУ, НО ВОЗМОЖНО И ОБРАТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ |

| | | |
|---|---|---|
| | ЛАГУНЫ (> 20°) | - НОРМАЛЬНАЯ К НАПРАВЛЕНИЮ УДЛИНЕНИЯ ПЕСЧАНОГО ТЕЛА |
| ПЕСКИ МОРСКОГО ШЕЛЬФА | - ПЛАСТИНЧАТАЯ<br>- КОРЫТООБРАЗНАЯ С ОЧЕНЬ МАЛЫМ УГЛОМ | - ПОЛИМОДАЛЬНАЯ, СЛУЧАЙНАЯ |
| ТУРБИДИТЫ | - ПЛАСТИНЧАТАЯ ИЛИ ОТСУТСТВУЕТ<br>- КОРЫТООБРАЗНАЯ С ОЧЕНЬ МАЛЫМ УГЛОМ<br>- РЕДКО НАБЛЮДАЕМАЯ | - УНИМОДАЛЬНАЯ<br>- ВНИЗ ПО ПАЛЕОСКЛОНУ<br>- НАПРАВЛЕНИЕ УДЛИНЕНИЯ ПЕСЧАНОГО ТЕЛА |


**Рис.4-62. Цветные картины наклонов и геологические события, ассоциированные с ними (из Gilreath *и др.*, 1964).**
(1- типичные картины наклонов; 2- красная картина; 3- зеленая картина; 4- синяя картина; 5- случайные наклоны; 6- отсутствие наклонов (белая картина?)

| ВОЗМОЖНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ | |
|---|---|
| СТРУКТУРНАЯ | СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ |
| | ■ Заполнение русла или впадины |
| Волочение крыла разлома | Выпадение осадков на структуру, |
| Фланг складки (концентрической) | существовавшую ранее |
| | (рифовый бар) |
| | |
| Структурное падение | |
| в наклонном блоке | ■ Пластинчатая косая слоистость |
| Фланг складки (симметричной) | |
| | ■ Корытообразная косая слоистость |
| Волочение крыла разлома | Несогласие (выветривание) |
| Складка (симметричная) | Проградирующий песчаный бар |
| | Дальняя рифовая осыпь |
| | |
| | ■ Отсутствующая или искаженная расслоенность (органическая достройка, перекристаллизованная структура, оползание, диагенетические деформации) |
| Зона разлома | |
| Интервал трещиноватости | |
| | |
| | |
| | ■ Массивная структура |
| ↓↓ | без расслоения, или |
| | очень крупнозернистая |
| | |
| Структурные | |

| | |
|---|---|
| | ■ Расслоенность от средней до слабой |
| наклоны | |
| | |
| | |
| Структурные | ■ Отложения низкоэнергетичной среды, |
| наклоны | хорошая расслоенность |


**Рис.4-63. (a) Слоистость мегаряби. Хорошо видны наклонные передовые тонкие слои двух единиц со слоистостью мегаряби (из Reineck и Singh, 1975). (b) Слоистость мегаряби, демонстрирующая хорошо развитую слоистость ряби обратного течения в подошве передовых тонких слоев слоистости мегаряби**

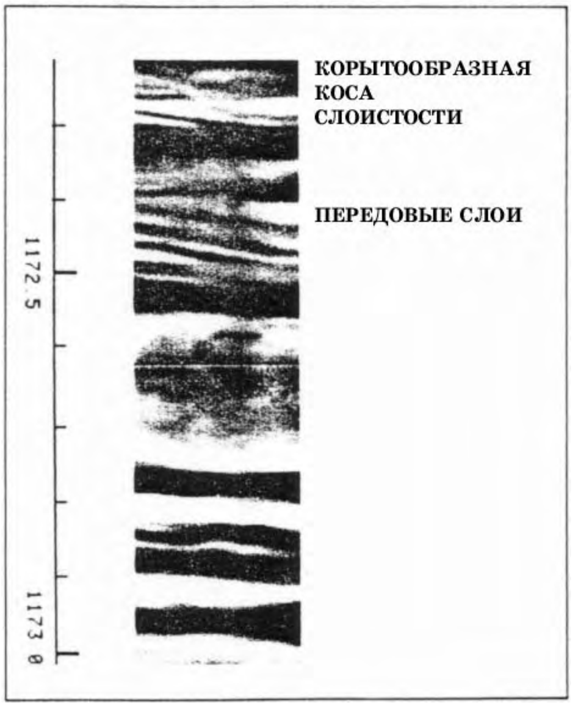



**Рис.4-64. Пример передовых слоев, видимых на изображении Formation MicroScanner, по которому можно сделать вывод о направлении транспортировки**

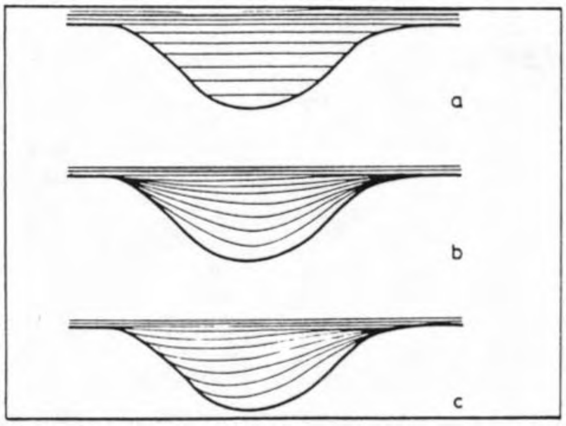



**Рис.4-65. Три вида заполнения русла. (a) Русло, заполненное горизонтально-слоистыми отложениями. (b) Русло, заполненное слоями, приблизительно следующими форме русла; вблизи кровли слои становятся горизонтальными. (c) Русло, асимметрично заполненное круто наклоненными слоями (на основе McKee, 1957).**

**(из Boersma *и др.*, 1968, у Reineck и Singh, 1975). (с) Пример синих и красных картин в передовых слоях**

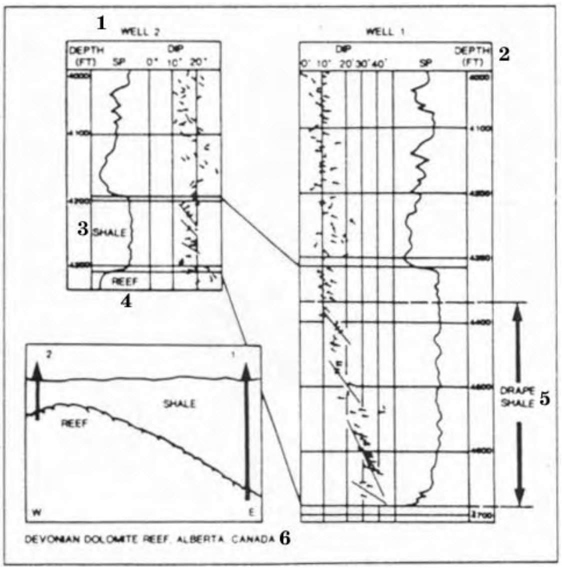



**Рис.4-67. Пример красных картин над рифом.**
(1- скважина 2; 2- глубина (в футах); 3- глинистый сланец; 4- риф; 5- облекающий глинистый сланец; 6- девонский доломитовый риф, Альберта, Канада)

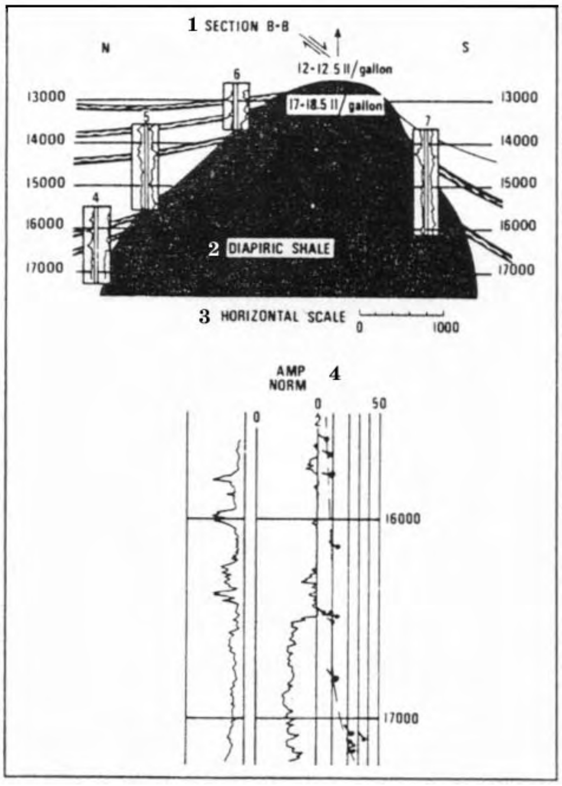



**Рис.4-68. Пример красной картины над диапировым глинистым сланцем (из Gilreath, 1968).**
(1- разрез В-В‘; 2- диапировый глинистый сланец; 3- горизонтальный масштаб; 4- нормированная амплитуда)

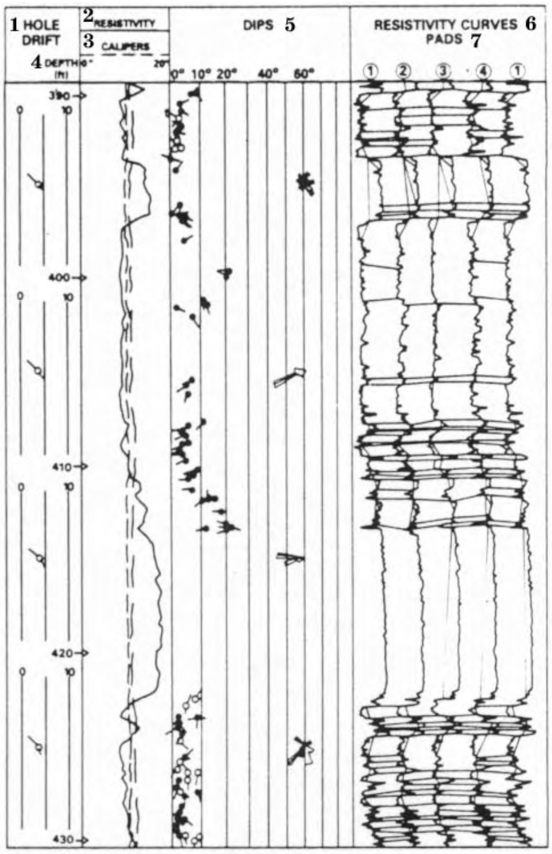



**Рис.4-66. Пример красной картины над песчаным пластом (береговой бар).**
(1- отклонение скважины; 2- сопротивление; 3- каверномеры; 4- глубина (в футах); 5- наклоны; 6- кривые сопротивления; 7- прижимные башмаки)

На кривой наклономера в песчаной дюне (рис.4-32), каждая граница передовых тонких слоев более или менее наклонена, как можно видеть на обнажении. Можно также определить направление ветра для каждого отложения. См. также изображение Formation MicroScanner на рис.4-33.

Речное отложение можно видеть на рис.4-69. Интерпретация изолированной синей картины на отметке 6452 предполагает направление переноса на север; интерпретация другой изолированной красной картины указывает на заполнение впадин в русле, ось которого ориентирована в направлении север-юг. Группы синих и красных картин (выше отметки 6450) соответствуют развитию фронтальных баров или стремнинных баров. Ось русла, которое, как кажется, также имеет направление север-юг, расположено восточнее. В подошве песка можно установить многочисленную косую слоистость, а в кровле – возрастание величины осадочного наклона, совместно с уменьшением энергии течения и размера зерен. Кровля интервала образована пойменными отложениями. Этот пример напоминает то, что показано на рис.4-61. Его можно также сравнить с системой косы (рис.4-70), которая демонстрирует наклон и размеры зерен, как они видны на обнажении.

## *4.4. КОМПЬЮТЕРИЗОВАННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ НАКЛОНОМЕРА.* ПРОГРАММА SYNDIP

### 4.4.1. История

Как продемонстрировано в предыдущей главе и в первой части этой главы, интерес, который представляют данные наклономера для выделения информации о текстуре и об осадочной текстуре пород, является очевидным. Эта информация весьма важна для лучшего и более точного определения электрофаций (а, следовательно, фаций и обстановки осадконакопления), и не может игнорироваться.

Но по своему характеру эта информация является качественной: особенности кривых сопротивления наклономера, тип границ пластов, эволюция наклона с глубиной…. Поэтому ее использование для автоматического определения электрофаций возможно только в том случае, если данные, выделенные из показаний наклономеров и результаты их обработки программами GEODIP или LOCDIP, имеют количественную форму. С другой стороны, эти данные должны быть приписаны электропласту (electrobed) или электрокомплексу (electrosequence), или осреднены в данном окне и дискретизированы с таким же шагом, как диаграммы в открытом стволе. Как известно, выборка данных быстрого канала (fast channel) наклономера делается через каждые 5 мм для прибора HDT, или 2.5 мм для приборов SHDT или Formation MicroScanner, вместо полфута (15 см) или, в исключительных случаях, 1.2 дюйма для приборов, работающих в необсаженных скважинах.

Для достижения этих целей, кривые сопротивления наклономера и результаты расчета наклона были описаны рядом параметров:

- изменчивостью или активностью кривых (VAR), которая отражает однородность (очень низкая изменчивость) или неоднородность (высокая изменчивость) формации,
- частотой событий – максимумов или минимумов – кривой (FRE) в данном шестидюймовом интервале, который распознается программой GEODIP,
- средней мощностью события кривой ALT ($P_9$, параметр вектора образа (pattern vector), рассчитанного в процессе обработки программой GEODIP),
- равновесием отклонений кривых сопротивления от положительных величин к отрицательным, или, другими словами, отношением средней мощности максимумов к средней мощности минимумов в интервале (BAL). Если эти максимумы и минимумы соответствуют песчаным и глинистым пластам, данный параметр используется для расчета песчано-глинистого коэффициента (рис.4-71),

- плотностью корреляций DEN, обнаруженных программой GEODIP. Плотность событий FRE может быть высокой, а плотность корреляций может быть низкой, если эти события не сходны и, следовательно, плохо коррелируются (случай конгломератов или recifal баундстонов),
- резкостью событий кривой SHA (осреднение по четырем кривым сопротивления),
- средним сопротивлением интервала SRES.

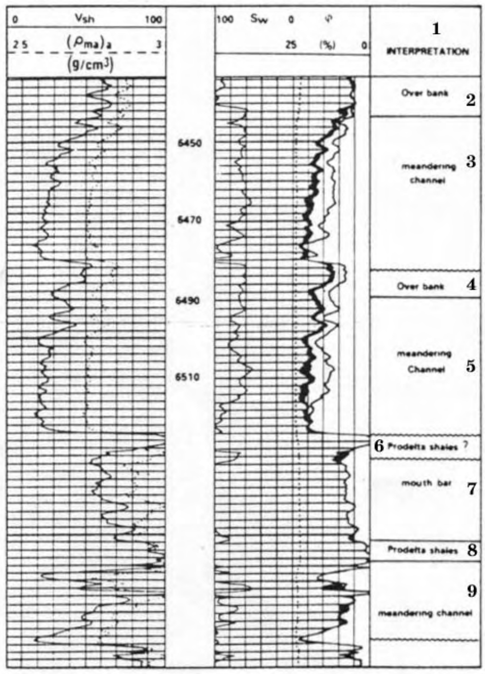



**Рис.4-69а. Сводная диаграмма, показывающая два наложенных аллювиальных песчаных тела.**
(1- ИНТЕРПРЕТАЦИЯ; 2- Паводковые отложения; 3- меандрирующее русло; 4- Паводковые отложения; 5- меандрирующее русло; 6- Глинистые сланцы продельты?; 7- устьевый бар; 8- Глинистые сланцы продельты; 9- меандрирующее русло)

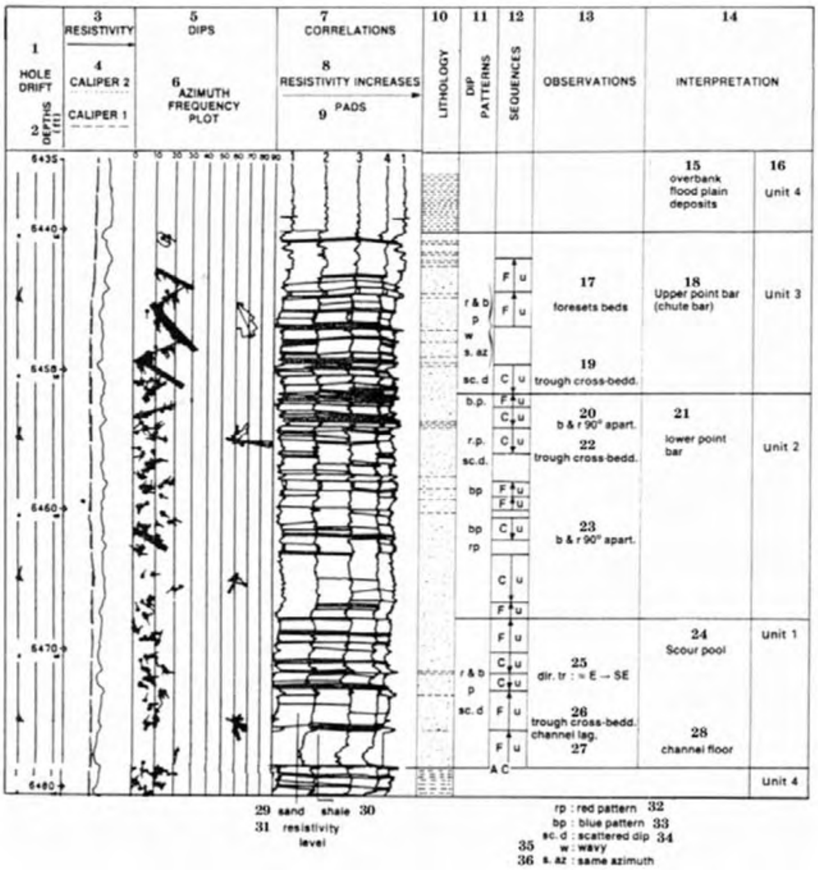



**Рис.4-69b. Векторная диаграмма GEODIP, соответствующая верхнему комплексу**.

(1- отклонение скважины; 2- глубина (в футах); 3- сопротивление; 4- каверномер 2; 5- наклоны; 6- частотная диаграмма азимутов; 7- корреляции, 8- возрастание сопротивления; 9- прижимные башмаки; 10- литология; 11- картины наклонов; 12- комплексы; 13- наблюдения; 14- интерпретация; 15- паводковые отложения; 16- Единица 4; 17- передовые слои; 18- верхняя коса (стремнинный бар); 19- корытообразная косая слоистость; 20- b&r, разнесенные на 90 град.; 21-нижняя коса; 22- корытообразная косая слоистость; 23- b&r, разнесенные на 90 град.;24- плес размыва; 25- направление впадины: <восток□юго-восток; 26- корытообразная косая слоистость;27- остаточный гравий; 28- дно русла; 29- песок; 30- глинистый сланец; 31- уровень сопротивления; 32- rp: красная картина; 33- bp: синяя картина; 34- sc.d: рассеянный наклон; 35- w: волнистая картина; 36- s.az: тот же азимут)

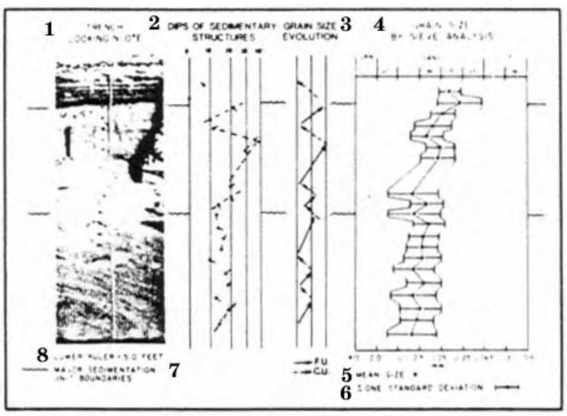
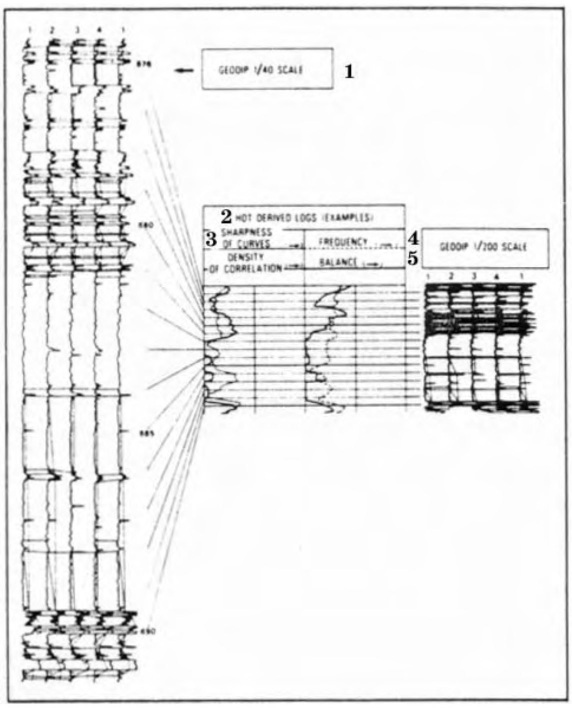



**Рис.4-70. Изменение размера зерен по вертикали, истинный угол наклона и направление наклона отложений одного наводнения (из Steinmetz, 1967, у Reineck и Singh, 1975).**

(1- траншея; 2- наклоны осадочных структур; 3- эволюция размера зерен; 4- размер зерен по результатам ситового анализа; 5- средний размер; 6- ± одно стандартное отклонение; 7- границы основных седиментационных единиц; 8- нижняя



разметка 150 футов)

**Рис.4-72. Некоторые кривые, выведенные по данным HDT, и изображения GEODIP (из Serra и Abbott, 1982).**

(1- GEODIP, масштаб 1/40; 2- кривые, выведенные по данным HDT (примеры); 3- резкость кривых; 4- частота; 5- равновесие)

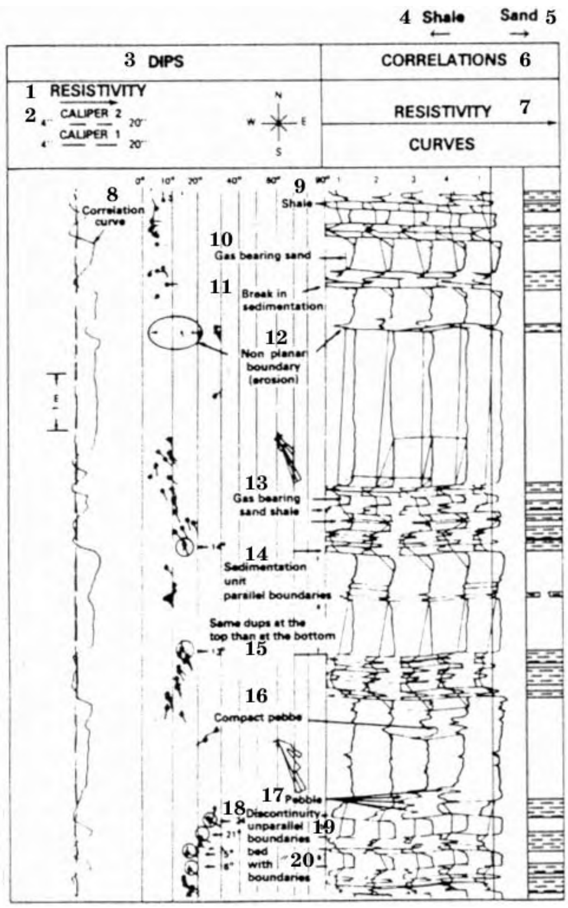



**Рис.4-71. Пример песчано-глинистого коэффициента, легко рассчитанного по данным наклономера (параметр BAL).**

(1- сопротивление; 2- каверномер 2; 3- наклоны; 4- Глинистый сланец; 5- Песок; 6- корреляции; 7- кривые сопротивления; 8- Кривые корреляции; 9- Глинистый сланец; 10- Газонасыщенный песок; 11- Перерыв в осадконакоплении; 12- Не плоскостная (эрозионная) граница; 13- Газонасыщенные песчано-глинистые отложения; 14- Параллельные границы седиментационных единиц; 15- В кровле наклоны такие же, как в подошве; 16- Плотная галька; 17- Галька; 18- Перерыв; 19- непараллельные границы; 20- слой с границами)

Эти параметры были рассчитаны для каждого 6-дюймового интервала, соответствующего 30 выборкам. Они представили попытку преобразовать информацию, заключающуюся в форме кривой, в количественную форму, которую можно использовать в определении электрофаций, аналогично диаграмме ГИС. Поэтому этим рассчитанным кривым было дано название «синтетические кривые».

На рис.4-72 показаны некоторые из кривых, выведенных по данным HDT, или синтетических кривых, в сравнении с изображением GEODIP в этом же интервале.

Поскольку некоторые из выведенных кривых могут отражать одни и те же явления (т.е. FRE, DEN, ALT, VAR), и, следовательно, могут быть хорошо коррелированы, присутствует определенная избыточность. Чтобы избежать этого, выведенные кривые были обработаны с применением анализа основных компонентов (Principle Component Analysis – PCA) – см. определение в следующей главе. Оказалось, что, в общем случае, первая основная составляющая в пространстве выведенных кривых может служить показателем однородности. На рис.4-74 показана первая основная составляющая в серии пластов вместе с соответствующей характеристикой GEODIP. Их сравнение показывает, что положительные отклонения новой кривой свидетельствует о неоднородности (тонкая слоистость, плохая сортировка зерен, и т.д.), отрицательное отклонение указывает на однородность (хорошо сортированные пески и т.д.). Эта кривая может затем быть использована в обработке в качестве структурного и текстурного индикатора – вместо FRE, DEN, VAR….

Некоторые из этих синтетических кривых демонстрируют высокую степень корреляции с данными методов в необсаженных скважинах, таких как ГК (рис.4-75) или ПС (рис.4-76).

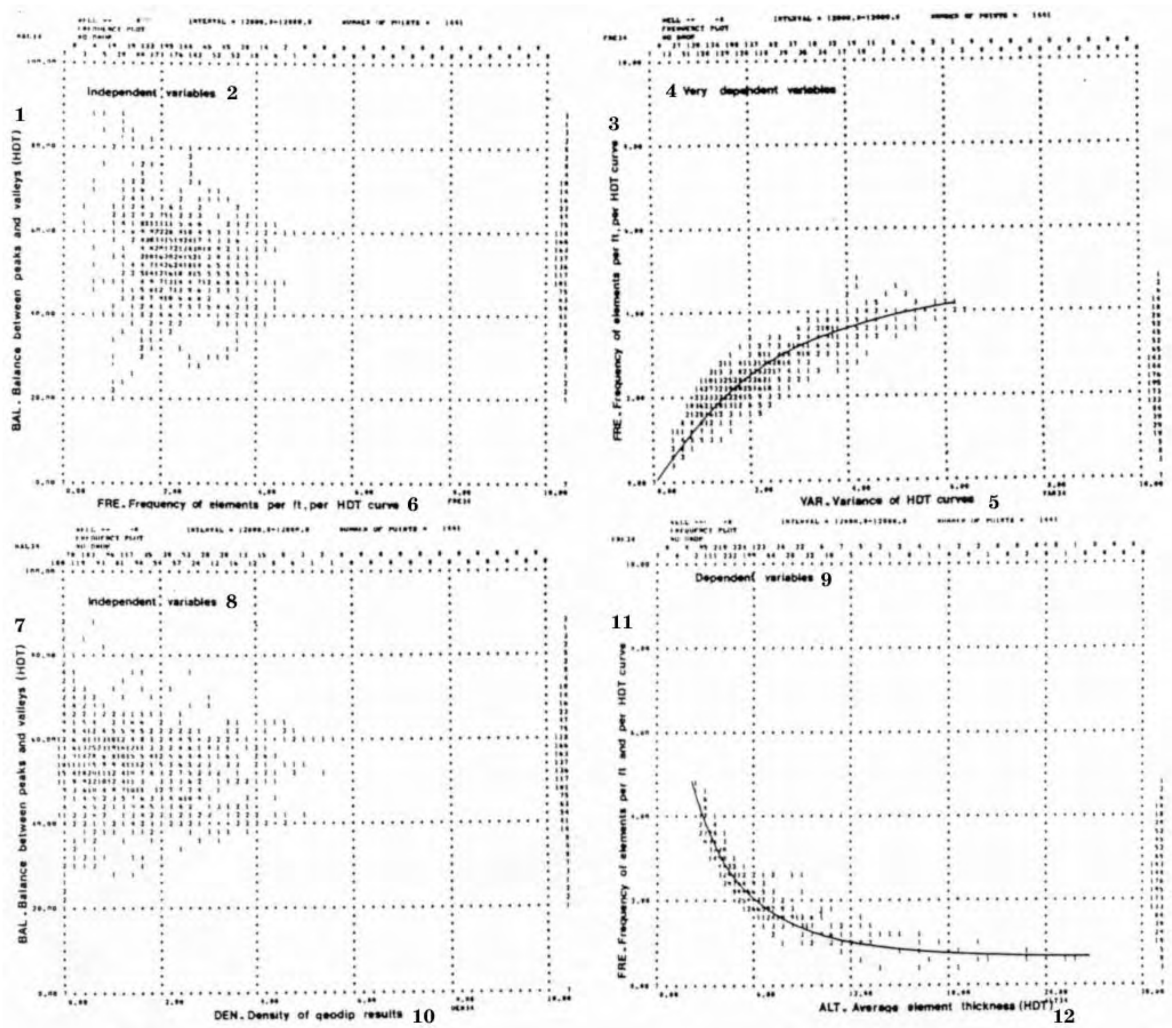



**Рис.4-73. Корреляции между различными синтетическими кривыми, выведенными по данным наклономера.**
(1,7 –BAL, равновесие между максимумами и минимумами (HDT); 2,8-Независимые переменные; 3,6,11-FRE, частота элементов на фут и на кривую HDT; 4- Очень зависимые переменные; 5- VAR, дисперсия кривых HDT; 9- Зависимые переменные; 10- DEN, плотность результатов GEODIP; 12- ALT, средняя мощность элемента (HDT)

## 4.4.2. Программа SYNDIP

SYNDIP – это программа, разработанная фирмой Schlumberger (Delhomme и Serra, 1984) с целью замены предыдущей процедуры. Программа формирует кривые, выведенные по необработанным данным HDT или SHDT (или синтетические кривые), и результаты вычислений. Так называемые синтетические кривые основываются на элементах и подобии кривых микрокаротажа, а также на эволюции наклонов с глубиной и плоскостности. Программа может быть сфокусирована, согласно различным критериям (качеству наклонов и плоскостности, размеру событий кривых…).

При нормальном использовании, синтетические кривые SYNDIP выводятся с шагом выборки полфута; такой шаг выбран потому, что он согласуется с шагом выборки большинства кривых в открытом стволе. Однако для детальных исследований может быть выбран другой шаг (например, 1.2‘‘ – обычная величина для замеров прибором EPT*).

* Марка Schlumberger

Сначала рассчитывается частота точек перегиба (коррелированных или не коррелированных) на одной кривой сопротивления наклономера, как показатель активности кривой. Резкость этой синтетической кривой гарантируется тем фактом, что для расчета частоты не используется окно; расчет, скорее, основывается на мощности между последовательными точками перегиба (ATBR).

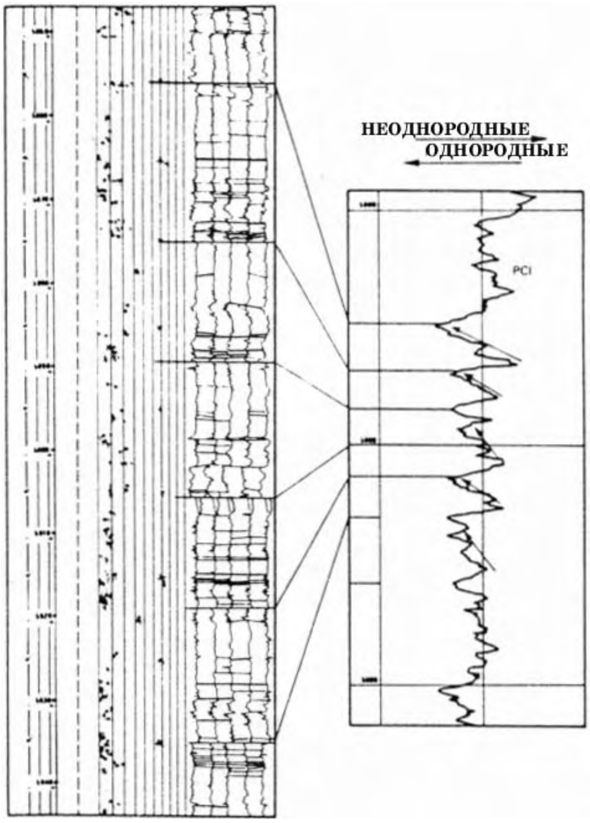



**Рис.4-74. Первая основная составляющая, выведенная из PCA на шести синтетических кривых (из Serra и Abbott, 1980).**

Пласт или ламина может быть определен как интервал глубин между двумя последовательными корреляциями, найденными программами GEODIP или LOCDIP. Линии корреляции связывают верхние или нижние точки перегиба сходных элементов на нескольких кривых наклономера. Таким образом, мощности слоев рассчитываются между последовательными линиями корреляции (ATCL). Когда расстояние между линиями корреляции меньше выходного шага выборки, рассчитывается средняя мощность, но разрешающая способность поддерживается.

Представление о внутренней организации слоев можно получить, сочетая активность кривой с плотностью корреляций. Высокая активность при отсутствии корреляций отражает организацию грубозернистого неоднородного пласта (конгломераты, полосчатая слоистость, рифы, кавернозные известняки…). Низкая активность или ее отсутствие и отсутствие корреляции отражает либо однородный слой, либо слой с очень тонкой неоднородностью. Высокая активность при высокой плотности корреляции соответствует тонкослоистым отложениям.

Вместе с границами пласта выводится признак неплоскостности (non-planarity), если коэффициент плоскостности GEODIP или LOCDIP ниже определенной пороговой величины. Это указывает на неплоскостную и, возможно, эрозионную поверхность.

Можно оценить параллельность последовательных границ пластов, сравнивая соответствующие наклонные плоскости; рассчитывается угол между кровлей и подошвой слоя и выводится признак непараллельности, если угол больше определенной величины (например, 10°). Рассчитывается дисперсия наклонов в заданном скользящем окне (обычно 3 м или 10 футов шириной); это угловое стандартное отклонение, рассчитанное на единичной полусфере.

Интервалы с малой дисперсией наклонов, тонкими пластами, малыми углами между кровлями и подошвами пластов и с литологией, которая соответствует низкоэнергетичной обстановке осадконакопления (тонкие слои глинистого сланца-алеврита или глинистого сланца-мергеля), – это те интервалы, где может быть выбран структурный наклон.

Идентифицируется также природа контактов и переходов. Высокая вертикальная разрешающая способность наклономера и его шаг выборки позволяют разделять резкие и плавные изменения. Этот последний тип соответствует рампам (ramps) проводимости, которые в общем случае отражают эволюцию размера зерен или литологии (комплексов). В результате анализа рампа SYNDIP выводятся мелко- и крупномасштабные рампы.

Наконец, в SYNDIP в данные наклономера вводится поправка за величину EMEX (т.е. за величину полного тока, переданного в пласт), пересчитанную и осредненную в проводимости в выходном интервале выборки, начиная с момента, когда уровни становятся параллельными.

### 4.4.3. Описание изображения SYNDIP

Пример графического вывода SYNDIP представлен на рис.4-77.

На первой дорожке воспроизведены в логарифмическом масштабе три калиброванные кривые сопротивления наклономера: минимальное и максимальное значения, записанные четырьмя или восемью дисковыми электродами (тонкие линии), и средняя величина, рассчитанная по этим 4 или 8 замерам сопротивления (толстая линия). Такое представление данных позволяет выявить однородные или неоднородные пласты.

На второй дорожке показана внутренняя организация пластов: точками обозначены однородные или массивные пласты, белые кружки соответствуют неоднородным пластам, а темно-серым цветом с горизонтальными линиями представлены пласты с тонкой слоистостью. Ограничивающая кривая – частота точек перегиба, показатель полной активности кривой (1/ATBR), и частота корреляций (1/ATCL).

Справа от второй дорожки, в трех колонках показаны признаки, обозначающие обнаружение неплоскостных поверхностей, непараллельность границ последовательных пластов, и коррелированные параллельные плоскости. В следующей колонке содержатся интервалы, в которых имеется не менее пяти наклонов, где угловое рассеяние ниже 5°, с рассчитанным средним наклоном. Все это представляет структурный наклон, если интервал соответствует низкоэнергетичной обстановке осадконакопления (глинистый сланец, алеврит или мергель).

Иногда в третьей дорожке представлены результаты выбора наклона. Наклон, который взят как представляющий интервал 1.5 фута, – это наклон, минимизирующий сферическое расстояние до (n/2)-го ближайшего наклона среди n наклонов, найденных в этом интервале. Сплошная кривая справа – это стандартное отклонение сферического рассеяния наклона, а штриховая линия – угол между кровлей и подошвой текущего слоя.

Следующая дорожка показывает кривую проводимости. Она затенена с использованием шкалы серого (или цветом), чтобы подчеркнуть контраст глина/песок в песчано-глинистых сериях. Цвета выбраны с помощью гистограммы или замеров сопротивления наклономера (рис.4-78). Иногда слева отображены два масштаба рампов проводимости.

Последняя дорожка показывает мощности проводимых или омических слоев в двух зеркальных логарифмических масштабах. Мощность равна интервалу между плоскостями корреляции, которые соответствуют важным изменениям сопротивления. Пласты затенены для облегчения восприятия трендов изменения мощности вверх по разрезу. Когда проводимые и омические пласты соответствуют глинистому сланцу и песку, можно рассчитать песчано-глинистый коэффициент. Для облегчения этой задачи, слева указана сумма омических пластов.

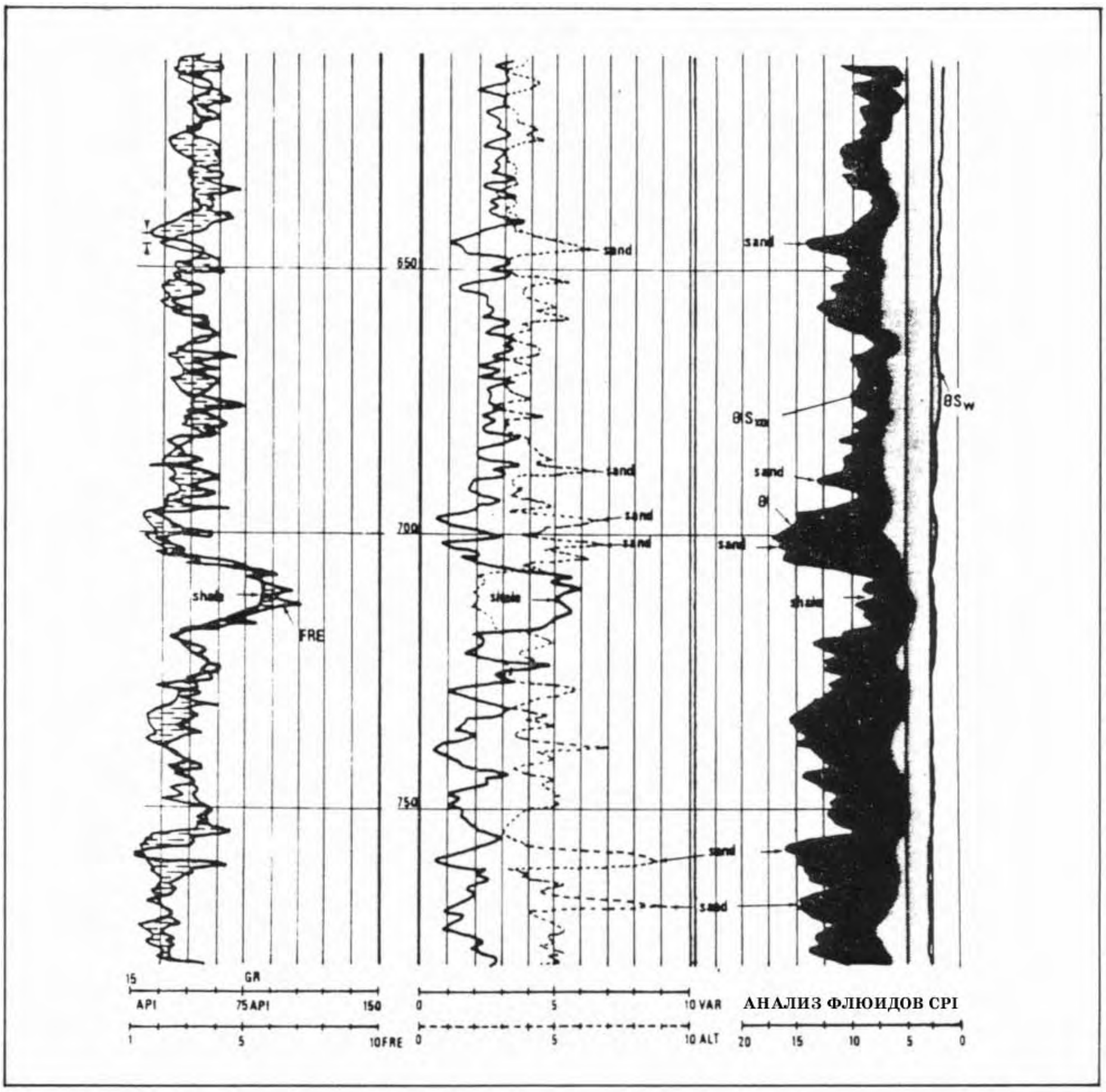



**Рис.4-75. Корреляции между синтетическими кривыми HDT (FRE, VAR, ALT) и результатами ГК или CPI.**

Чтобы увеличить масштаб изображения глинисто-песчаного интервала, для синтетических кривых был использован выходной шаг выборки 1.2‘‘, вместо стандартного шага 6‘‘ (рис.4-79). Там, где стандартное изображение показывает изменение мощности от 5 до 33 см, увеличенное изображение обнаруживает два тонких песчаных пласта и точно дает их мощность: 10 и 22 см. Увеличенное изображение показывает также, что, кроме этих двух пластов, мощность тонких прослоев песчаника не превышает 10 см.

Синтетические кривые, полученные по данным наклономера, могут быть выведены с любым шагом выборки, но резкость при этом не теряется.

Синтетические кривые подчеркивают и количественно характеризуют седиментологическую информацию, которая заключается в данных наклономера, и приводят к более полному анализу данных ГИС, результаты которого будут использованы для распознания фаций и определения обстановки осадконакопления.

Иногда развернутое изображение стенки скважины в представлении наклономера SHDT, получается путем интерполяции между восемью кривыми сопротивления после выравнивания, следующего наклонам, рассчитанным программой LOCDIP. Это изображение известно под названием DUADIM или STRATIM* (рис.4-80).

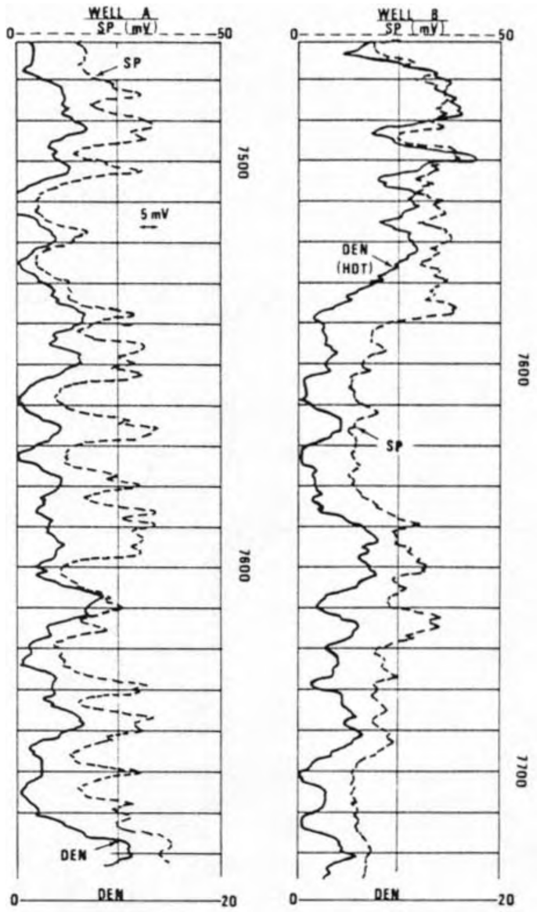



**Рис.4-76. Корреляции между синтетическими кривыми DEN, выведенными по HDT, и кривыми ПС.**

* Марка Schlumberger

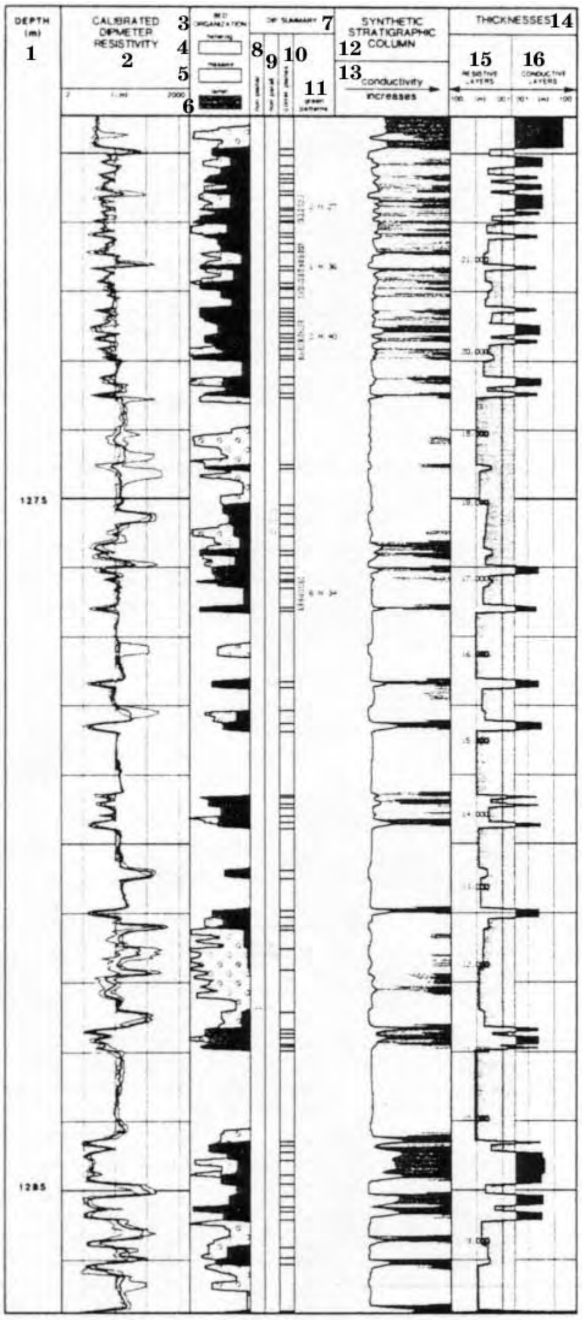



**Рис.4-77. Пример изображения SYNDIP.**
(1- глубина (в метрах); 2- калиброванное сопротивление наклономера; 3- организация пластов; 4- неоднородные; 5- массивные; 6- тонкослоистые; 7- сводка наклонов; 8- неплоскостная поверхность; 9- непараллельные поверхности; 10- коррелированные параллельные плоскости; 11- зеленые картины; 12- синтетическая стратиграфическая колонка; 13- проводимость увеличивается; 14- мощность; 15- омические слои; 16- проводимые слои)

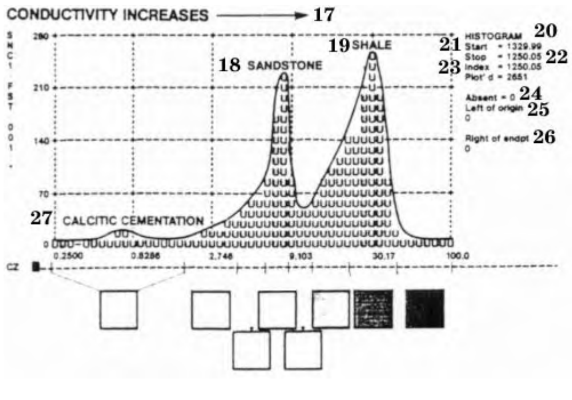



**Рис.4-78. Гистограмма сопротивление для выбора цветов.**
(17- проводимость увеличивается; 18- песчаник; 19- глинистый сланец; 20- гистограмма; 21- Начало; 22- Конец; 23- Индекс; 24- Отсутствующие точки; 25- Слева от начальной точки; 26- Справа от конечной точки; 27- кальцитовый цемент)

## *4.5. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ ОБ ЭЛЕМЕНТАХ, ВИДИМЫХ НАКЛОНОМЕРОМ*

Приведенные выше примеры показывают, что наклономеры и приборы Formation MicroScanner предоставляют значительное количество информации, охватывающей текстуру и осадочную структуру пород, направление переноса и мощность пластов. Следовательно, можно понять преимущества, которые дает включение этой информации во все седиментологические исследования. Вполне очевидно, что приборы HDT, SHDT или Formation MicroScanner «не видят» все особенности отложений; они выявляют только те особенности, которые представляют минимальное различие по сопротивлению. Таким образом, элементы, видимые невооруженным глазом благодаря изменению цвета, не выявляются до тех пор, пока изменение цвета не будет сопровождаться изменением сопротивления. Элементы, которые появляются на поверхности пласта, никак не отражаясь на вертикальном разрезе (следы выпахивания, отпечатки дождя…), не могут быть распознаны, поскольку прибор анализирует только цилиндрический участок.

В общем случае, можно допустить, что все события, выявленные наклономером или прибором Formation MicroScanner, и соответствующие вариациям сопротивления, обязательно объясняют изменения геологических параметров (минералогии, структуры, флюидов…), при условии, что имеется хороший контакт прижимного башмака со стенкой скважины, и прибор правильно работает.

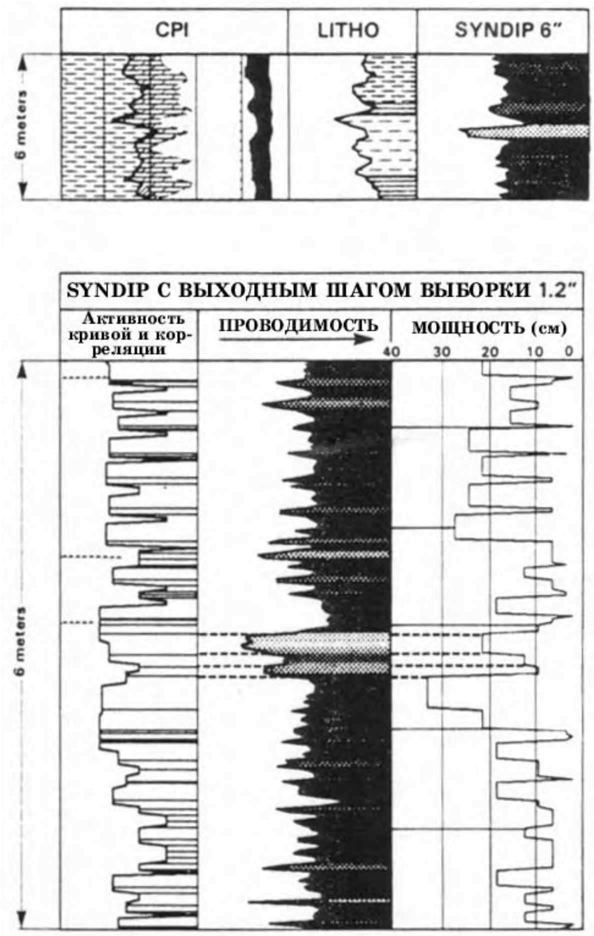



**Рис.4-79. Возможность увеличения SYNDIP: точное описание тонких слоев с выходным шагом выборки 1.2'' (из Delhomme и Serra, 1984).**

## *4.6. ПРАВИЛА ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ НАКЛОНОМЕРА*

Интерпретацию векторных диаграмм наклономера всегда следует выполнять только с привлечением всех других имеющихся данных в открытом стволе.

- Первым шагом интерпретации должна быть компиляция сводной диаграммы, которая в масштабе 1/200 объединяет все имеющиеся кривые и график GEODIP или LOCDIP после согласования по глубине (рис.4-41). Результат вывода LITHO, FACIOLOG или CPI, воспроизведенный рядом, может оказать существенную помощь.
- Второй шаг заключается в наблюдении и описании следующих видов, со ссылкой, при необходимости, на график GEODIP или LOCDIP в масштабе 1/40, или на изображение Formation MicroScanner в масштабе 1/5.

■ Исследованный интервал подразделяется на две зоны с приблизительно постоянными характеристиками.

■ По возможности точно и тщательно, определяется минералогиче- ский состав каждой зоны и каждого события в зоне. Для этого не- обходимо использовать данные других методов, особенно литоло- го-плотностного (litho-density), нейтронного и акустического каро- тажа, гамма-спектроскопии…, или изображение LITHO.

■ Наблюдается характер контакта (резкий или постепенный, плоско- стной или деформированный, согласный или нет).

■ Описывается тип последовательности слоев: простая или слож- ная, с параллельными или с непараллельными границами, непре- рывная или прерывистая.

■ Следует отметить мощность слоя каждого типа и ее эволюцию с глубиной.

■ Необходимо выделить и проанализировать существование осо- бенностей течения (полосчатая, волнистая или линзообразная слоистость), выявленных мощностью событий и изменениями ве- личины и азимута наклона, или изображениями Formation Micro- Scanner (рис.4-16, 4-17 и 4-24).

■ Необходимо добавить внутреннюю структуру пласта, привлекая форму кривой (массивная и однородная, неоднородная, рамп со- противления выявляет градационную слоистость), и эволюции на- клонов (наклонная слоистость,

косая слоистость, передовые слои…). Анализируется также величина изменения наклонов. От- сутствие этих изменений означает либо низкую, либо, напротив, очень высокую энергию. Выбор одной из двух гипотез основывает- ся на минералогическом характере, или на положении по вертика- ли этого явления в гранулометрической последовательности, а также на наклонах. Существенные вариации величины наклона оз- начают изменения энергии обстановки осадконакопления

■ Наконец, исследуются последующие эволюции, ритмы или циклы, эволюция мощности каждого слоя и комплекса, выявляемые по кривым сопротивления наклономера.

- Третий шаг соответствует прямой интерпретации. Он включает преобра- зование наблюденных особенностей в геологически значимые результа- ты интерпретации. Например, «синяя картина» (возрастание величины наклона вверх по разрезу) будет интерпретирована как передовые слои (рис.4-81).

- Четвертый шаг представляет собой дедуктивную интерпретацию в тер- минах обстановки осадконакопления. Анализ частотных диаграмм азиму- тов, установленных на выбранных интервалах, поможет определить уни- модальный, бимодальный или полимодальный характер наклонов (рис.4-82).

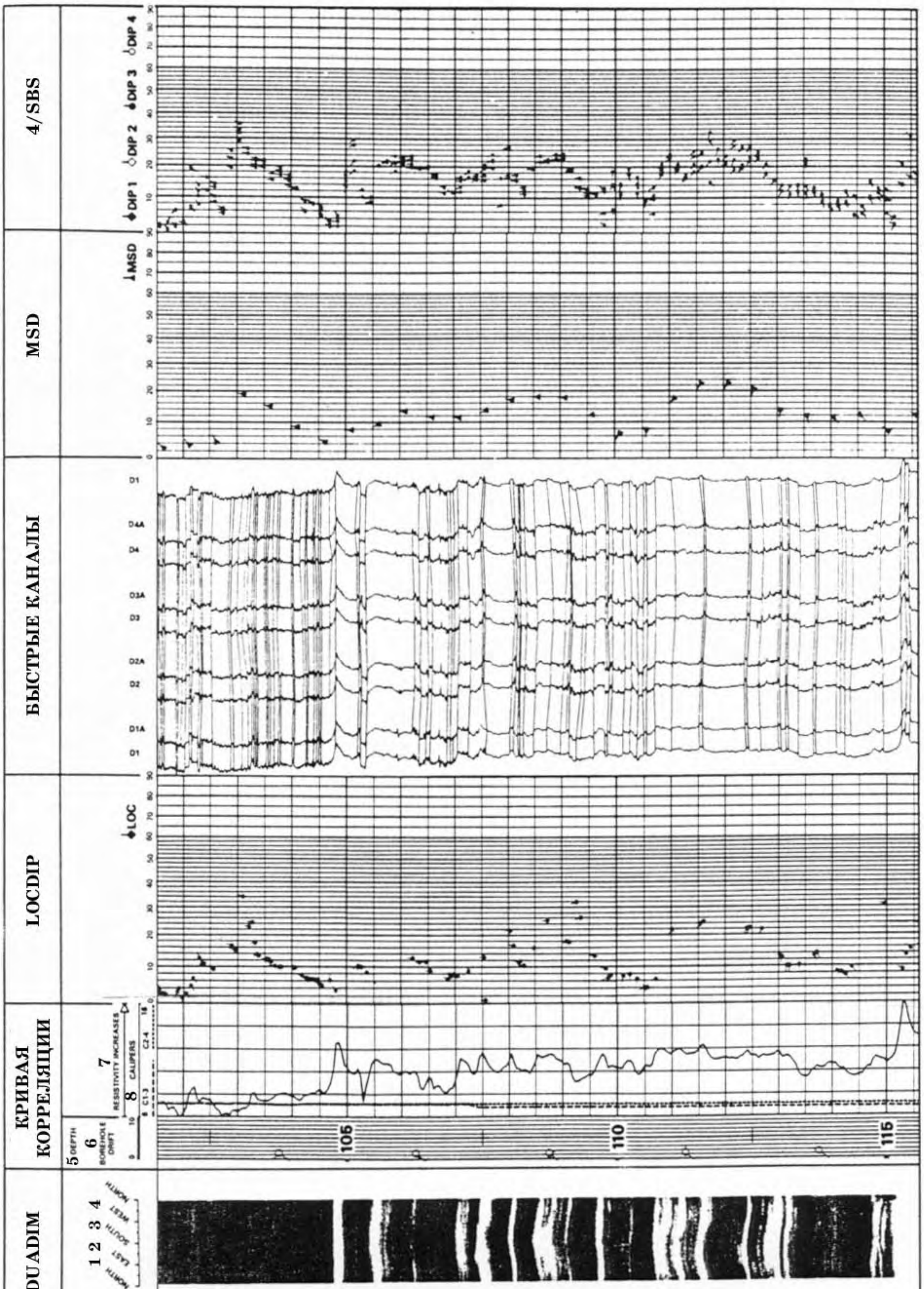



**Рис.4-80 Пример изображения DUADIM, полученного по данным SHDT и интерполяции между кривыми.**

(1- север; 2- восток; 3- юг; 4- запад; 5- глубина; 6- отклонение скважины; 7- возрастание сопротивления; 8- каверномеры)

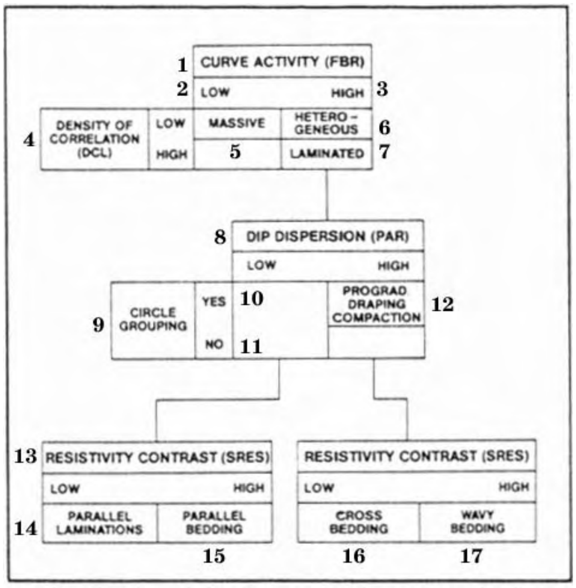



**Рис.4-81. Идентификация типов слоистости по данным наклономера.**
(1- активность кривых (FBR); 2- низкая; 3- высокая; 4- плотность корреляции (DCL); 5- массивная; 6- неоднородная; 7- пластинчатая (ламинированная); 8- рассеяние наклонов (PAR); 9- группирование кружков; 10- да; 11- нет; 12- проградация, облекание, уплотнение; 13- различие по сопротивлению (SRES); 14- параллельная тонкая слоистость (ламинация); 15- параллельная слоистость; 16- косая слоистость; 17- волнистая слоистость)

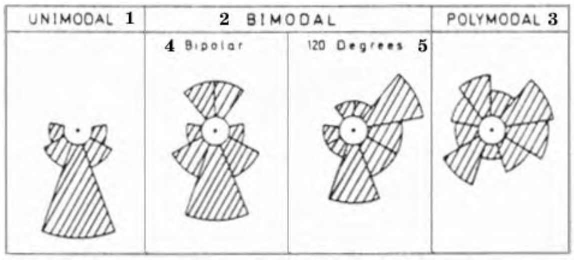



**Рис.4-82. Классификация частотных диаграмм азимутов (из Selley, 1968, в Pettijohn, 1975).**
(1- унимодальный характер; 2- бимодальный характер; 3- полимодальный характер; 4- двухполярный; 5- 120 градусов)

Чтобы достигнуть этого, мы должны интегрировать данные, полу- ченные в результате наблюдения шлама и керна (присутствие глауко- нита, обломков лигнита, фосфатов, раковин, тяжелых минералов; размер зерен, гранулометрическая сортиров- ка, природа цемента, тип глинистого сланца…).

Можно начать с отказа от гипотез об обстановке осадконакопления, ко- торые не согласуются с наблюденными особенностями. Окончательным вы- бранным решением является такое решение, которое наилучшим образом со- гласуется со сведениями геологического характера о формации, бассейне и об основных тектонических элементах.

Рекомендуется свести результаты всех наблюдений в таблицу (Таблица 4-6), или в несколько колонок рядом со сводной диаграммой в масштабе 1/200. Одна колонка предназначена для литологии, одна – для осадочных элементов, одна – для последующей эволюции, одна – для результатов прямой интерпретации и дополнительных замечаний, одна – для результатов окончательной интерпретации в терминах фаций, одна – для обстановки осадконакопления и ее градаций (рис.4-83).

В следующих главах будут представлены несколько других примеров процедуры.

Таблица 4-6.
*Вид контрольной таблицы для описания векторных диаграмм GEODIP или LOCDIP*

| СКВАЖИНА… | | | ИНТЕРВАЛ: Начало…Конец | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | WD Кривые каверномера | Промоина<br>Перерыв | 9 | Характер границ | Резкая<br>Плоскостная |
| | | Наложенные | | | Неплоскостная |
| | | Разделенные | | | (4 наклона |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Smisoth (smooth – гладкие?) | | | по GEODIP) |
| | | Постоянные | | | <<< Символ |
| | | Номинальный размер долота | | | LOCDIP или SYNDIP |
| | | Глинистая корка | | | рассеянная |
| | | Кавернозность | 10 | Угол | Малый |
| | | | | между | Средний |
| 2 | Активность кривой | Высокая | | последовательными | Большой |
| | | Средняя | | наклонами | |
| | | Низкая | | (параллельность) | |
| | | Нулевая | | | |
| | | | 11 | Картины наклонов | Зеленая |
| 3 | Уровень | Высокий | | | Синяя |
| | проводимости | Средний | | | Красная |
| | | Низкий | | | Разброс |
| | | Очень низкий | | | |
| | | | 12 | Частотная | Унимодальная |
| 4 | Амплитуда вариаций | Высокая Средняя | | диаграмма азимутов | Бимодальная Разброс |
| | | Низкая | | | |
| | | | 13 | Ритм | Неповторяющийся |
| 5 | Направление | Менее | | | Повторяющийся |
| | изменения | проводимая | | | Циклический |
| | от средней | Более | | | |
| | величины | проводимая | 14 | Эволюция | Увеличение мощ- |
| | | | | мощности | вверх по разрезу |
| 6 | Форма кривой | Колокол | | проводимых | Уменьшение мощности |
| | между | Воронка | | пластов | вверх по разрезу |
| | перерывами | Цилиндр | | | |
| | | | 15 | Эволюция | Увеличение мощ- |
| 7 | Плотность | Высокая | | мощности | вверх по разрезу |
| | корреляций | Средняя | | омических | Уменьшение мощности |
| | | Низкая | | пластов | вверх по разрезу |
| | | Нулевая | | | |
| | | | 16 | Отклонение | Отсутствует |
| 8 | Некоррелируемые | Существуют | | скважины | Незначительное |
| | события | ■ Более | | | Значительное |
| | | проводимые | | | ■ Угол |
| | | ■ Менее | | | |
| | | проводимые | | | |
| | | ■ тонкие | 17 | Вращение прибора | Отсутствует |
| | | ■ Средние | | | Медленное |
| | | ■ Мощные | | | Быстрое |
| | | Отсутствуют | | | |

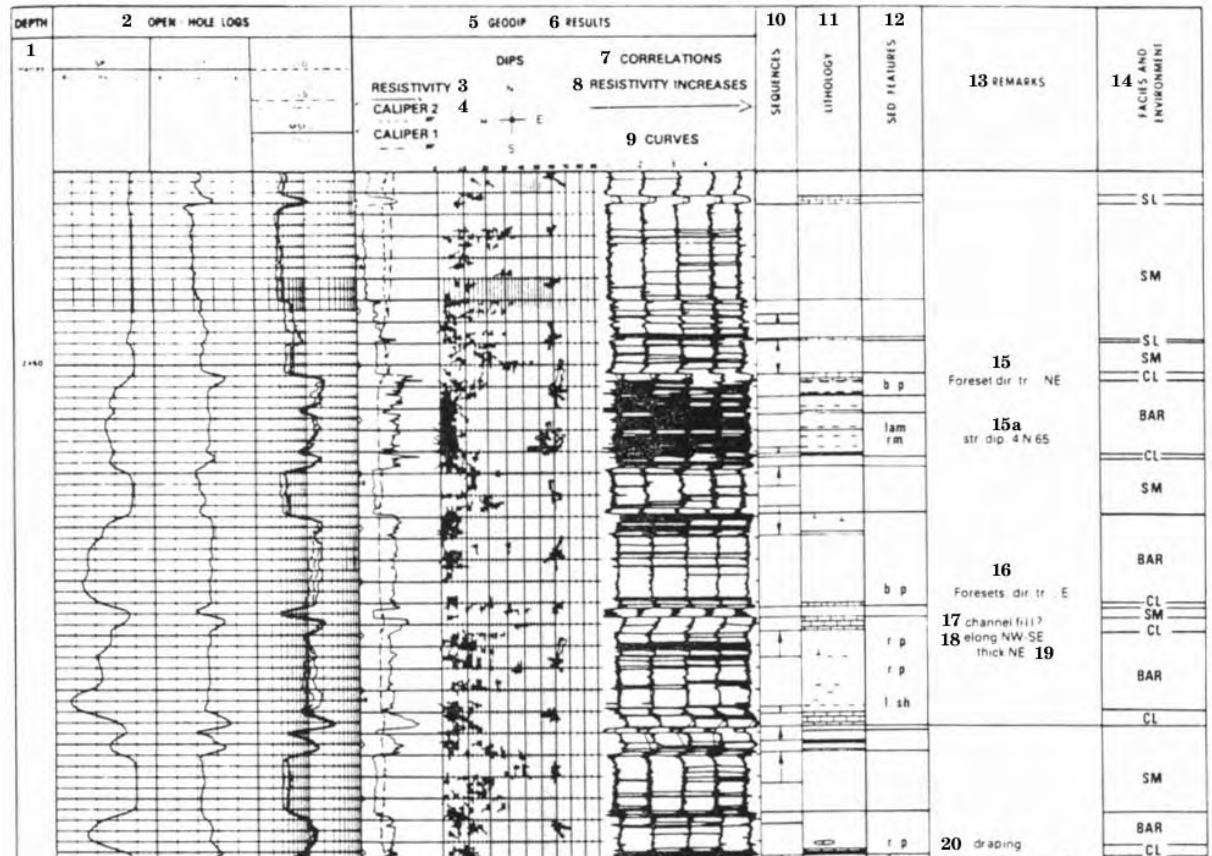
## 4.7. ВЫЯВЛЕНИЕ ОСАДОЧНОЙ СТРУКТУРЫ: ПРИМЕНЕНИЕ В ЦЕЛЯХ СЕДИМЕНТОЛОГИИ

Основным применением является определение обстановки осадконакопления.

Не уменьшая интереса к программе типа CLUSTER с точки зрения седиментологии (см. работы и статьи Gilreath *и др.*, 1964, 1969, 1971; Campbell, 1968; Goetz *и др.*, 1977; Selley, 1979), следует подчеркнуть, что эта методика не использует весьма детальный анализ данных наклономера, который стал возможен с появлением нового прибора SHDT или Formation MicroScanner, и усовершенствованных методик обработки. В общем случае, кривые не отображаются, и события, по которым рассчитываются наклоны, неизвестны. Наклоны определяются с помощью коррелограммы, установленной путем корреляции событий в данном интервале, без выделения и выбора их начала. Полученный наклон – это средний наклон для интервала, который может охватывать несколько осадочных единиц, и каждая из этих единиц, возможно, имеет осадочные элементы с различными наклонами. В силу этих причин, настоятельно рекомендуется использовать для седиментологической интерпретации представление GEODIP или LOCDIP.

Как указывалось ранее, первичные осадочные структуры, которые могут быть выявлены на кривых наклономера или на изображениях Formation Micro- Scanner, особенно важны, поскольку они отражают гидро- или аэродинамиче- ские условия, преобладавшие во время осадконакопления.

Далее будут приведены несколько иллюстраций, подчеркивающих важ- ность интерпретации данных наклономера для распознания обстановки осадконакопления.




CL: channel lag SL: storm or swell lag SM: shelf mud

**Рис.4-83. Пример сводной диаграммы с результатами GEODIP и их интерпретация.**
(1- глубина; 2- данные методов в открытом стволе; 3- сопротивление; 4- каверномер 2; 5- наклоны; 6- результаты; 7- корреляции; 8- сопротивление возрастает; 9- кривые; 10- комплексы; 11- литология; 12- особенности отложений; 13- замечания; 14- фации и обстановка осадконакопления; 15- передовые слои: направление транспортировки – северо-восток; 15а- структурное падение: 4 N 65; 16- передовые слои: направление транспортировки – восток; 17- заполнение русла?; 18- удлинение: северо-запад – юго-восток; 19- мощность: северо-восток; 20- облекание; 21- передовые слои: направление транспортировки – восток)

## *4.8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

### 4.8. REFERENCES


ALLEN, J.R.L. (1963). - The classification of cross-stratified units, with notes on their origin. *Sedimentology*, **2**, *p. 93-114.*

ALLEN, J.R.L. (1968). - Current Ripples. *North-Holland, Amsterdam.*

ALLEN, J.R.L. (1970). - Physical Processes of Sedimentation. *Elsevier, New York.*

BLATT, H., MIDDLETON, G. & MURRAY, R. (1972, 1980). - Origin of Sedimentary Rocks. 1st and 2nd ed. *Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.*

CAMPBELL, C.V. (1967). - Lamina, Laminaset, Bed and Bedset. *Sedimentology*, **8**, *p. 7-26.*

CAMPBELL, R.L. (1968). - Stratigraphic applications of dipmeter data in Mid-Continent. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **52**, *9, p. 1700-1719.*

CAROZZI, A.V. (Ed.) (1975). - Sedimentary Rocks. *Benchmark Papers in Geology*, **15**, *Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania.*

*Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz naturel* (1966). -Essai de nomenclature & caractérisation des principales structures sédimentaires. *Ed. Technip, Paris.*

*Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz naturel* (1974). -Méthodes modernes de géologie de terrain. 1 -Principes d'analyses sédimentologiques. *Ed. Technip, Paris.*

COLLINSON J.D. & THOMPSON, D.B. (1982). -Sedimentary Structures. *George Allen & Unwin Publ. Ltd., London.*

CROSBY, E.J. (1972). - Classification of Sedimentary Environments. In : *« Recognition of Ancient Sedimentary Environments », edited by RIGBY, J.K. & HAMBLIN, W.K., SEPM, special publication* **16**.

DELFINER, P., PEYRET, O. & SERRA, O. (1984). -Automatic determination of Lithology from Well Logs. *59th Ann. Techn. Conf. SPE of AIME, Houston, Texas; paper nº SPE 13290.*

DELHOMME, J.P. & SERRA, O. (1984). - Dipmeter-derived Logs for Sedimentological Analysis. *SPWLA, 9th Europ. Intern. Format. Eval. Trans., paper 50.*

DICKEY, P.A. (1979). - Petroleum Development Geology. *Petroleum Publishing Co., Tulsa.*

DUNHAM, R.J. (1962). - Classification of Carbonate Rocks according to Depositional Texture. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **1**, *p. 108-121.*

EKSTROM, M.P., CHEN, M.Y., ROSSI, D.J., LOCKE, S. & ARON, J. (1986). - High Resolution Microelectrical Borehole Wall Imaging. *SPWLA, 10th Europ. Symp. Trans., Aberdeen.*

EKSTROM, M.P., DAHAN, C.A., CHEN, M.Y., LLOYD, P.M. & ROSSI, D.J. (1986). - Formation Imaging with Microelectrical Scanning Arrays. *SPWLA, 27th Ann. Log. Symp. Trans., Houston.*

FONS, L. Sr. (1969). - Geological application of well logs. *SPWLA, 10th Ann. Log. Symp. Trans.*

FRIEDMAN, G.M. & SANDERS, J.E. (1978). -Principles of Sedimentology. *John Wiley & Sons, New York.*

GARY, M., McAFEE, R.Jr. & WOLF, C.L. (1972). -Glossary of Geology. *Amer. Geol. Institute, Washington, D.C.*

GILREATH, J.A. & MARICELLI, J.J. (1964). -Detailed Stratigraphic Control through dip Computations. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **48**, *12, p. 1902-1910.*

GILREATH, J.A., HEALY, J.S. & YELVERTON, J.N. (1969). - Depositional Environments Defined by Dipmeter Interpretation. *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.*, **19**, *p. 101-111.*

GILREATH, J.A. & STEPHENS, R.W. (1971). -Distributary Front Deposits Interpreted from Dipmeter Patterns. *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.*, **21**, *p. 233-243.*

GILREATH, J.A. & STEPHENS, R.W. (1975). -Interpretation of Log Responses in a Deltaic Environment. *Amer. Assoc. Petroleum Geol. Marine Geology Workshop, Dallas, Texas.*

GOETZ, J.I., PRINS, W.J. & LOGAR, J.F. (1977). -Reservoir Delineation by Wireline Techniques. *paper presented at 6th Ann. Conv. Indonesia Petroleum Assoc., Jakarta, May 1977.*

HEPP, V. & DUMESTRE, A.C. (1975). - CLUSTER -A method for selecting the most probable dip results from dipmeter survey. *SPE of AIME, 50th Ann. Fall Mtg., Dallas, Paper SPE 5543.*

HOBSON, G.D. & TIRATSOO, E.N. (1975). -Introduction to Petroleum Geology. *Scientific Press Ltd, Beaconsfield, England.*

INGRAM, R.L. (1954). - Terminology for the thickness of stratification and parting units in sedimentary rocks. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **65**, *p. 937-938.*

JUNG, J. (1958). - Précis de pétrographie. *Masson, Paris.*

KRUMBEIN, W.C. & SLOSS, L.L. (1963). -Stratigraphy and Sedimentation. 2nd ed. *W.H. Freeman & Co., San Francisco.*

KUENEN, Ph. H. (1953). - Significant features of graded bedding. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **37**, *p. 1042-1066.*

LANDES, K.K. (1951). - Petroleum Geology. *John Wiley & Sons, New York.*

LEET, L.Don, JUDSON, S. & KAUFFMAN, M.E. (1978). - Physical Geology. 5th ed. *Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.*

LINK, P.K. (1982). - Basic Petroleum Geology. *OGCI Publications, Tulsa.*

LLOYD, P.M. (1986). - The Formation MicroScanner : A New Generation High Resolution Logging Technique.

LLOYD, P.M., DAHAN, C.A. & HUTIN, R. (1986). - Formation Imaging from Microelectrical Scanning Arrays : A New Generation of Stratigraphic High Resolution Dipmeter Logging Tool. *SPWLA, 10th Europ. Symp. Trans., Aberdeen.*

LOMBARD, A. (1956). - Géologie Sédimentaire. Les séries marines. *Masson, Paris.*

LOMBARD, A. (1972). - Séries sédimentaires. Genèse - Evolution. *Masson, Paris.*

MATTHEWS, R.K. (1974). - Dynamic Stratigraphy. An introduction to Sedimentation and Stratigraphy. *Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.*

McGOWEN, J.H. & GARNER, L.E. (1970). -Physiographic features and stratification types of coarse-grained point bars : Modern and ancient examples. *Sedimentology,* **14**, *p. 77-111.*

McKEE, E.D. (1957). - Flume experiments on the production of stratification and cross-stratification. *J. sediment. Petrol.,* **27**, *p. 129-134.*

McKEE, E.D. (1966). - Structures of dunes at White Sands National Monument, New Mexico (and comparison with structures of dunes from other selected areas). *Sedimentology,* **7**, *p. 1-69.*

McKEE, E.D. & WEIR, G.W.(1953). - Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks. *Bull. geol. Soc. Amer.,* **64**, *p. 381-390.*

MIDDLETON, G.V. (ed.) (1965). - Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation. *SEPM, Spec. Pub.* **12**.

MIDDLETON, G.V. (1976). - Hydraulic interpretation of sand size distributions. *J. Geology,* **84**, *p. 405-426.*

NURMI, R.D. (1984). - Geological evaluation of stratigraphic high resolution dipmeter data. *SPWLA, 25th Ann. Log. Symp. Trans., New Orleans.*

OTTO, G.H. (1938). - The sedimentation unit and its use in field sampling. *J. Geol.,* **46**, *p. 569-582.*

PAYRE, X. & SERRA, O. (1979). - A case study -Turbidites recognized through dipmeter. *SPWLA, 6th Europ. Log. Symp. Trans., London, paper K.*

PERRIN, G. (1975). - Comparaison entre des structures sédimentaires à l'affleurement et les pendagemétries de sondages. *Bull. Centre Rech. Pau, SNPA,* **9**, *p. 147-181.*

PETTIJOHN, F.J. (1930). - Imbricate arrangement of pebbles in a pre-Cambrian conglomerate. *Jour. Geol.,* **38**, *p. 568-573.*

PETTIJOHN, F.J. (1975). - Sedimentary Rocks. 3rd ed. *Harper & Row, Publishers, New York.*

PETTIJOHN, F.J. & POTTER, P.E. (1964). - Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures. *Springer, New York.*

PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E. & SIEVER, R. (1972). - Sand and Sandstone. *Springer, New York.*

PIRSON, S.J. (1977). - Geologic Well Log Analysis. 2nd ed. *Gulf Publishing Co., Houston.*

POTTER, P.E. & PETTIJOHN, F.J. (1977). - Paleocurrents and Basin Analysis. 2nd ed. *Springer, New York.*

PRESS, F. & SIEVER, R. (1982). - Earth. 3rd ed. *W.H. Freeman & Co, San Francisco.*

READING, H.G. (Ed.) (1978). - Sedimentary Environments and Facies. *Blackwell Scientific Publications, Oxford.*

REINECK, H.E. & SINGH, I.B. (1975, 1980). -Depositional Sedimentary Environments. 1st and 2nd ed. *Springer, New York.*

REINECK, H.E. & WUNDERLICH, F. (1968). -Classification and origin of flaser and lenticular bedding. *Sedimentology,* **11**, *p. 99-104.*

RUSSELL, W.L. (1951). - Principles of Petroleum Geology. *McGraw-Hill Book Co., New York.*

SCHEIDEGGER, A.E. & POTTER, P.E. (1971). -Downcurrent decline of grain size and thickness of single turbidite beds : a semi-quantitative analysis. *Sedimentology,* **17**, *p. 41-49.*

*Schlumberger Ltd* (1970). - Fundamentals of Dipmeter Interpretation.

*Schlumberger Ltd* (1972). - Log Interpretation. Volume I - Principles.

*Schlumberger Ltd* (1974). - Log Interpretation. Volume II - Applications.

*Services Techniques Schlumberger* (1974). -Well Evaluation Conference. North Sea.

*Schlumberger* (1979). - Well Evaluation Conference. Algeria.

*Schlumberger Ltd* (1981). - Dipmeter Interpretation. Volume 1 - Fundamentals.

*Schlumberger Middle East S.A.* (1981). - Well Evaluation Conference. United Arab Emirates/Qatar.

*Schlumberger Technical Services, Inc.* (1982). -Essentials of Natural Gamma ray Spectrometry Interpretation.

*Schlumberger Technical Services, Inc.* (1983). -Well Evaluation Conference. India.

SCHOLLE, P.A. & SPEARING, D. (Ed.) (1982). -Sandstone Depositional Environments. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **31**.

SCHWARZACHER, W. (1953). - Cross-bedding and grain size in the Lower Cretaceous sands of East Anglia. *Geol. Mag.,* **90**, *p. 322-330.*

SCOTT, K.M. (1966). - Sedimentology and dispersal pattern of a Cretaceous flysch sequence, Patagonian Andes, southern Chile. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **50**, *p. 72-107.*

SELLEY, R.C. (1970, 1978, 1985). - Ancient Sedimentary Environments. 1st, 2nd and 3rd ed. *Chapman & Hall, London.*

SELLEY, R.C. (1976). - An Introduction to Sedimentology. *Academic Press, London.*

SERRA, O. & ABBOTT, H. (1980). - The Contribution of Logging data to Sedimentology and Stratigraphy. *55th Ann. Fall Techn. conf. SPE of AIME, paper SPE 9270, and in SPE J., Feb. 1982.*

STEINMETZ, R. (1967). - Depositional history, primary sedimentary structures, cross-bed dips, and grain size of an Arkansas river point bar at Wekiwa, Oklahoma. *Rep. F67-G-3 (In : REINECK & SINGH, 1975).*

THEYS, P., LUTHI, S. & SERRA, O. (1983). - Use of dipmeter in Carbonates for detailed sedimentology and reservoir engineering studies.

VATAN, A. (1954). - Pétrographie sédimentaire. *Ed. Technip, Paris.*

VINCENT, P., GARTNER, J. & ATTALI, G. (1979). -GEODIP - An approach to detailed dip determination using correlation by pattern recognition. *J. Petroleum Technol., Feb.1979, p. 232-240.*

WALKER, R.G. (Ed.) (1979, 1984). - Facies Models. 1st and 2nd ed. *Geoscience Canada, reprint series 1, published by Geol. Assoc. Canada.*

# Глава 5. ИНФОРМАЦИЯ О ФАЦИИ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

**(Описание породы)**

## *5.1. ОБЗОР ОБЩИХ ПОНЯТИЙ*

С момента введения (Gressly, 1838), термин *фация* использовался в различных качествах, и эти использования стали предметом значительных дебатов. Обзор вариантов применения и определений имеется у Moore (1949), Weller (1958), Teichert (1958); Krumbein и Sloss (1963). К недавним работам можно отнести Selley (1970) и Middeleton (1978).

Не прибегая вновь к дебатам, перечислим общие, почти идентичные определения, предложенные «Толковым словарем геологических терминов» (Glossary of Geology):

- «Вид, проявление и характеристики единицы пород, обычно отражающие условия ее происхождения; особенно как отличающие единицу от смежных или ассоциированных единиц» (Glossary of Geology, 1980).
- Haug (1907): «сумма литологических и палеонтологических характеристик [осадочных] образований в данном месте».
- Moore (1949): «любая ограниченная по площади часть выделенной стратиграфической единицы, которая демонстрирует особенности, значительно отличающиеся от особенностей других частей единицы».
- Selley (1970): «масса осадочной породы, которая может быть определена и отличена от других масс по ее геометрии, литологии, осадочным текстурам, картинам палеотечений и окаменелостям».

Из таких определений следует, что фация обязательно имеет ограниченную протяженность (стратиграфическую и географическую), даже если она может быть обнаружена на различных уровнях в одной и той же стратиграфической единице.

Геологи отметили, что фация, наблюдаемая в стратиграфической единице, может демонстрировать элементы и характеристики, сходные с элементами и характеристиками, описанными в других единицах различных возрастов, или в других регионах мира. Это связно с тем фактом, что такие фации, с одним и тем же обликом, были отложены в идентичных физико-химических условиях.

Следовательно, термин «фация» может быть использован с расширенным значением для определения осадочных пород с одним и тем же обликом, фауной и флорой (даже если они различаются по возрасту), чтобы отразить сходные физико-химические условия среды.

Далее, термин «фация» будет охватывать более общее значение, приведенное выше, и всегда будет *описательным*, без какого-либо сопутствующего смысла, касающегося генезиса и обстановки осадконакопления. Он будет соответствовать общему облику осадочной породы, поскольку является результатом совокупности литологических, структурных и органических характеристик, которые могут быть выявлены в поле, и которые отличают эту породу от других окружающих пород.

С одной стороны, эти характеристики являются результатами физических, химических и биологических условий, при которых был отложен осадочный материал. С другой стороны, они выводятся из эволюции, протекавшей под воздействием диагенеза, начиная с момента отложения.

Исходя из последующей эволюции данной фации в вертикальном и в горизонтальном направлениях, пространственно-временных соотношений с соседними фациями, регионального тектонического контроля в период осадконакопления, можно определить ее происхождение, обстановку осадконакопления и геологическую историю.

Selley (1970) утверждает, что «фация характеризуется пятью определяющими параметрами; геометрией, литологией, палеонтологией, осадочной структурой и картиной палеотечений».

В общем случае, фация окружена другими фациями, которые связаны с нею. Это означает, что в данной обстановке фации распределены не случайным образом, а образуют предсказуемую ассоциацию или последовательность.

Общее значение термина *последовательность*: «порядок чередования геологических событий, процессов или пород, расположенных в хронологическом порядке, отражающий их относительное положение и возраст, с учетом геологической истории в целом» (Glossary of geology).

Lombard (1956) ввел понятие литологическая последовательность (lithological sequence), которую он определяет как «серия не менее чем из двух литологических единиц, образующих естественную последовательность, без каких-либо существенных перерывов, за исключением отдельностей стратификации (joints of stratification). Мощность пласта не рассматривается». Он различает три порядка последовательности:

- тонкие микроскопические последовательности (т.е. годичные ленты);
- средние макроскопические последовательности (т.е. циклотема);
- крупные мегаскопические последовательности (т.е. ярус, система).

Необходимо добавить другие понятия. *Гранулометрическая последовательность* соответствует эволюции размера зерен без изменения минералогического состава (т.е. грубозернистые, среднезернистые, тонкозернистые, очень тонкозернистые пески). Гранулометрическая последовательность может характеризоваться уменьшением или увеличением размера зерен вверх по разрезу.

*Фациальная последовательность* соответствует последовательности фаций, постепенно сливающихся между собой. Последовательность может быть ограничена в кровле и в подошве резким или эрозионным контактом, или перерывом в осадконакоплении. Примером является последовательность Боума (Bouma‘s sequence).

Следуя порядку чередования фаций А, В и С, или единиц последовательности, получаем:

- *ритм*, который соответствует АВС, АВС, АВ,…; такое чередование характеризует *ритмическое осадконакопление*, а его результатами являются *ритмиты* (например, циклотемы, турбидиты, годичные ленты);
- *цикл*, который соответствует порядку чередования двух последовательностей с противоположной эволюцией: АВСВА; такое чередование характеризует *циклическое осадконакопление*.

Первый тип чередования встречается чаще, чем второй тип.

Латеральная эволюция, или ассоциация связанных фаций, отложенных в одно и то же время, в одинаковой обстановке и в разных местах, и образующих континуум, создает *латеральную последовательность*. Чередование наложенных единиц по отношению к времени соответствует *вертикальной последовательности*.

*ВАЖНОСТЬ ФАЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА*
*И АНАЛИЗА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ*

Исследование фаций и их расположения или ассоциации в латеральных или вертикальных последовательностях представляет собой единственный способ установить обстановку осадконакопления и, таким образом, воссоздать палеогеографические условия. Физические, химические и биологические факторы обстановки осадконакопления, которые определяют ее, могут быть определены только по отпечаткам на отложениях. Среди этих отпечатков, более важными являются первичные осадочные образования, поскольку они сформировались in situ. Последовательности будут отражать изменение условий, как в пространстве, так и во времени. Walker (1976) сравнил результаты *моделей фаций*, установленных на основе современной обстановки осадконакопления. Это сравнение позволяет, по аналогии, определить обстановку осадконакопления, применяя теории *униформизма* или *актуализма*, которые ввел Hutton (1787) и Lyell (1830): «*настоящее является ключом к прошлому*».

## *5.2. ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПО ДАННЫМ ГИС*

### 5.2.1. Историческая справка

Представляется, что идея применения данных ГИС как седиментологического инструмента впервые появилась в 1956-1957 гг. Ее авторами являются инженеры SHELL-PECTEN Company (Хьюстон, США). Исследуя дельту Миссисипи, они установили, что кривые ПС имеют характерную форму. Каждая из этих форм соответствует фации определенного песчаного тела. Анализируя кривую ПС, тип контакта (резкий или постепенный) между песками и глинистыми сланцами, и характер кривой (гладкий или зубчатый; вогнутый, прямолинейный или выпуклый), можно получить классификацию, показанную на рис.5-1.

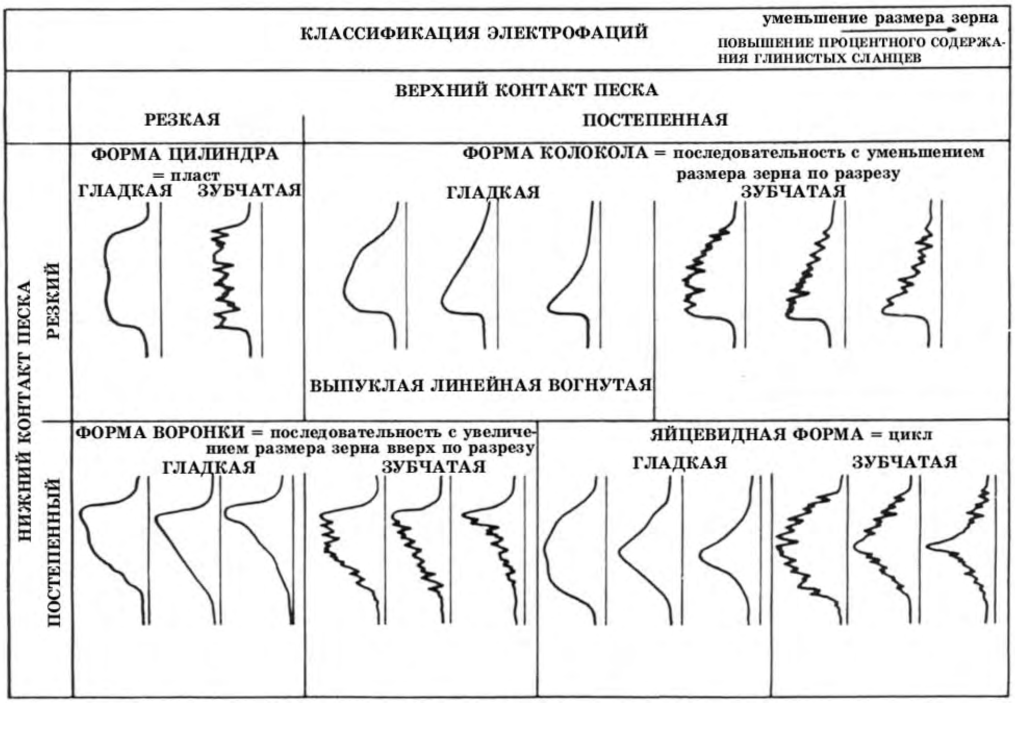


**Рис.5-1. Классификация электрофаций по форме кривых ГИС.**

Pirson (1970, 1977) ассоциирует фацию и обстановку осадконакопления с каждой формой, и интерпретирует кривизну диаграммы как показатель скорости процессов трансгрессии или регрессии (рис.5-2).

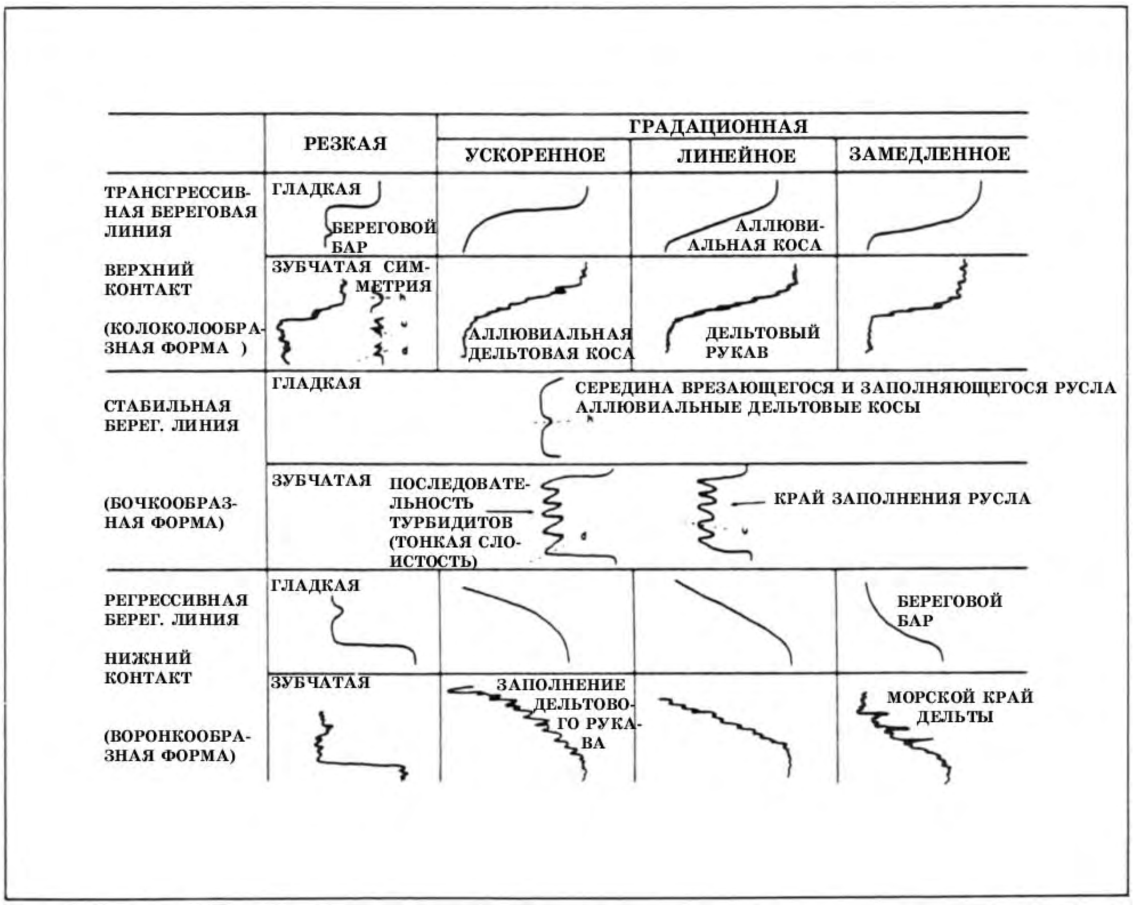



**Рис.5-2. Классификация форм кривых ПС в терминах особенностей осадконакопления (с разрешения Pirson, 1970, и Gulf Publishing Co., рис.2-1).**

Некоторые геологи использовали этот очень быстрый синтетический метод анализа кривых для построения карт фаций (рис.5-3).

Мы знаем основные причины выбора кривой ПС (другие кривые часто отсутствуют, на данные каротажа сопротивления часто сильно влияет присутствие углеводородов, должно быть исследовано большое количество скважин), и ее реальные возможности в сериях песок–глинистый сланец (в большинстве случаев она отражает глинистость и эволюцию размера зерен). Поэтому мы должны признать, что использование только этой кривой часто оказывается недостаточным для четкого определения фаций и обстановки осадконакопления. Может также иметь место неправильное толкование событий вследствие «паразитных эффектов», которые оказывают $R_t$, зона проникновения, контрастность $R_s/R_m$, зоны уплотнения, мощность пластов и т.д. на отклонение кривой ПС. Наконец, эта кривая становится неприменимой, если контрастность $R_{mf}/R_w$ является недостаточной. В силу этих причин, форма одной кривой лишь в исключительных случаях может определять фации и обстановку осадконакопления; в частности, если мы собираемся использовать этот метод для исследования других типов отложений, таких как карбонаты и эвапориты.

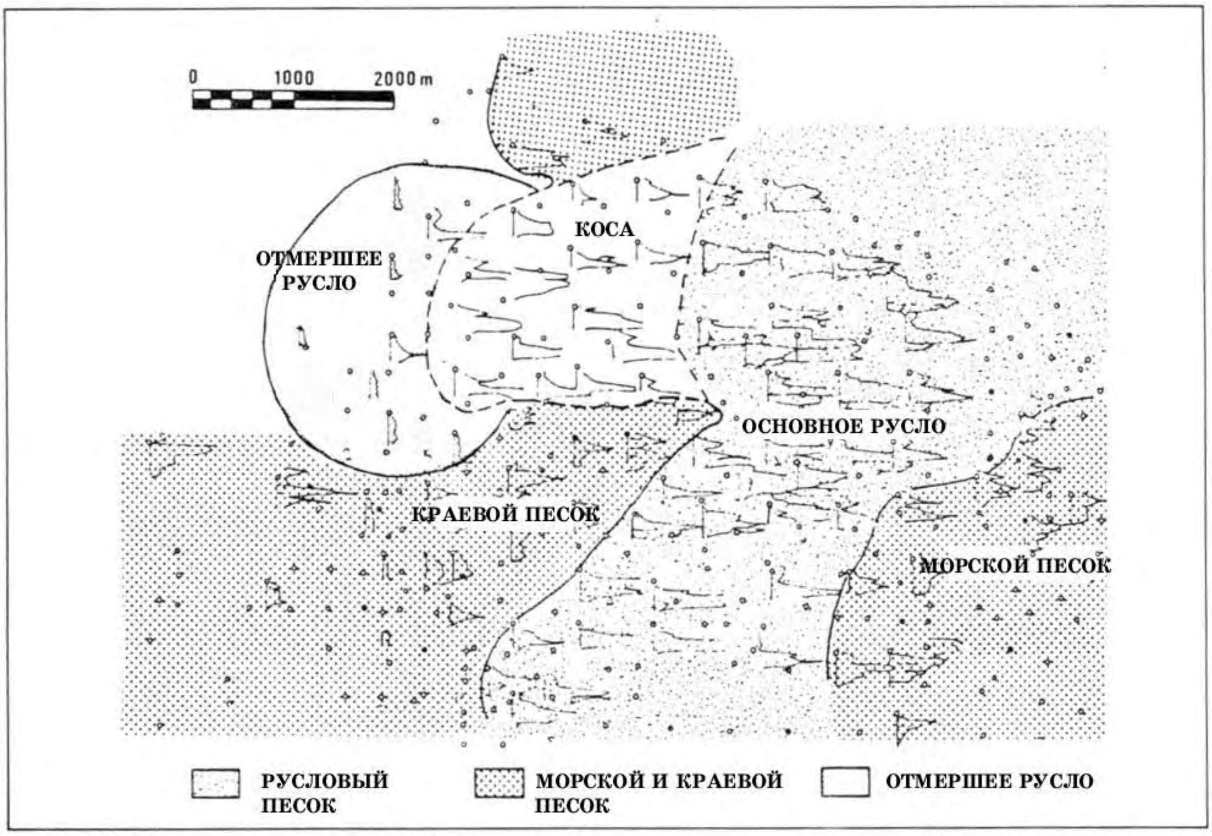



**Рис.5-3. Распределение фаций по форме кривой каротажа сопротивления (из Lennon, 1976).**

## 5.2.2. Понятие электрофаций

Как мы видели в предыдущих главах, каждая кривая ГИС дает большее или меньшее количество информации (иногда даже в неявной форме) о минералогическом составе, структуре и осадочных текстурах. Другими словами, каждая кривая дает частную спектральную картину свойств породы.

В определенных случаях, для определения характеристик породы достаточно одной или двух спектральных картин, следовательно, одной или двух кривых ГИС. В качестве примера можно назвать, использование формы кривой ПС в сериях песок−глинистый сланец Gulf Coast. Однако рекомендуется использовать для интерпретации все имеющиеся данные ГИС. Их количество, разнообразие и свойство дополнять друг друга позволяют устанавливать спектр характеристик пород, охватывающий их химический и минералогический состав, структуру и текстуру. Чем больше количество используемых данных ГИС, тем богаче будет спектр и лучше определены характеристики породы. Следовательно, снижается вероятность неоднозначности и ошибки интерпретации.

Более того, данные наклономера, обработанные программой GEODIP для аппаратуры HDT, или программой LOCDIP для аппаратуры SHDT, или данные FMS позволяют, во многих случаях определить картину палеотечений и направление транспортировки.

Наконец, геометрия определяется в результате анализа истинной мощности пластов (такую информацию дает только наклономер), и протяженности пластов в латеральном направлении. Это дает только корреляция между несколькими скважинами и построение карт изопахит на основе данных мощности (рис.5-4 и 5-5).

Большая часть параметров, определяющих фации, или, по меньшей мере, литофации в определении Moore (1949), получается непосредственно из данных ГИС. Таким образом, последние формируют картину существующих фаций. Эта картина, определенно, является неполной, иногда запутанной, но всегда неизменной и объективной. Если набор данных ГИС разнообразен и достаточно богат, чтобы обеспечить лучший охват геологических параметров, картина будет достаточно точной. Другими словами, детальность спектра позволит получить новое представление о литофациях посредством данных ГИС.

Эта *парафация* была названа Serra (1970) *электрофацией*, которая определяется следующим образом:

«совокупность характеристик данных ГИС, которые описывают пласт и позволяют отличить его от других пластов» (Serra, Schlumberger Well Evaluation Conference, Algeria, 1979).

Таким образом, характеристики всех кривых ГИС (электрического, ядерного, акустического каротажа, наклономера и т.д.), которые указывают на количественные (значения кривых) и качественные (особенности кривых) аспекты, представляют элементы, образующие электрофацию.

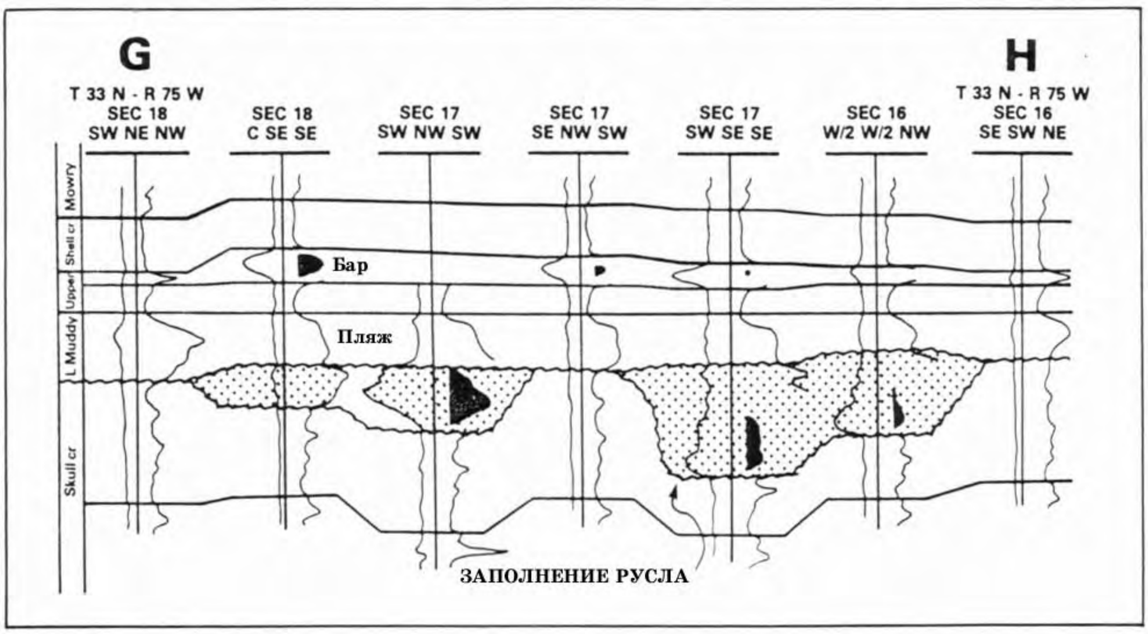



**Рис.5-4. Корреляции данных ГИС между скважинами на нефтяном месторождении South Glenrock, Вайоминг. Легко распознаются бар, пляж и заполнение русла (из Curry и Curry, 1972).**

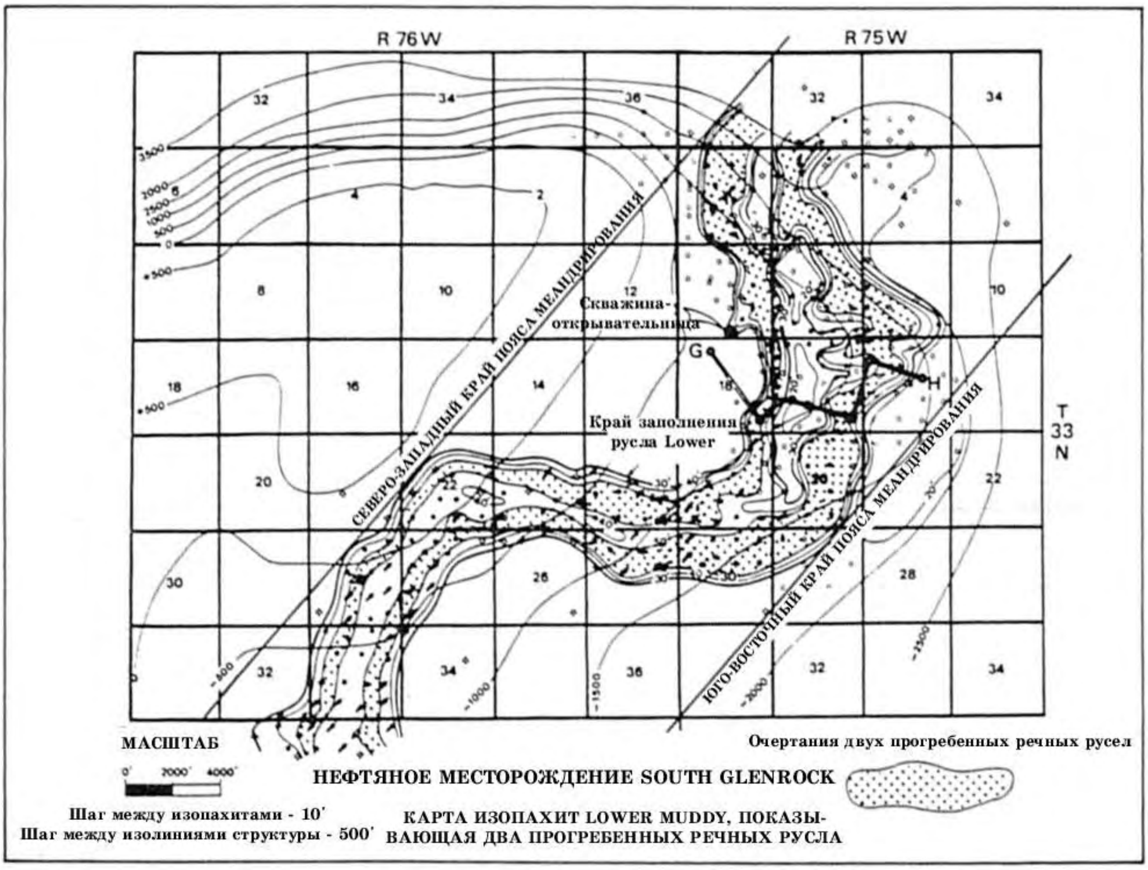



**Рис.5-5. Карта изопахит Lower Muddy на нефтяном месторождении South Glenrock, показывающая два погребенных речных русла (из Curry и Curry, 1972).**

Электрофация образует более одного элемента фации. Фактически, она является эквивалентом фации, поскольку включает параметры, которые определяют фацию.

Но мы должны понять, что имеется параметр, который никогда не принимался во внимание седиментологами в их определении фации. Этим параметром является флюид, который занимает поровое пространство породы. Если в обнажениях флюид игнорируется, поскольку отсутствует или содержится в незначительных количествах, на глубине он присутствует всегда и оказывает влияние на сигнал большей части скважинных приборов. Следовательно, мы не можем устранить флюид, и он входит в определение электрофации. Отсюда, несколько электрофаций, в зависимости от характера присутствующего в породе флюида (газ, нефть, пресная или минерализованная вода), могут соответствовать одной и той же геологической фации. На первый взгляд, эту ситуацию можно считать существенным недостатком концепции электрофации и ее применения. На самом деле, недостаток несуществен, поскольку целью анализа электрофаций является, в первую очередь, *описание* формаций, как их «видят» каротажные приборы. В конце концов, мы можем использовать приборы, менее чувствительные к флюидам или к пористости (т.е. NGT, GST, LDT), или ввести в данные поправку за влияние пористости и флюидов. В условиях отсутствия гидродинамизма, флюид может быть важным фактором для распознания обстановки осадконакопления: пресная вода в речных или речных или озерных условиях, солоноватая вода в болотах, соленая вода в песках, отложенных в морских условиях…

Часто возникает возражение, что электрофация – лишь эквивалент литофации, поскольку она не содержит палеонтологической информации. Не вступая в дискуссию, считаем необходимым сделать следующие замечания:

- если окаменелости используются в качестве признаков обстановки осадконакопления, мы должны помнит, что:
  - во многих случаях, фауна и флора почти отсутствуют и, следовательно, определение фаций дается без этой информации;
  - фауна и флора не всегда являются хорошими признаками обстановки осадконакопления (повсеместные виды, смешанные виды, аллохтонные виды и т.д.);
  - во многих случаях, присутствие окаменелостей (останков животных или растений) проявляется через воздействие на характер кривых ГИС; в частности, на данные наклономера и Formation MicroScanner. К тому же, это присутствие контролируется физико-химическими условиями, существовавшими в период осадконакопления, которые также определяют другие параметры, особенно осадочные текстуры;
  - другие элементы фации (минералогия, текстура, особенности отложений, палеотечения и геометрия) оказываются достаточными для точного определения фации, а также для характеристики обстановки осадконакопления, особенно если мы используем дополнительную информацию о последующей эволюции (см. Главу 6).
- Если окаменелости используются для определения геологического возраста, мы можем отметить, что эта информация неявно включается в скважинные данные посредством данных глубин и положения относительно маркирующих горизонтов. На этой стадии, данные ГИС позволяют более оценить ход времени точнее, чем по окаменелостям.

Таким образом, мы имеем все основания приравнять электрофацию к фации. Более того, восстановление пространственно-временного подразделения различных фаций и определение их взаимоотношений является конечной целью фациального анализа и анализа последовательностей, независимо от методов достижения этой цели – традиционного метода, который заключается в исследовании породы, или по данным ГИС.

Таким образом, обстановка осадконакопления может быть определена по данным этих анализов, и мы можем более точно предсказать выдержанность коллектора, наличие, природу и распределение барьеров проницаемости, и положение минеральных ресурсов в экономических количествах.

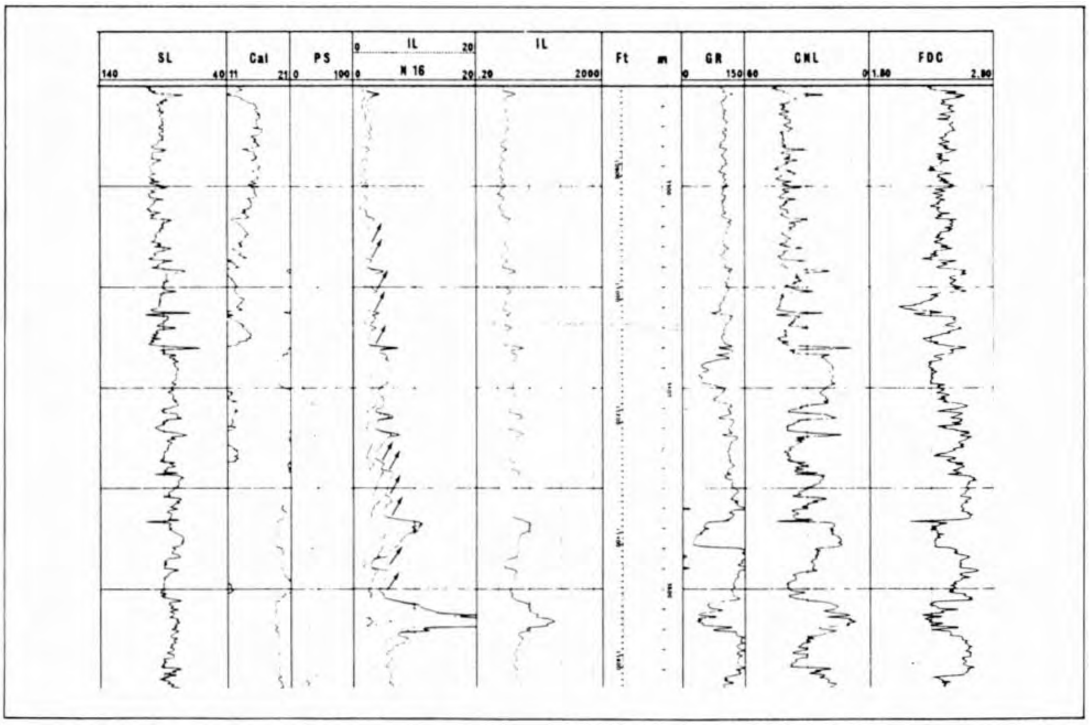



**Рис.5-6. Примеры электрокомплексов (electrosequences) (рампов), хорошо видимых на диаграммах ГИС.**

### 5.2.3. Понятие электрокомплекса

На определенных записях, мы иногда наблюдаем эволюцию измеренных параметров (сопротивления, гамма-излучения, собственного потенциала и т.д.) с глубиной (рис.5-6). Такие эволюции, имеющие форму рампов, были названы *электрокомплексами* (Serra, 1970). Предлагаемое определение электрокомплекса:

*интервал глубин, который может быть обнаружен скважинным прибором, и который представляет постепенную и непрерывную эволюцию между двумя экстремальными значениями измеренного параметра, образуя рамп.*

Эта эволюция может отражать:

- постепенное изменение минералогического состава с глубиной: изменение процентного содержания глины в песке или в известняке; повышение содержания известняка в доломите, или песка в радиоактивных тяжелых минералах (рис.5-7);
- изменение структурного параметра: эволюция размера зерен отражает последовательности с уменьшением или с увеличением размера зерен вверх по разрезу; уменьшение коэффициента сортировки и т.д.;
- одновременное изменение минералогического состава и структуры (конгломерат → песок → глинистый сланец);
- эволюция насыщенности в переходной зоне между нефте- и водоносными коллекторами, которая проявляется, в частности, на кривых сопротивления.

Этот электрокомплекс не обязательно наблюдается на всех кривых. Более того, если электрокомплекс характеризуется малой протяженностью по вертикали, он будет обнаружен только микрозондами (наклономерами, прибором FMS, а также по диаграмме микрокаротажа – рис.5-8).

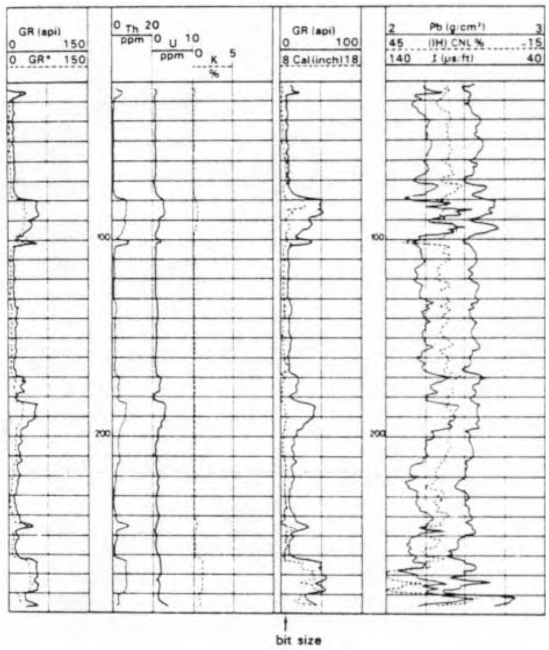



**Рис.5-7. Пример эволюции размера зерен, выявленной по данным ГИС. Обратите внимание на постепенное изменение характера кривых ГК, содержания тория (Th), урана (U), и значения плотности ($\rho_b$). Это указывает на постепенное увеличение содержания песка с тяжелыми радиоактивными минералами, содержащими торий и уран, что можно коррелировать с уменьшением размера зерен: тяжелые минералы более распространены в алевритовой фракции, нежели в песчаной. Посмотрите на кривую $IH_{CNL}$: она не показывает существенных изменений пористости в этом же интервале. Кривая содержания калия (K) практически не отклоняется от нуля, что свидетельствует об отсутствии глинистого сланца.**

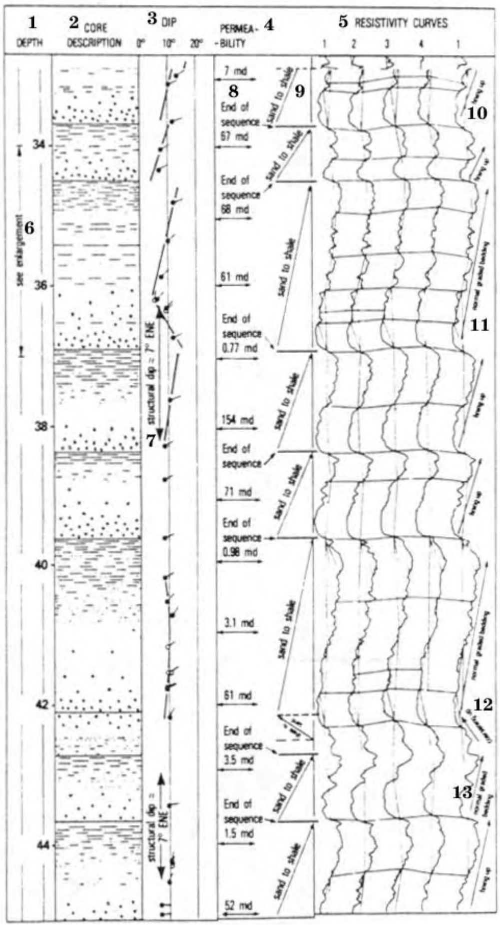



**Рис.5-8. Пример постепенных изменений (рампов), очень хорошо видимых на кривых сопротивления наклономера (прибор HDT), и соответствующих электрокомплексам. Мощность этих электрокомплексов изменяется от 1 до 3 футов, что делает невозможным их обнаружение другими приборами**.
(1- глубина; 2- описание керна; 3- наклон; 4- проницаемость; 5- кривые сопротивления; 6- см. увеличенное изображение; 7- структурный наклон ≈ 7° на восток северо-восток; 8- Конец комплекса 67 мД; 9- песок–глинистый сланец; 10- уменьшение размера зерен вверх по разрезу; 11,13- нормальная градационная слоистость; 12- увеличение размера зерен вверх по разрезу)

Чаще всего электрокомплекс соответствует последовательности первого порядка (тонкой или микроскопической, согласно определению Lombard, 1956), и, иногда, последовательности второго порядка (средней или макроскопической) – если детальное исследование кривых показывает мелкие вариации общего тренда (рис.5-9).

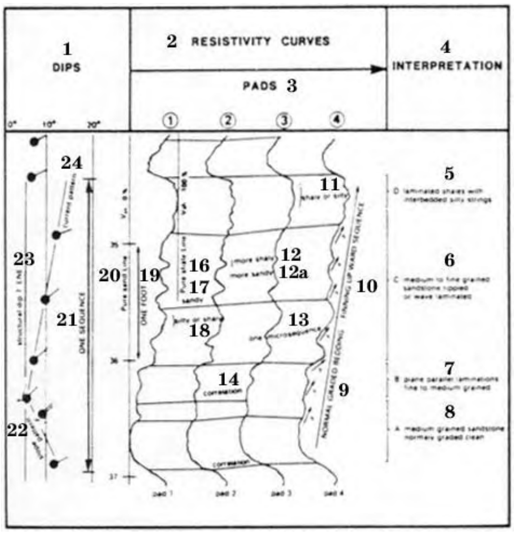



**Рис.5-9. Увеличенное изображение одного электрокомплекса из предыдущего примера: показана тонкая микроскопическая последовательность внутри макроскопической последовательности (из Serra и Abbot, 1980).**

(1- наклоны; 2- кривые сопротивления; 3- прижимные башмаки; 4- интерпретация; 5- D чередование тонких слоев глинистых сланцев и алеврита; 6- С песчаник, среднезернистый до тонкозернистого, со следами ряби или с волнистой тонкой слоистостью; 7- В плоскопараллельные слои, зернистость от тонкой до средней; 8- А среднезернистый песчаник, нормально сортированный, чистый; 9- нормальная градационная слоистость; 10- последовательность с уменьшением размера зерен вверх по разрезу; 11- глинистые или алевритистые отложения; 12- более глинистые отложения; 12а- более песчанистые отложения; 13- одна микроскопическая последовательность; 14- корреляция; 16- линия чистых глин; 17- песчанистые отложения; 18- алевритистые или глинистые отложения; 19- один фут; 20- линия чистых песков; 21- одна последовательность; 22- картина наклона; 23- структурный наклон 7° на восток северо-восток; 24- картина течения)


**Рис.5-10. График одной проградационной последовательности, показывающий тренд взаимной зависимости (из Rider и Laurier, 1979).**


**Рис.5-11. Диаграммы ГИС в идеализированной проградирующей осадочной последовательности глинистый сланец – песок – органогенная глина – уголь (из Rider и Laurier, 1979).**

Формы «*колокол*» и «*воронка*» кривой ПС соответствуют электрокомплексам (рис.5-1), а не фациям или обстановке осадконакопления.

Можно расширить понятие «электрокомплекс» на все интервалы глубин, где график взаимной зависимости двух параметров (например, водородного показателя и плотности) демонстрируют непрерывную форму (рис.5-10), даже если каждая отдельная кривая (рис.5-11) не показывает четко постепенное изменение.

Форма «бумеранг», иногда наблюдаемая на графиках взаимной зависимости показаний плотностного и нейтронного каротажа, и хорошо известная аналитикам, представляет собой другой пример электрокомплекса этого типа (рис.5-12).

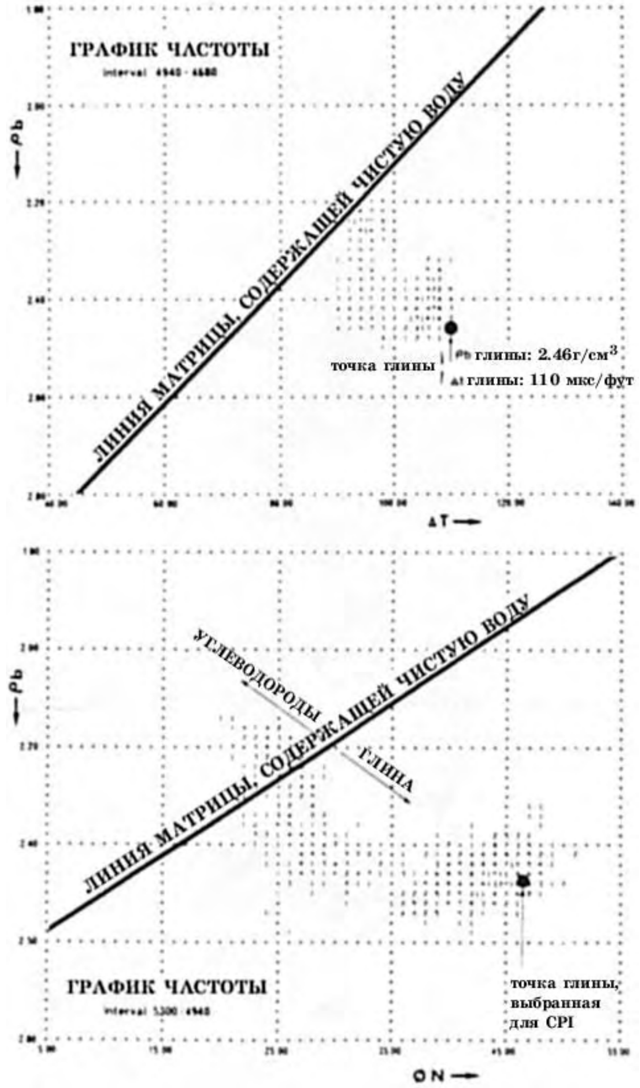



**Рис.5-12. Форма «бумеранг», которую можно наблюдать на графиках взаимной зависимости нейтронный каротаж–плотностной каротаж и АК–плотностной каротаж в сериях песок–глинистый сланец. Она отражает последовательность размера зерен.**

## *5.3. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФАЦИЙ ПО ДАННЫМ ГИС*

Целью этого анализа является объективное *описание* формаций, вскрытых в процессе бурения, по реакции скважинных приборов, и *опознание всех присутствующих основных электрофаций*, что позволило бы *исследовать их ассоциацию в вертикальных последовательностях* и, следовательно, *вывести эволюцию в горизонтальном направлении*, применяя закон Вальтера (Walther). Другими словами, первой целью является восстановление моделей электрофаций, что поможет определить обстановку осадконакопления (см. Главу 6). Анализ электрофаций может быть выполнен вручную или автоматически. В обоих случаях, основной подход, в сущности, один и тот же.

### 5.3.1. Ручная идентификация электрофаций

Первоначально, седиментологическое исследование по данным ГИС включало изучение форм различных кривых с целью выявления типа и обстановки осадконакопления. Как было показано выше, рамп или наклон на диаграмме может указывать на уменьшение или увеличение размера зерен вверх по разрезу (рис.5-8). Классификация электрофаций по форме кривой ПС хорошо известна и использовалась в течение многих лет (рис.5-1 и 5-3). Могут быть использованы другие кривые. Например, Serra и Sulpice (1975) коррелировали показания ГК и размер зерен (рис.5-13).

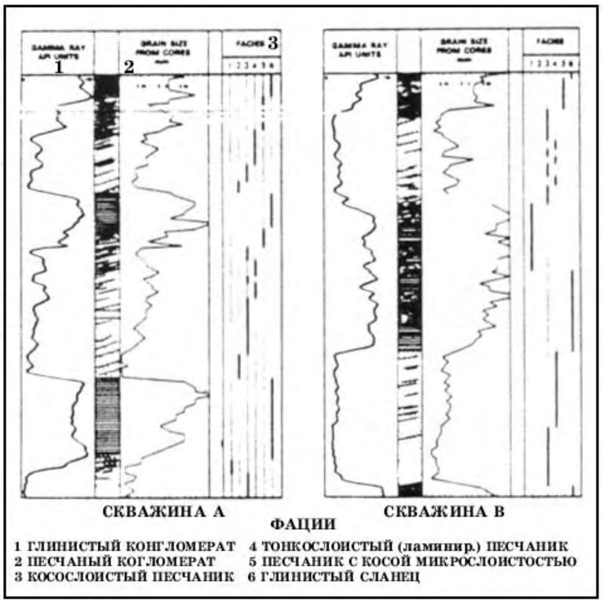



**Рис.5-13. Корреляция показаний ГК и размера зерен (из Serra и Sulpice,1975).**
(1- ГК, ед. API; 2- размер зерен по керну (мм); 3- фации;)

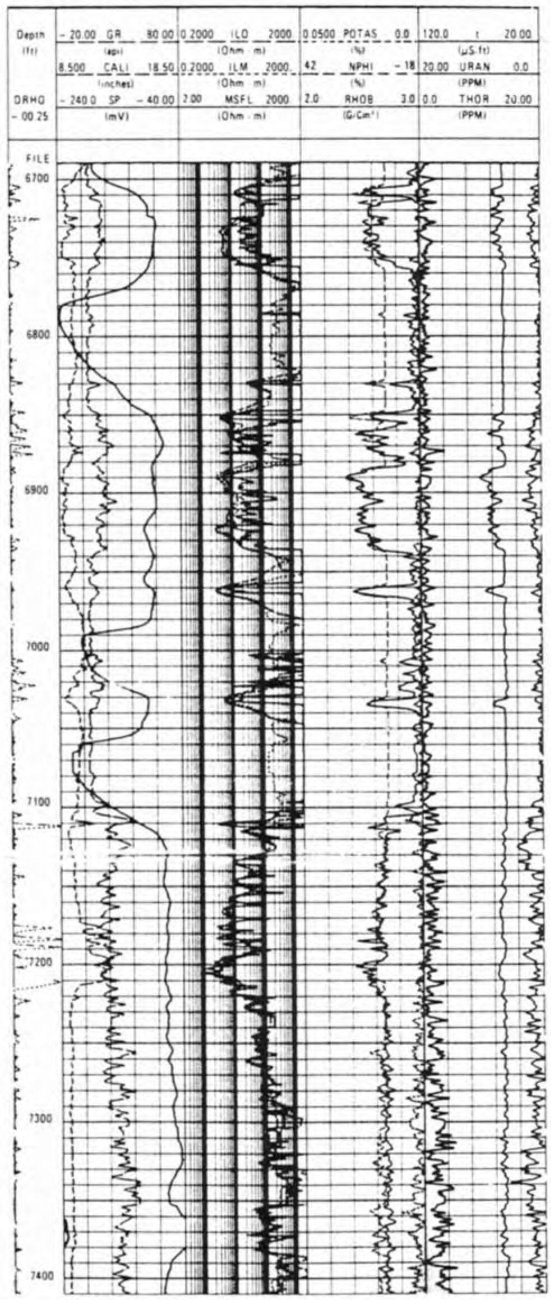



**Рис.5-14. Пример сводной диаграммы, полученной на скважине**.

Один начинает с созданного им самим документа – сводной диаграммы (рис.5-14). Этот документ объединяет и согласовывает по глубине все диаграммы ГИС, зарегистрированные на скважине, включая данные наклономера и результаты расчета наклонов, которые получены с помощью программ GEODIP или LOCDIP.

Другой *делит* исследуемый интервал на *электропласты* (electrobeds) или *электрокомплексы*. Для этого анализируется величина изменений на кривых макрозондов (macrodevice). Согласно значению и форме, принимается субъективное решение:

- изменение соответствует границе электропласта;
- изменение указывает на «помехи», присущие либо измерению (статистические отклонения в ядерном каротаже), либо скважинным условиям (неровность стенки скважины, наличие каверн и т.д.), либо второстепенным изменениям геологических параметров;
- изменение отражает постепенный переход (рамп) с второстепенными отклонениями.

В следующем шаге, кто-то определяет электрофации для каждого электропласта, мощность которого больше средней вертикальной разрешающей способности большинства макрозондов (около 2-3 футов, или 60-90 см).

Синтез результатов различных измерений, соответствующих одному электропласту (особенно если речь идет о большом количестве данных), представляет собой сложную задачу. Поэтому для визуализации электрофаций предлагается представление с помощью диаграмм-роз, «паутин» (spider‘s web) (рис.5-15), или гистограмм (Serra, Schlumberger Well Evaluation Conference, Algeria, 1979). Получить гистограммы вручную довольно сложно, а форма «паутины» изменяется в соответствии с количеством вовлеченных измерений (а, следовательно, ветвей). Поэтому считается, что более полезной является ступенчатая диаграмма (Serra, Schlumberger Well Evaluation Conference, Algeria, 1979), поскольку отсутствие одной кривой не сказывается на общей форме фигуры (рис.5-16). Каждая ветвь «паутины», или каждый столбец ступенчатой диаграммы представляет ось масштабированной кривой с диапазоном ее изменения. Один график дает минимальное, максимальное и медианное значение каждой кривой.

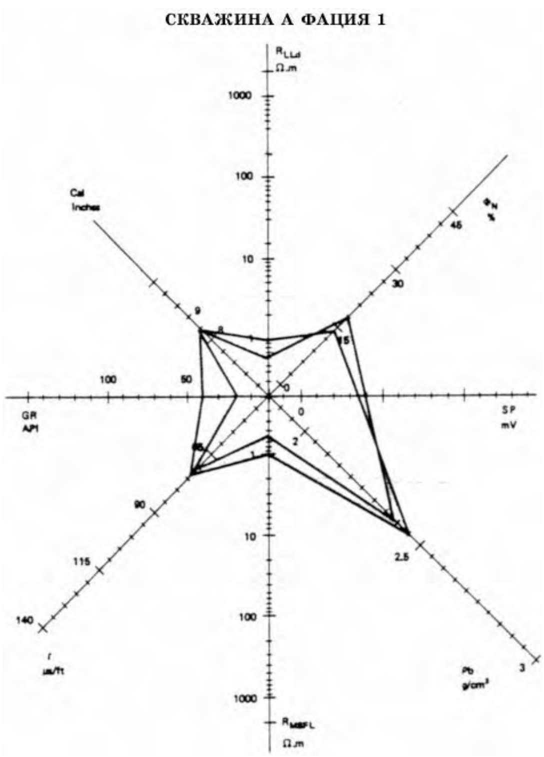



**Рис.5-15. После зонирования кривых и установления электрофаций, параметры кривых строятся на диаграммах-розах или «паутинах». Сравнение таких диаграмм упрощает корреляцию от скважины к скважине (из Serra, Schlumberger Well Evaluation Conference, Algeria, 1979).**

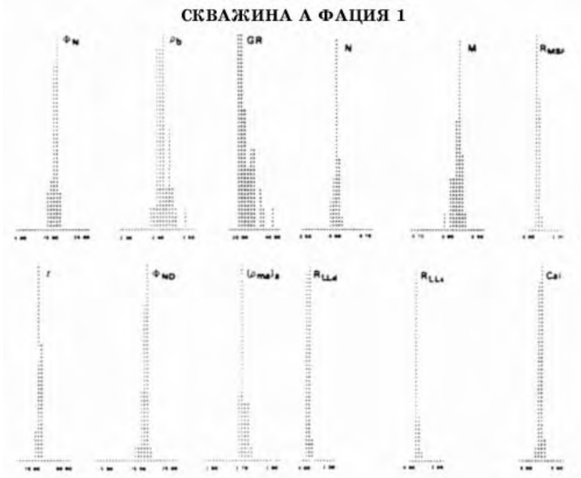



Рис.5-16. Представление этой же электрофации с помощью гистограмм (из Serra, Schlumberger Well Evaluation Conference, Algeria, 1979).

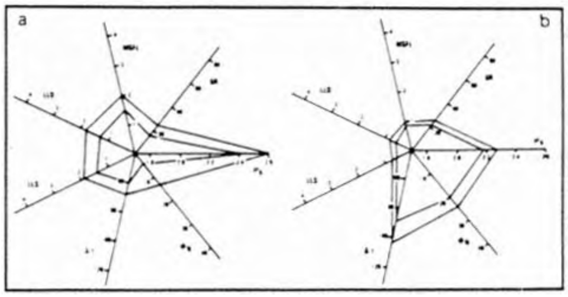


Рис.5-17. Диаграммы-«паутины» для (a) известняка и (b) песчаника (из Serra и Abbott, 1980).

На рис.5-17 показаны формы двух электрофаций. Для того чтобы можно было отличить одну электрофацию от другой, формы должны различаться только по одной оси. В сущности, сравнивая формы, аналитик может разбивать интервална электрофации числом от 10 до 15 (рис.5-18). На этом последнем рисунке можно видеть постепенное изменение форм от одной электрофации к следующей. Охваченный интервал показан на рис.5-19. Самая малая глубина – в левом верхнем углу, и рисунки расположены в колонках, с возрастанием глубины вниз. Проведена также корреляция с фациями, определенными по результатам анализа керна.

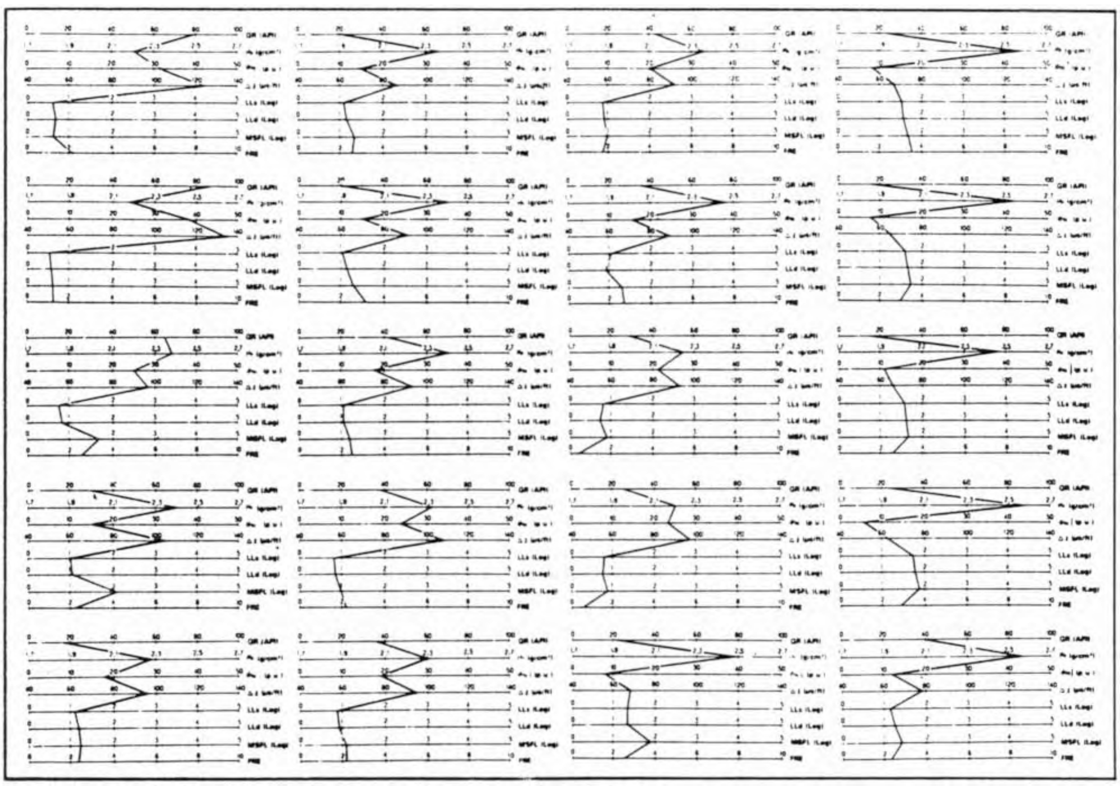


Рис.5-18. Сопоставление электрофаций (из Serra и Abbott, 1980).

Используя эту методику, можно также выполнить корреляцию между электрофациями из различных скважин (рис.5-19).

Для определения электрофаций в тонких пластах требуется предварительный шаг: коррекция результатов различных измерений за влияние окружающих пластов. С этой целью применяются схемы поправки за обстановку осадконакопления (environmental correction charts). Однако введение такой поправки представляет собой долгую и весьма утомительную операцию. Следовательно, может оказаться предпочтительным следующий эмпирический метод. Строится представление электрофаций тонкого пласта, и для каждого измерения стрелкой указывается направление, в котором поправка должна сместить фигуративную точку. Выполняя сравнение с предварительно определенными фациями, и используя кривые сопротивления наклономера, можно оценить ближайшие электрофации (рис.5-21 и 5-22).

В случае рампов или электрокомплексов, определяются электрофации на начальной и конечной глубинах, или в окружающих электропластах.

Этот анализ, выполняемый вручную, часто утомителен и занимает много времени, и для некоторых геологов, приверженных традициям, он может не представлять интереса. В этой связи, мы напоминаем этим геологам, что данный метод используется некоторыми нефтяными компаниями мира (возможно, метод отличается от упомянутого выше, но идеология сохраняется). Например, этот метод позволил группе ELF-Aquitaine исследовать более 1000 скважин и, таким образом, синтезировать представление о фациях и об обстановке осадконакопления для каждой скважины. Появилась возможность построения карт фаций, причем при меньшей стоимости и в весьма сжатые сроки. В противном случае, было бы невозможно получить эту информацию, поскольку керн извлекался редко, и результаты его анализа часто отсутствовали. Данный метод позволил более точно охватить сейсмические профили и выполнить более надежную интерпретацию в терминах сейсмофаций. Результатом стало лучшее из всех возможных представление о бассейнах и, следовательно, обоснованный выбор площадей работ.

Тем не менее, данный анализ субъективен, поскольку результаты могут частично зависеть от аналитика, выполняющего исследование. Поэтому мечтой специалистов был автоматический процесс, где применяются компьютеры. Метод компьютерной обработки (Serra и Abbott, 1980), описанный далее, был разработан фирмой Schlumberger и появился на рынке под маркой FACIOLOG. В его описании объясняются различные шаги обработки данных. Могут быть задуманы и другие подходы, которые, несомненно, будут разработаны на основе этой же общей философии.

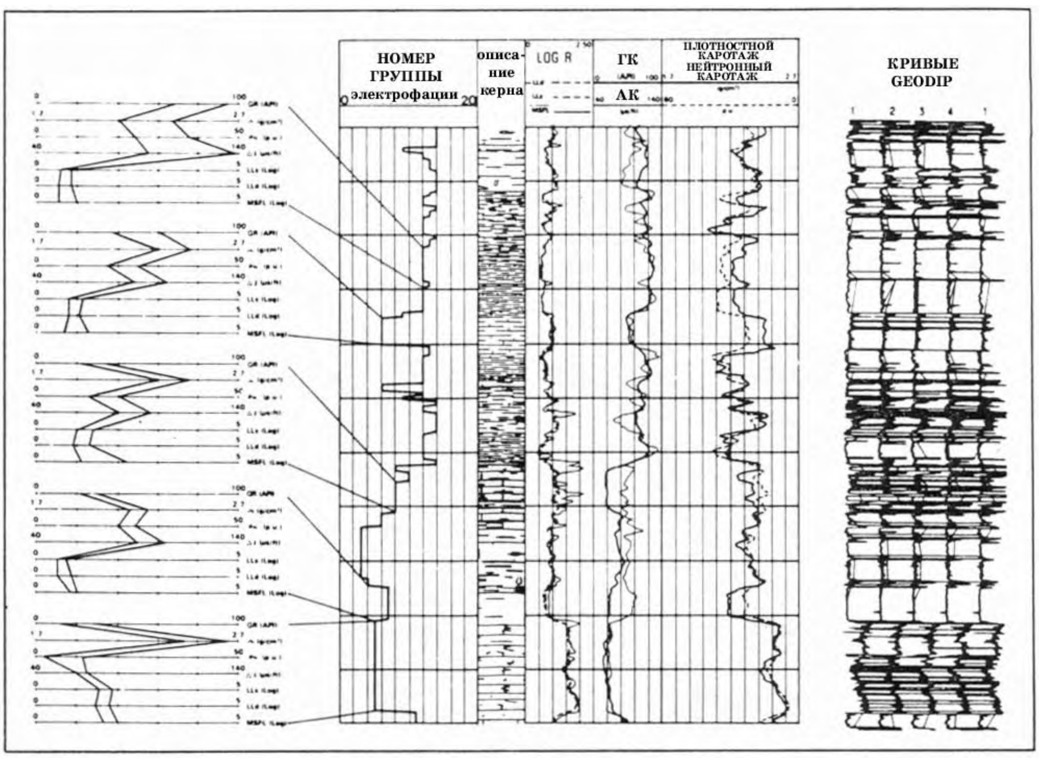


**Рис.5-19. Корреляция электрофаций с фациями, определенными по керну (из Serra и Abbott, 1980).**

### 5.3.2. Автоматическая идентификация электрофаций: FACIOLOG

При применении ручного метода используются, по существу, те же шаги. Мы просто пытаемся преобразовать подход аналитика в математические функции или статистическую обработку.

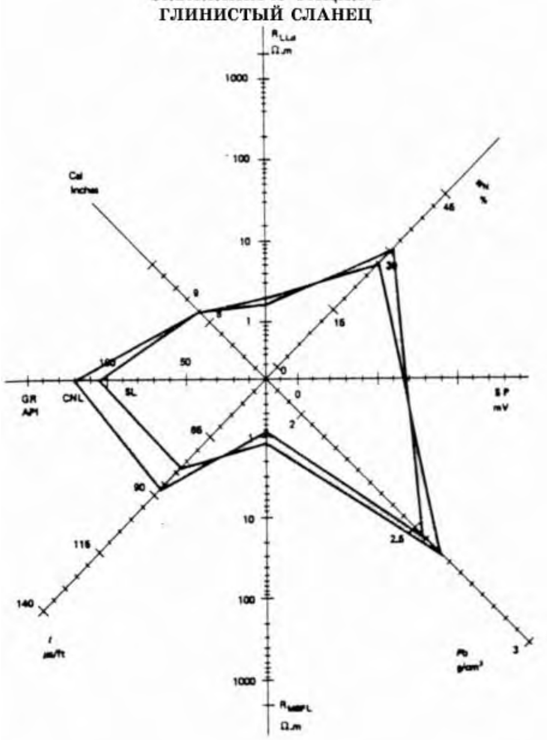
Множество из n кривых ГИС, который характеризует электропласт, может рассматриваться как определение координат электрофации, представленной здесь точкой, в n-мерном пространстве. Поскольку одинаковые причины вызывают одинаковые эффекты, мы можем полагать, что другой пласт с такими же геологическими фациями и содержащий такие же флюиды, будет иметь такие же электрофации. Следовательно, его фигуративная точка в n-мерном пространстве должна располагаться очень близко к предыдущей точке. Таким образом, электрофация должна соответствовать группе или скоплению точек, расположенных весьма близко одна к другой в этом пространстве. Напротив, различные электрофации должны соответствовать различным и отдельным группам. Возможно, они могут перекрываться по одному или нескольким измерениям n-мерного пространства.

Если мы начинаем с необработанных, не зонированных данных, мы будем наблюдать определенное рассеяние точек, соответствующих одной электрофации, причем при увеличении количества скважинных замеров степень рассеяния повышается. Это рассеяние связано с «помехами», обусловленными работой прибора, скважинными условиями и даже слабыми вариациями геологических параметров. Предварительное зонирование и анализ основных компонентов, с одной стороны, уменьшит это рассеяние, а с другой стороны, понизит степень многомерности пространства. Автоматическое разбиение на группы может быть выполнено только после этого шага.

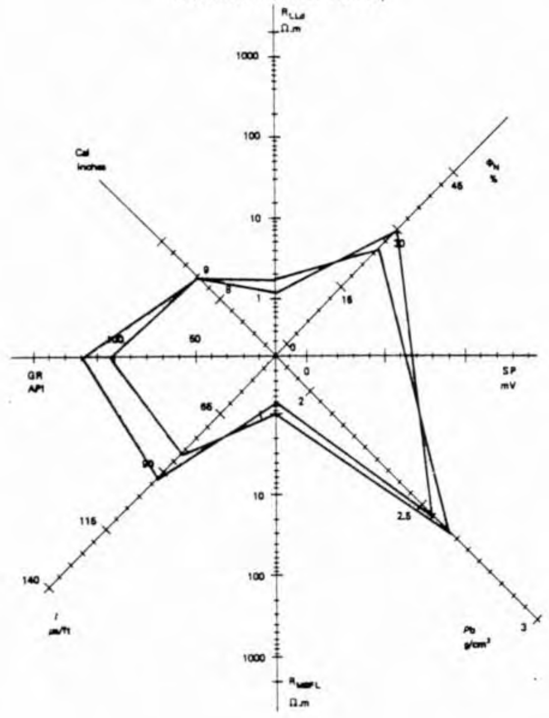
В определенных случаях (например, при отсутствии рампов и тонких пластов), мы можем немедленно начать анализ основных компонентов и выполнить разбиение на группы. По результатам обработки можно выполнить автоматическое зонирование (рис.5-23).

При использовании автоматического зонирования происходит концентрация группы за счет устранения ошибок измерения. Если создается n-мерная гистограмма, и анализируется повторяемость каждой ячейки, мы получаем такие же результаты, как на рис.5-24a. Результаты по этому интервалу после зонирования показаны на рис.4-23b. Вполне очевидно, что распределением данных, которое показано на рис.5-24b, оперировать проще. На рис.5-25a и 5-25b показаны соответствующие частотные графики (диаграммы) по двум выбранным осям интервала.

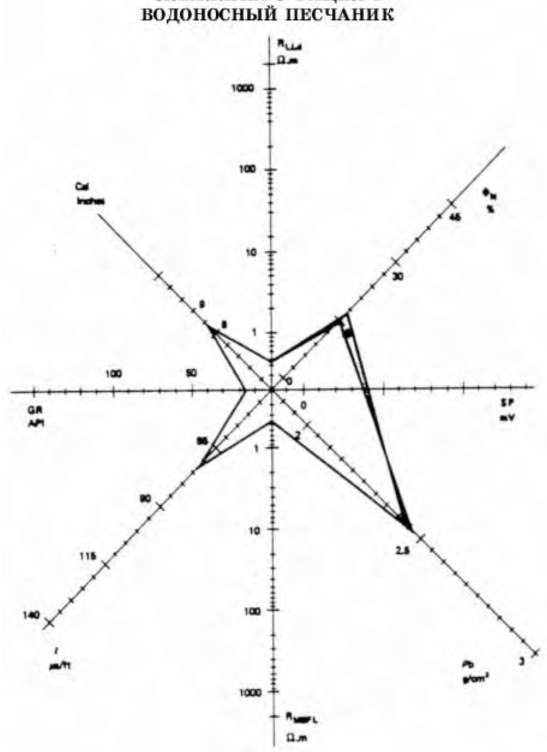
СКВАЖИНА А ФАЦИЯ 2
ГЛИНИСТЫЙ СЛАНЕЦ



СКВАЖИНА В ФАЦИЯ 2
ГЛИНИСТЫЙ СЛАНЕЦ



СКВАЖИНА С ФАЦИЯ 1
ВОДОНОСНЫЙ ПЕСЧАНИК



СКВАЖИНА D ФАЦИЯ 1
ВОДОНОСНЫЙ ПЕСЧАНИК

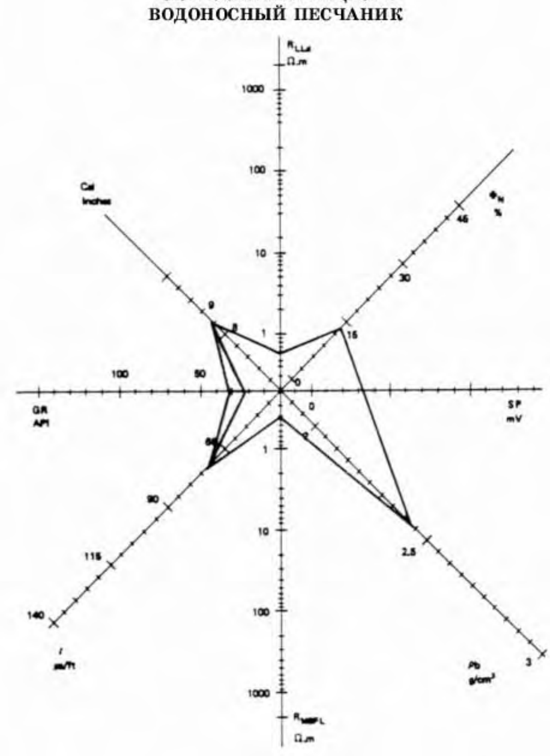


**Рис.5-20. Идентификация электрофаций и корреляции между различными скважинами (из Serra, Schlumberger Well Evaluation Conference, Algeria, 1979).**

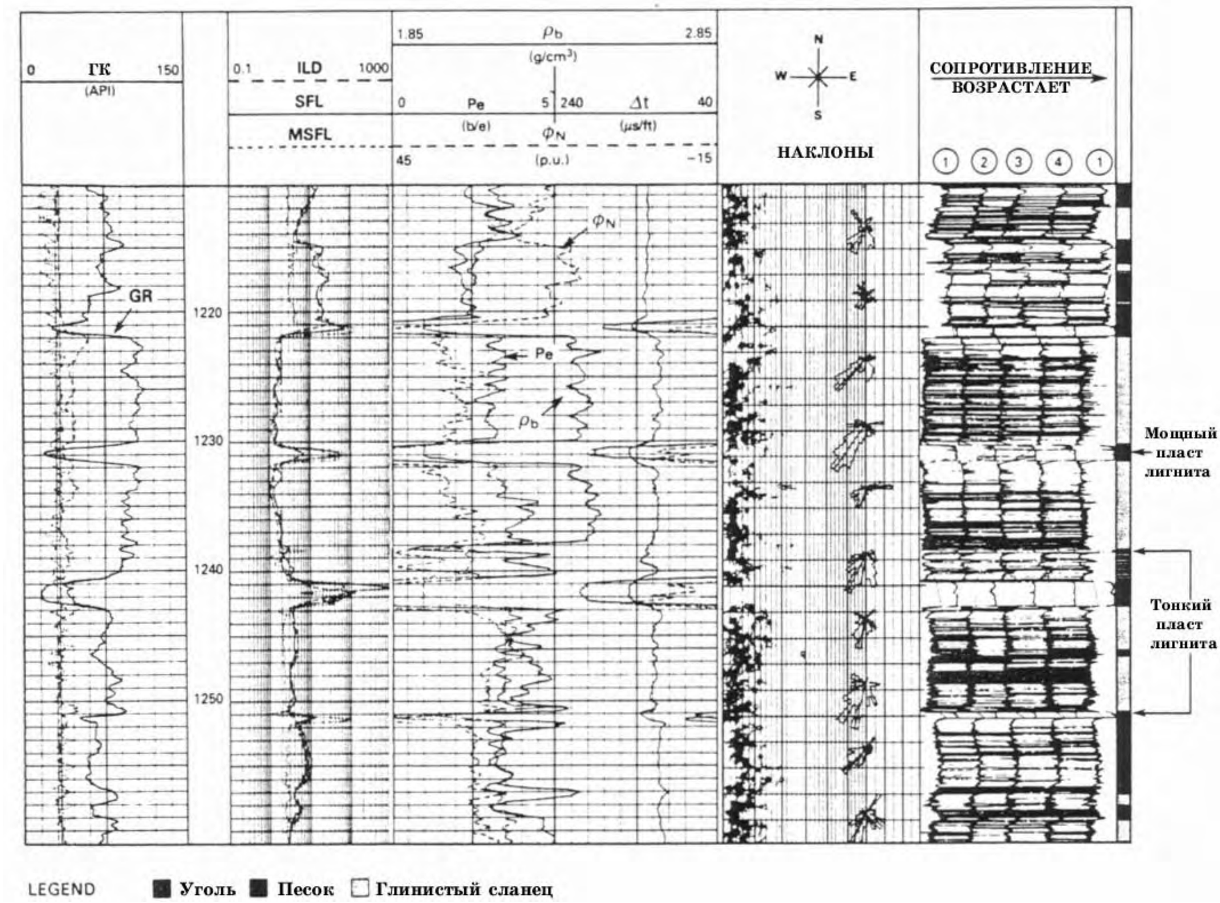



**Рис.5-21. Сводная диаграмма.**

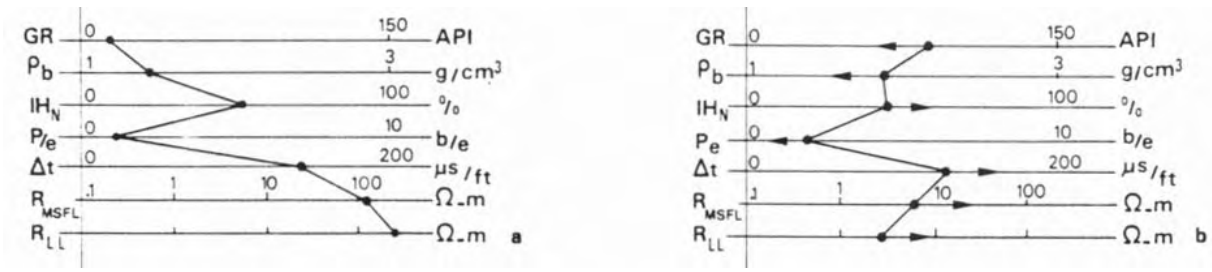



**Рис.5-22. (a) Электрофации угольного пласта в интервале 1241-1243 м. (b) электрофации тонкого пласта в интервале 1238-1238.5 м, который, согласно кривым сопротивления наклономера, соответствует углю.**

## **5.3.2.1.** *Автоматическое зонирование кривых*

Программа зонирования должна разделить исследуемый интервал на электропласты и электрокомплексы (рампы). Электропласт может быть определен как последовательность уровней со смежными показаниями, согласно используемому шагу выборки (6 или 1.2 дюйма). Эти уровни представляют, в сущности, одинаковые величины, т.е. отклонения их характеристик не превышает определенных пределов (допустимых отклонений). Отклонения соответствуют ошибке измерения прибора, и второстепенным приемлемым изменениям геологических параметров (рис.5-26).

Последние могут быть выражены в единицах ошибки измерения, или следовать более сложному закону.

Электрокомплекс может быть определен как последовательность смежных показаний. Уровень, имеющий порядок n, показывает величину, которая больше величины уровня с порядком n-1, но меньше, чем величина уровня с порядком n+1 (или наоборот). Данная эволюция должна продолжаться в интервале глубин, который больше разрешающей способности прибора. Это необходимо для того, чтобы интервал можно было рассматривать как представляющий электрокомплекс. В противном случае, он соответствует искусственному рампу, вследствие недостатка разрешающей способности измеряющего прибора (рис.5-26).

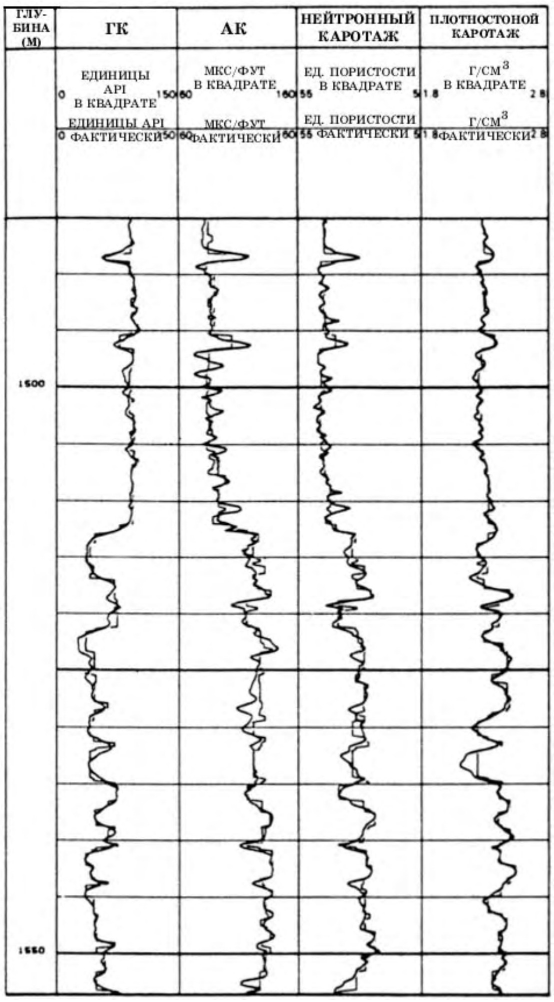



**Рис.5-23. Пример автоматического зонирования кривых, полученных с помощью методики разбиения на группы и сравнения с необработанными кривыми (из Serra, Schlumberger Well Evaluation Conference, India, 1983).**

a)

| ПЕРЕМЕННАЯ | МИН. | МАКС. | ШАГИ |
|---|---|---|---|
| GR | 0 000 | 100 000 | 30 |
| LLLD | 0 000 | 2 500 | 30 |
| LMSFL | 0 000 | 2 500 | 30 |
| RHOB | 1 700 | 2 700 | 30 |
| NPHI | 0 000 | 60 000 | 30 |
| FRE | 0 000 | 12 000 | 24 |
| DT | 40 000 | 240 000 | 40 |

| | |
|---|---|
| 1 NUMBER OF CELLS HAVING 1 ELEMENT | 693 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 2 ELEMENTS | 35 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 3 ELEMENTS | 5 |
| 2 TOTAL NUMBER OF CELLS | 724 |

b)

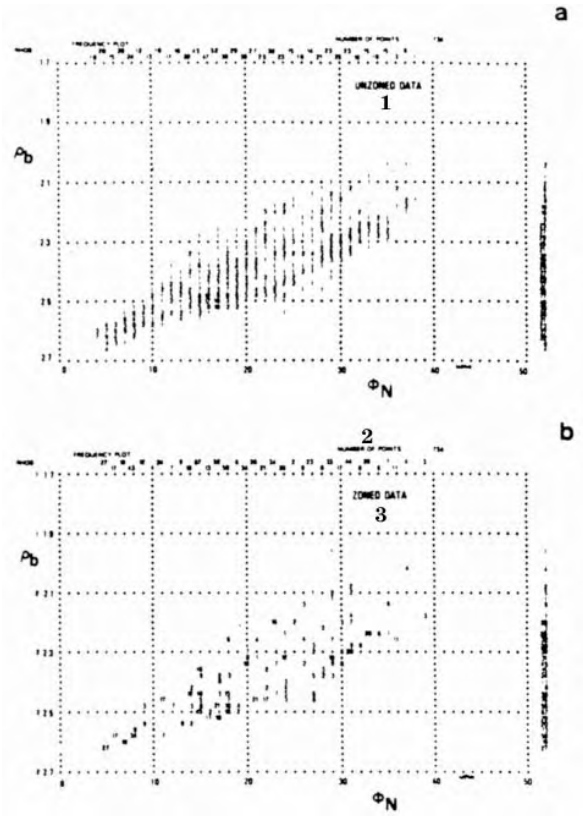
| ПЕРЕМЕННАЯ | МИН. | МАКС. | ШАГИ |
|---|---|---|---|
| GR | 0 000 | 100 000 | 30 |
| LLLD | 0 000 | 2 500 | 30 |
| LMSFL | 0 000 | 2 500 | 30 |
| RHOB | 1 700 | 2 700 | 30 |
| NPHI | 0 000 | 60 000 | 30 |
| FRE | 0 000 | 12 000 | 24 |
| DT | 40 000 | 240 000 | 40 |

| | |
|---|---|
| NUMBER OF CELLS HAVING 1 ELEMENT | 7 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 2 ELEMENTS | 17 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 3 ELEMENTS | 17 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 4 ELEMENTS | 11 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 5 ELEMENTS | 5 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 6 ELEMENTS | 8 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 7 ELEMENTS | 10 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 8 ELEMENTS | 5 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 9 ELEMENTS | 5 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 10 ELEMENTS | 3 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 11 ELEMENTS | 2 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 12 ELEMENTS | 1 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 13 ELEMENTS | 2 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 14 ELEMENTS | 2 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 15 ELEMENTS | 2 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 16 ELEMENTS | 1 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 17 ELEMENTS | 3 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 18 ELEMENTS | 3 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 19 ELEMENTS | 1 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 24 ELEMENTS | 1 |
| NUMBER OF CELLS HAVING 31 ELEMENTS | 1 |
| TOTAL NUMBER OF CELLS | 107 |

**Рис.5-24. Электрофации различаются с помощью данных, сформированных программой кластеризации (разбиения на группы): (a) до зонирования; (b) после зонирования (из Serra и Abbott, 1980).**

(1- количество ячеек, имеющих один элемент; 2- общее количество точек)

**Рис.5-25. Частотные графики данных, представленных на рис.5-24: (а) до зонирования; (b) после зонирования (из Serra и Abbott, 1980).**
(1- незонированные данные; 2- количество точек; 3- зонированные данные)



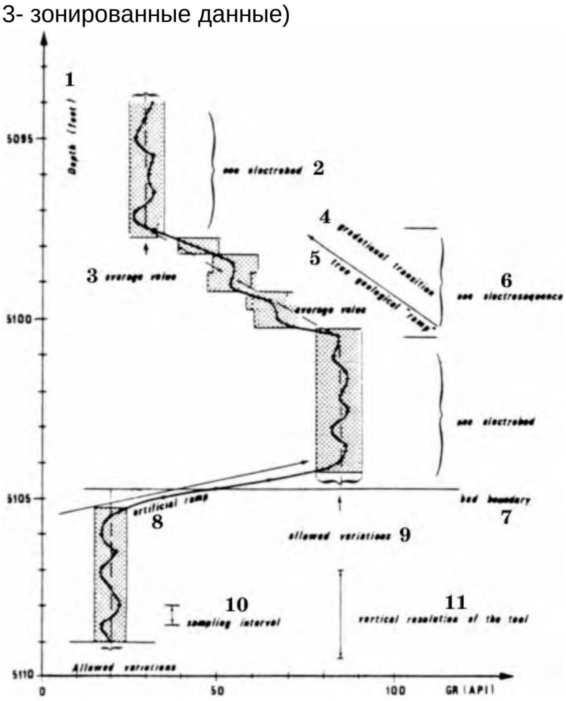




**Рис.5-26. Принцип автоматического зонирования на электропласты и электрокомплексы**.
(1- Глубина (в футах); 2- один электропласт; 3- средняя величина; 4- постепенный переход; 5- истинный геологический «рамп»; 6- один электрокомплекс; 7- граница пласта; 8- искусственный рамп; 9,12- допустимые отклонения; 10- шаг выборки; 11- вертикальная разрешающая способность прибора)

Следовательно, необходимо определить для каждого прибора вертикальную разрешающую способность и амплитуду допустимых отклонений, выраженную в процентах. На рис.5-27 показано влияние этого последнего параметра на подразделение на электропласты и электрокомплексы для кривой ГК. Мы можем утверждать, что это влияние носит второстепенный характер, если мы не превышаем определенную величину. В общем случае, мы выполняем зонирование по активным кривым, на которые мы полагаемся при определении границ и типа эволюции. Мы накладываем эти границы на другие, т.н. пассивные кривые. Тип эволюции между этими границами определяет, для пассивных кривых, пласт или последовательность. На рис.5-28 приведен пример автоматического зонирования, полученного с помощью трех активных кривых ГК, нейтронного и плотностного каротажа.

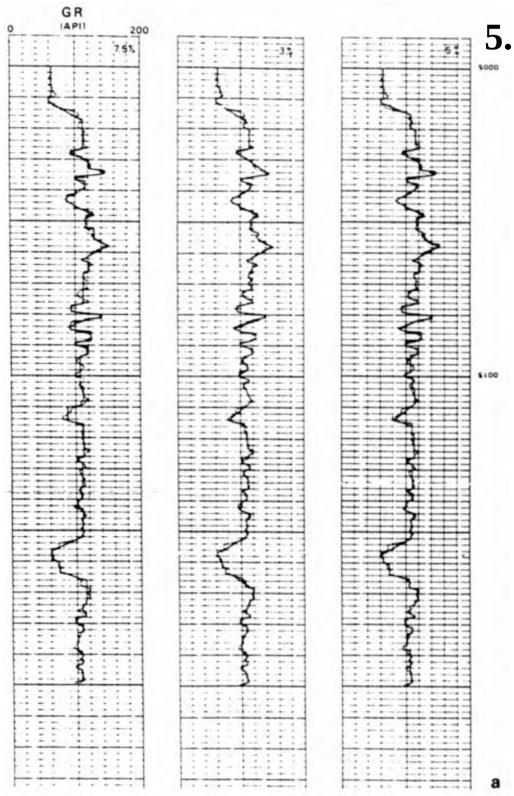



Рис.5-27. Влияние допустимого отклонения (в процентах) на зонирование кривой ГК на электропласты и электрокомплексы.

### 5.3.2.2. Обработка данных наклонометра

В главах 3 и 4 мы подчеркивали интерес, который представляют данные наклонометра как источник информации о структуре и текстуре. Эта информация, весьма важная для определения электрофаций и, следовательно, фаций и обстановки осадконакопления, не должна быть игнорирована.

Но она, по своему характеру, качественная: вид кривых сопротивления, природа границ пластов, эволюция наклонов с глубиной…. Эту информацию можно использовать только путем представления данных наклонометра в количественном виде, как это делает программа SYNDIP (см. Главу 4).

### 5.3.2.3. *Методики автоматической кластеризации*

Метод, описанный в предыдущем разделе, в сущности, является попыткой разделения n-мерного пространства данных ГИС (n соответствует количеству принимаемых во внимание скважинных данных) на определимые объемы, соответствующие каждой электрофации (рис.5-29).

Для решения таких задач можно приспособить многие математические методики, известные как кластеризация. Если количество измерений больше двух, мы можем думать о точках электрофаций, попадающих в группы (кластеры) или скопления. Кластер можно описать как непрерывную область n-мерного пространства, содержащую относительно плотное множество точек. Она отделена от других областей областями, содержащими относительно неплотное множество точек. Задача программы кластеризации заключается в том, чтобы различить каждое скопление. Для этой цели, мы определяем, для каждого уровня или глубины показаний, расстояние $d_k$ k-той ближайшей окрестности. Оно соответствует радиусу наименьшей окружности с центром на известном уровне, содержащей k соседних точек. Если какой-либо другой уровень, расположенный ниже или выше определенного окна глубин (IBAND), не имеет меньшую величину $d_k$, и если среди этих соседних k точек ни одна не имеет величину меньше $d_k$, уровень будет взят как ячейка, или как *локализованная мода* (local mode) (рис.5-30). Каждая ячейка, полученная таким способом, соответствует элементарной электрофации.

Форму кластеров определить трудно, поскольку нельзя предположить нормальное распределение внутри каждой фации для каждой кривой. Скопление рассеяно в любом направлении за счет влияния ошибок измерений (см. выше) или за счет изменений в самой фации. Рассмотрим, например, изменение размера зерен в песчанике. Результатом этого изменения является рассеяние точек песчаника, которое приводит к появлению «облака», характеризующегося концентрацией точек в одной его части и наличием хвоста. При постепенном переходе от одной фации к другой, картина осложняется тем, что «облака» (скопления) не разделены. В большинстве случаев, различная вертикальная разрешающая способность приборов является причиной появления некоторого разброса сигналов на границах фаций. Поэтому, для установления критериев разделения кластеров необходимы статистические методики.

Для того чтобы решить, какой вид методики кластеризации применить, важно следующее:

- количество уровней, исследуемых в данное время;
- количество рассматриваемых переменных (кривых);
- размер и распределение каждого кластера;
- существование электрофаций с ограниченным представлением;
- эффекты постепенных изменений от одного кластера к другому.

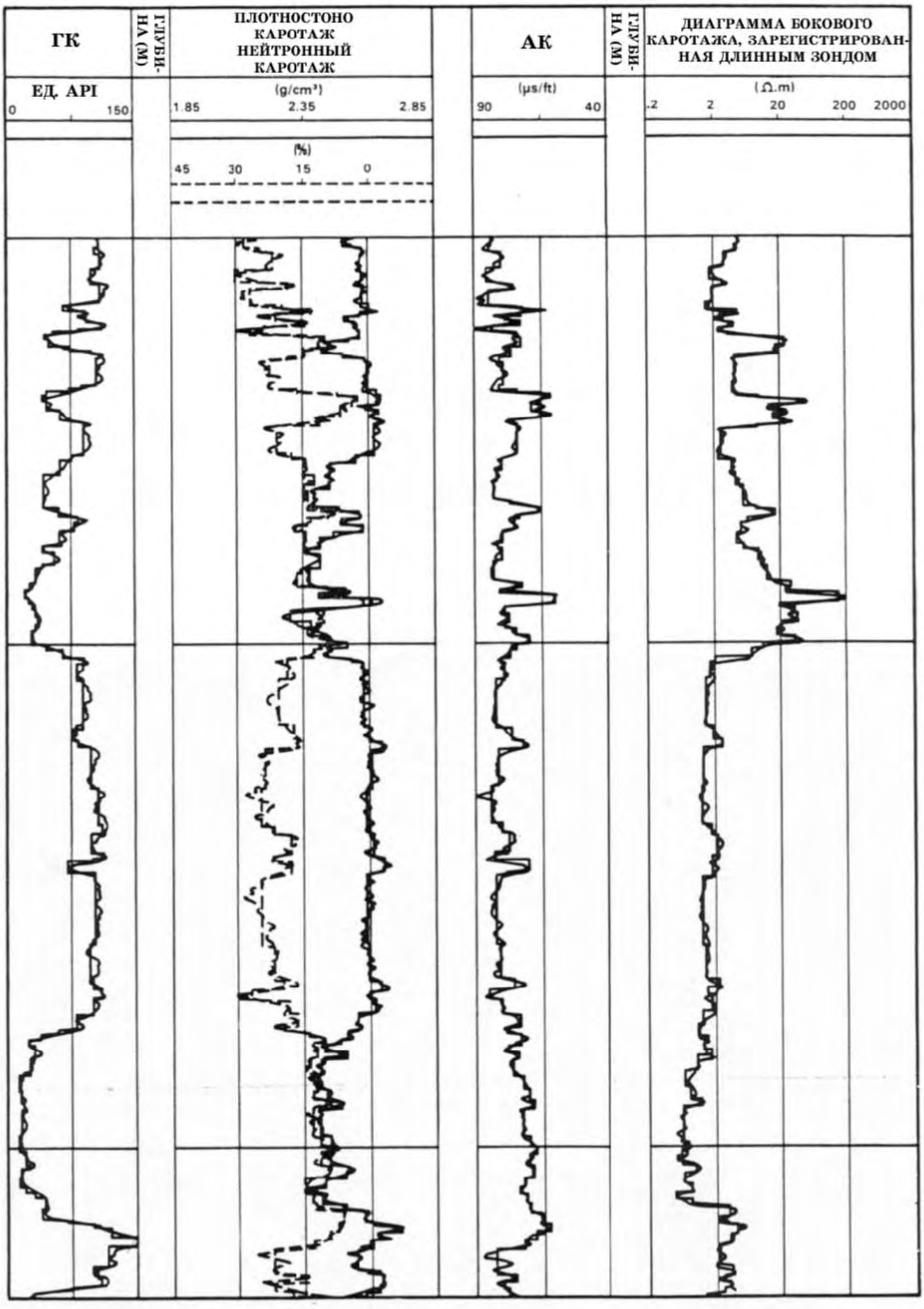



**Рис.5-28. Пример автоматического зонирования, полученного при использовании трех активных кривых: ГК, плотностного и нейтронного каротажа (из Schlumberger Well Evaluation Conference, Algeria, 1979).**

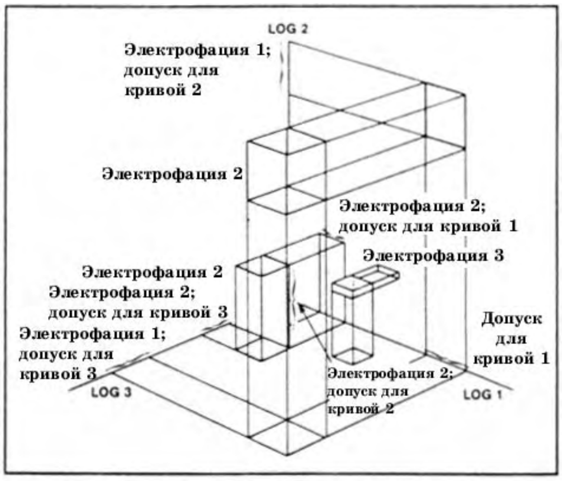



**Рис.5-29. Трехмерный случай трех электрофаций; три оси представлены различными методами ГИС.**

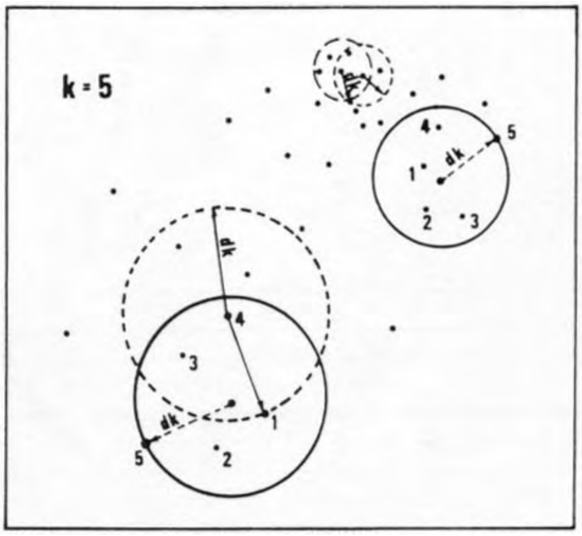



**Рис.5-30. Определение локализованных мод или элементарных электрофаций.**

Если требуется ввести информацию, предоставленную наклономером, она должна быть выражена в количественном виде. Это достигается путем применения синтетических кривых, выведенных по данным наклономера, которые получаются с помощью программы SYNDIP.

Для данных, где значимость изменений в диапазоне кривой сильно зависит от ее величины, необходимо сделать масштаб нелинейным. Например, значения сопротивления, которые изменяются от 0.1 до 10000, преобразуются в десятичный логарифм. Это упрощает обработку и допускает применение метрического стандарта.

### **5.3.2.4.** *Окончательное определение электрофации*

Описанный выше метод определяет некоторое количество локализованных мод (или элементарных электрофаций), которое намного меньше, чем первоначальное количество уровней. Формируется также список локальных мод, классифицированных согласно порядку создания. Он показывает глубину наиболее репрезентативной величины, значение $d_k$ и связь с другими модами. Даются также координаты основных компонентов (Таблица 5-1).

Таблица 5-1

*Список локализованных мод, найден*ных методиками *кластеризации.*

| МОДА | УРОВЕНЬ 1 | ГЛУБИНА | DK | СВЯЗЬ | ДЛИНА | КООРДИНАТЫ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4 | 1474.47 | 0.5899E+00 | 13 | 1.212198 | -1.322 | 0.225 | -0.607 | 0.341 | 0.784 |
| 2 | 13 | 1473.10 | 0.7013E+00 | 13 | 1.934385 | -1.760 | 2.225 | 0.358 | -0.217 | 0.175 |
| 3 | 23 | 1471.57 | 0.9990E+03 | 6 | 1.713878 | 2.420 | 2.257 | 0.633 | -1.203 | 0.487 |
| 4 | 38 | 1469.29 | 0.5167E+00 | 10 | 2.181019 | -2.054 | 0.360 | -0.469 | -0.142 | 1.006 |
| 5 | 56 | 1466.55 | 0.5658E+00 | 4 | 1.160330 | -1.839 | 0.611 | -0.526 | 0.839 | 0.858 |
| 6 | 70 | 1464.41 | 0.9990E+03 | 18 | 1.952302 | 2.638 | 3.129 | 1.847 | -0.873 | -0.054 |
| 7 | 93 | 1460.91 | 0.5198E+00 | 24 | 1.162969 | -1.100 | -1.078 | -0.912 | 0.096 | 0.716 |
| 8 | 101 | 1459.69 | 0.5406E+00 | 7 | 0.915526 | -0.751 | -1.329 | -0.388 | 0.776 | 1.117 |
| 9 | 110 | 1458.32 | 0.4411E+00 | 19 | 1.169152 | -1.707 | -1.382 | 0.008 | -0.042 | -0.141 |
| 10 | 147 | 1457.68 | 0.3762E+00 | 10 | | -1.127 | 2.912 | -0.479 | -0.099 | -0.111 |
| 11 | 157 | 1451.15 | 0.9990E+03 | 18 | 1.305238 | 2.664 | 3.226 | 0.473 | 0.836 | 0.731 |
| 12 | 164 | 1450.09 | 0.9540E+00 | 17 | 1.113688 | -0.521 | 1.642 | 1.314 | 0.087 | 0.852 |
| 13 | 197 | 1445.06 | 0.4683E+00 | 10 | 3.240164 | -3.904 | 0.472 | -0.095 | 0.209 | -0.168 |
| 14 | 209 | 1443.23 | 0.4990E+00 | 13 | 0.653180 | -3.992 | 0.284 | -0.298 | 0.818 | -0.682 |
| 15 | 214 | 1442.47 | 0.6520E+00 | 13 | 1.754140 | -2.767 | -0.388 | -1.040 | 0.442 | -0.578 |
| 16 | 227 | 1440.48 | 0.9990E+03 | 18 | 1.674174 | 0.662 | 3.705 | 0.625 | -0.068 | 0.339 |
| 17 | 245 | 1437.74 | 0.8468E+00 | 10 | 1.435101 | -1.974 | 2.309 | 0.402 | -0.338 | 0.392 |
| 18 | 251 | 1436.83 | 0.9990E+03 | 20 | 2.408956 | 1.858 | 3.040 | 1.076 | 0.383 | 0.756 |
| 19 | 273 | 1433.47 | 0.3886E+00 | 10 | 4.699294 | -0.639 | -2.583 | 0.372 | 0.303 | -0.164 |
| 20 | 303 | 1428.90 | 0.1771E+01 | 10 | 3.053074 | 1.747 | 1.544 | -0.862 | 0.299 | -0.933 |
| 21 | 325 | 1425.55 | 0.6867E+00 | 4 | 1.320209 | -1.633 | 0.884 | 0.941 | -0.898 | 0.516 |
| 22 | 335 | 1424.03 | 0.1582E+01 | 10 | 1.987232 | -0.507 | 1.609 | 0.743 | 1.135 | 0.512 |
| 23 | 346 | 1422.35 | 0.7196E+00 | 4 | 1.152328 | -2.052 | 0.734 | -0.674 | -0.308 | -0.054 |
| 24 | 354 | 1421.13 | 0.4825E+00 | 19 | 1.776616 | -1.490 | -1.086 | 0.650 | -0.020 | -0.063 |
| 25 | 378 | 1417.47 | 0.5928E+00 | 4 | 1.457739 | -1.032 | 1.290 | -0.854 | -0.396 | 0.793 |
| 26 | 386 | 1416.25 | 0.8008E+00 | 4 | 1.725510 | -2.740 | -0.395 | -0.125 | -1.140 | 0.130 |
| 27 | 408 | 1412.90 | 0.6711E+00 | 24 | 1.406988 | -2.382 | -0.117 | 0.706 | 0.203 | 0.349 |
| 28 | 542 | 1397.48 | 0.9990E+03 | 19 | 3.689348 | 0.810 | -0.027 | 1.740 | 0.677 | -1.803 |

Даже если локализованные моды описывают реальность лучше и более объективно (сравните зонированные кривые с необработанными кривыми на рис.5-23), их количество часто оказывается слишком большим, что затрудняет корреляцию с геологическими фациями. Анализируя их близость одна к другой, можно сгруппировать некоторые элементарные моды, чтобы уменьшить количество окончательных электрофаций до величины, близкой к количеству геологических фаций (рис.5-31). Один из методов заключается в том, чтобы найти в многомерном пространстве ячейки с локальной наибольшей частотой (*мод*), а затем построить дендрограмму (dendrogram) подобия мод (рис.5-32).

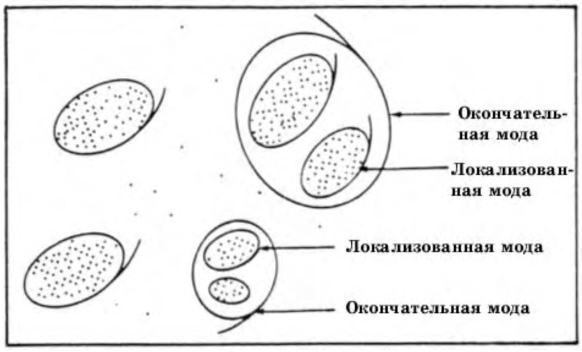



**Рис.5-31. Схемы, объясняющие кластеризацию точек на локализованные моды и окончательные моды.**

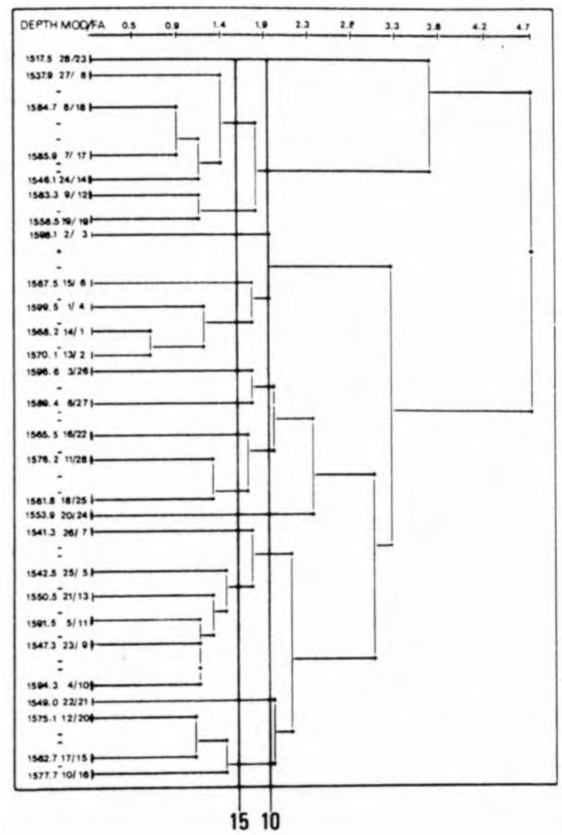



**Рис.5-32. Пример дендрограммы и ее применения для определения окончательных мод.**

Дендрограмма является графическим представлением в трехмерном пространстве расстояния между каждой модой и модой, ближайшей к ней. Этим расстояниям соответствуют величины вдоль оси x на рис.5-32; они дают представление о степени сходства между модами, и могут быть использованы для обоснования группирования мод в окончательные электрофации. Затем выбирается сокращенный список мод, которые используются в качестве начальных точек для алгоритма разбиения, работающего не на гистограмме, а на первоначальных данных.

Методы кластеризации с простой связью для первоначальных данных не использовались из-за количества данных и эффектов образования цепочек. Однако кластеризация непосредственно на постоянных величинах внутри зон дает сокращенный набор данных и хорошо работает. В сущности, это метод сегментации, сопровождаемой кластеризацией.

### **5.3.2.5.** *Анализ основных компонентов*

Фактически, методы кластеризации применяются на кривых, которые выводятся по результатам *анализа основных компонентов* (Principal Component Analysis – PCA).

Как отмечалось выше, каждая кривая, в различной степени подвергается воздействию геологических параметров породы. Объединяя несколько кривых, мы автоматически получаем определенную избыточность геологической информации, что весьма полезно для взаимной проверки качества данных. Целью анализа основных компонентов является исследование корреляций между различными данными, уменьшение количества переменных n до меньшей величины m, за счет удаления незначащих компонентов.

Анализ основных компонентов (PCA) представляет собой статистическое исследование данных ГИС в определенном интервале. Отыскивая корреляции между промыслово-геофизическими параметрами (Таблицы 5-2 и 5-3), PCA заменяет n измеренных параметров (или n кривых, таких как IL, SP, FDC, CNL, GR и т.д.) n других некоррелированных параметров (или n кривых PC). Фактически, это приводит к изменению осей координат (рис.5-33). Показания n кривых на данной глубине могут рассматриваться как координаты точки, соответствующей глубине, в n-мерном пространстве.

Таблица 5-2

*Статистический анализ данных ГИС*

| 1 LOG NAME | MEAN | 2 STND DEV | 3 RANGE | 4 MINIMUM | 5 MAXIMUM | 6 WEIGHT |
|---|---|---|---|---|---|---|
| GR | 60.0135 | 21.4679 | 85.8293 | 24.9209 | 110.7502 | 2.000 |
| NPHI | 0.3261 | 0.0739 | 0.3139 | 0.1726 | 0.4866 | 1.500 |
| RHOB | 2.3779 | 0.0931 | 0.4560 | 2.1101 | 2.5661 | 1.500 |
| DT | 100.7467 | 18.3361 | 72.5640 | 74.3620 | 146.9260 | 1.000 |
| VAR | 1.9771 | 1.0760 | 6.1961 | 0.1098 | 6.3059 | 0.350 |
| FRF | 3.7840 | 1.5030 | 8.2500 | 0.2500 | 8.5000 | 0.350 |
| RAL | 47.0103 | 14.2632 | 79.8874 | 9.6154 | 89.5028 | 0.600 |
| SHA | 2.9793 | 1.2170 | 8.4376 | 0.2996 | 8.7372 | 0.350 |
| ALT | 6.6620 | 3.0032 | 21.9180 | 2.8018 | 24.7199 | 0.350 |

(1- имя кривой; 2- стандартное отклонение; 3- диапазон; 4- минимум; 5- максимум; 6- вес)

Таблица 5-3

*Корреляционная матрица данных ГИС*

| LOG NAME | GR | NPHI | RHOB | DT | VAR | FRE | BAL | SHA | ALT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR | 1.000 | 0.679 | -0.198 | 0.740 | -0.106 | -0.125 | -0.055 | -0.036 | 0.056 |
| NPHI | 0.679 | 1.000 | -0.614 | 0.925 | -0.296 | -0.250 | -0.232 | -0.308 | 0.156 |
| RHOB | -0.198 | -0.614 | 1.000 | -0.567 | 0.323 | 0.242 | 0.211 | 0.417 | -0.182 |
| DT | 0.740 | 0.925 | -0.567 | 1.000 | -0.311 | -0.263 | -0.309 | -0.296 | 0.132 |
| VAR | -0.106 | -0.296 | 0.323 | -0.311 | 1.000 | 0.908 | 0.100 | 0.826 | -0.354 |
| FRE | -0.125 | -0.250 | 0.242 | -0.263 | 0.908 | 1.000 | 0.053 | 0.729 | -0.477 |
| BAL | -0.055 | -0.232 | 0.211 | -0.309 | 0.100 | 0.053 | 1.000 | 0.144 | -0.063 |
| SHA | -0.036 | -0.308 | 0.417 | -0.296 | 0.826 | 0.729 | 0.144 | 1.000 | -0.399 |
| ALT | 0.056 | 0.156 | -0.182 | 0.132 | -0.354 | -0.477 | -0.063 | -0.399 | 1.000 |

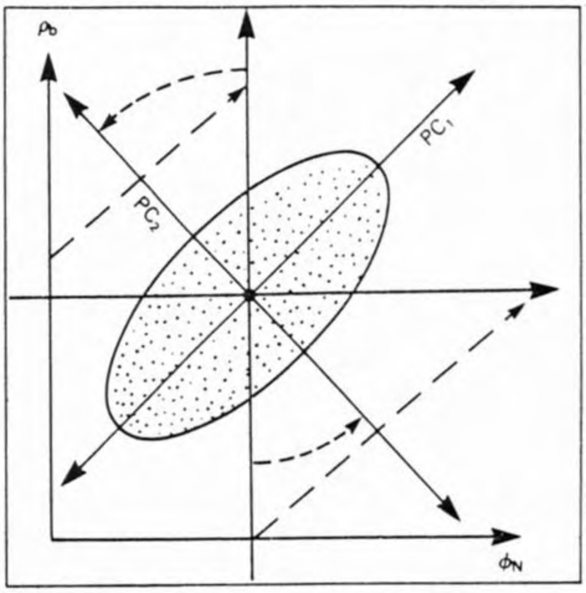



**Рис.5-33. Анализ основных компонентов соответствует изменению осей.**

В данном интервале, результаты всех измерений или уровни (или наборы данных) определяют скопление в n-мерном пространстве.

Это n-мерное скопление может быть описано множеством осей. PCA определяет основную ось инерции. Если все точки данных имеют одинаковый вес, первая ось инерции (или PC 1) будет выровнена согласно направлению максимальной длины. Другими словами, первая ось – это ось, которая имеет наибольшую изменчивость. Вторая ось (или PC 2) ориентирована в перпендикулярном направлении, и т.д. Корреляция между PC 1,…,PC n отсутствует, поэтому их применение устраняет избыточность между, первоначальными кривыми и допускает изоляцию элементарных эффектов. Количество первоначальной информации, которую содержит каждая ось PC уменьшается от PC 1 до PC n (Таблица 5-4). Когда взято n осей, общее количество информации, содержащейся в первоначальном наборе кривых, восстанавливается. Оси PC высокого порядка содержат мало информации, которая в ряде случаев может рассматриваться как помехи, и мы можем удалить их при дальнейшей обработке. Это соответствует фильтрации и уменьшает количество учитываемых параметров (степень многомерности скопления снижается от n до m, где m<n).

Таблица 5-4

*Оценка основных осей и ранга количеством первоначальной информации*

| AXIS 1 | 2 INERTIA CARRIED | 3 IN PERCENTAGE | 4 CUMULATED PERCENTAGE | NOISE RATIO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.6688D+01 | 64.617 | 64.617 | -1.003 |
| 2 | 0.2312D+01 | 22.341 | 86.958 | -2.552 |
| 3 | 0.5081D+00 | 4.909 | 91.867 | -7.457 |
| 4 | 0.3224D+00 | 3.115 | 94.982 | -0.208 |
| 5 | 0.2992D+00 | 2.891 | 97.873 | -0.387 |
| 6 | 0.1008D+00 | 0.974 | 98.847 | -2.965 |
| 7 | 0.8140D-01 | 0.786 | 99.634 | -3.605 |
| 8 | 0.3045D-01 | 0.294 | 99.928 | 3.223 |
| 9 | 0.7478D-02 | 0.072 | 100.000 | 14.320 |

(1- ось; 2- переносимая инерция; 3- в процентах; 4- накопленная величина в процентах)

Но если отклонения, наблюдаемые на оси PC высокого порядка, соответствуют событиям, которые имеются на одной кривой и отсутствуют на других кривых, они не могут рассматриваться как помехи. Например, органическое вещество выявляется только по содержанию урана, измеренному прибором NGT.

Распределение информации, переносимой данной кривой между кривыми PC, может быть представлено гистограммами (рис.5-34). В то же время, обеспечивается корреляция между кривыми и PC (Таблица 5-5). Это помогает понять, какой, в сущности, тип информации представлен данной кривой PC.

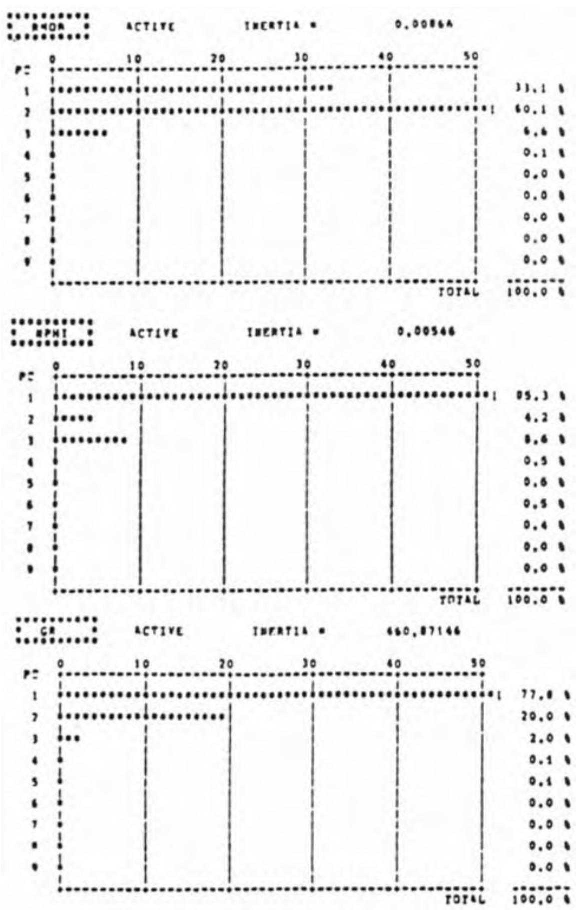


**Рис.5-34. Гистограммы, иллюстрирующие вклад основных компонентов в восстановление кривых.**

После того, как по множеству «активных» кривых рассчитаны основные оси инерции, можно также спроецировать на эти оси другие кривые (в т.ч. «пассивные»). Таким образом, появляется возможность определить, какая часть пассивных кривых может быть объяснена информацией, содержащейся во множестве активных кривых, и в какой степени пассивные кривые связаны с каждой кривой PC.

Кривые PC не несут дополнительной информации; это другой способ представления существенной информации, содержащейся в первоначальных кривых. Данная методика упрощает разбиение на группы (кластеризацию), причем теряется лишь незначительная часть информации (или вообще не теряется). Следовательно, после анализа основных компонентов стандартных кривых выбирается сокращенный набор основных компонентов (кривых). Кривые PC могут быть построены в виде диаграмм ГИС (рис.5-35).

Таблица 5-5

*Корреляции между диаграммами ГИС и основными компонентами*

| LOG NAME | WEIGHT | PC 1 | PC 2 | PC 3 | PC 4 | PC 5 | PC 6 | PC 7 | PC 8 | PC 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR | 2.000 | 0.882 | 0.447 | 0.142 | 0.033 | 0.025 | 0.008 | 0.010 | 0.002 | 0.000 |
| NPHI | 1.500 | 0.924 | -0.205 | -0.293 | -0.070 | -0.073 | 0.072 | 0.061 | -0.002 | 0.000 |
| RHOB | 1.500 | -0.575 | 0.775 | -0.258 | -0.030 | 0.017 | -0.002 | -0.002 | 0.004 | 0.000 |
| DT | 1.000 | 0.934 | -0.110 | -0.207 | -0.053 | -0.012 | -0.193 | -0.181 | 0.001 | -0.002 |
| VAR | 0.350 | -0.269 | 0.284 | 0.125 | 0.213 | -0.820 | 0.188 | -0.186 | 0.094 | -0.196 |
| FRF | 0.350 | -0.241 | 0.194 | 0.103 | 0.238 | -0.854 | 0.048 | -0.092 | 0.272 | 0.148 |
| BAL | 0.600 | -0.182 | 0.211 | 0.319 | -0.890 | -0.169 | 0.000 | -0.006 | 0.007 | 0.001 |
| SHA | 0.350 | -0.251 | 0.412 | 0.110 | 0.164 | -0.729 | 0.095 | -0.141 | -0.406 | 0.058 |
| ALT | 0.350 | 0.141 | -0.161 | -0.043 | -0.117 | 0.547 | 0.613 | -0.513 | 0.021 | 0.031 |

Определение осей основывается на распределении скопления, которое будет зависеть от веса, присвоенного каждой точке данных. Следовательно, если мы хотим отдать приоритет минералогии, мы можем присвоить больший вес тем кривым, которые более чувствительны к составу (приборы NGT, LDT, GST, ACT). Произойдет усиление отклонения параметров, измеренных этими приборами, а вес, присвоенный кривым, чувствительным к пористости и насыщенности (FDC, CNL, LL, IL…), уменьшится. Это ослабляет отклонения параметров, полученных по кривым, упомянутым последними.

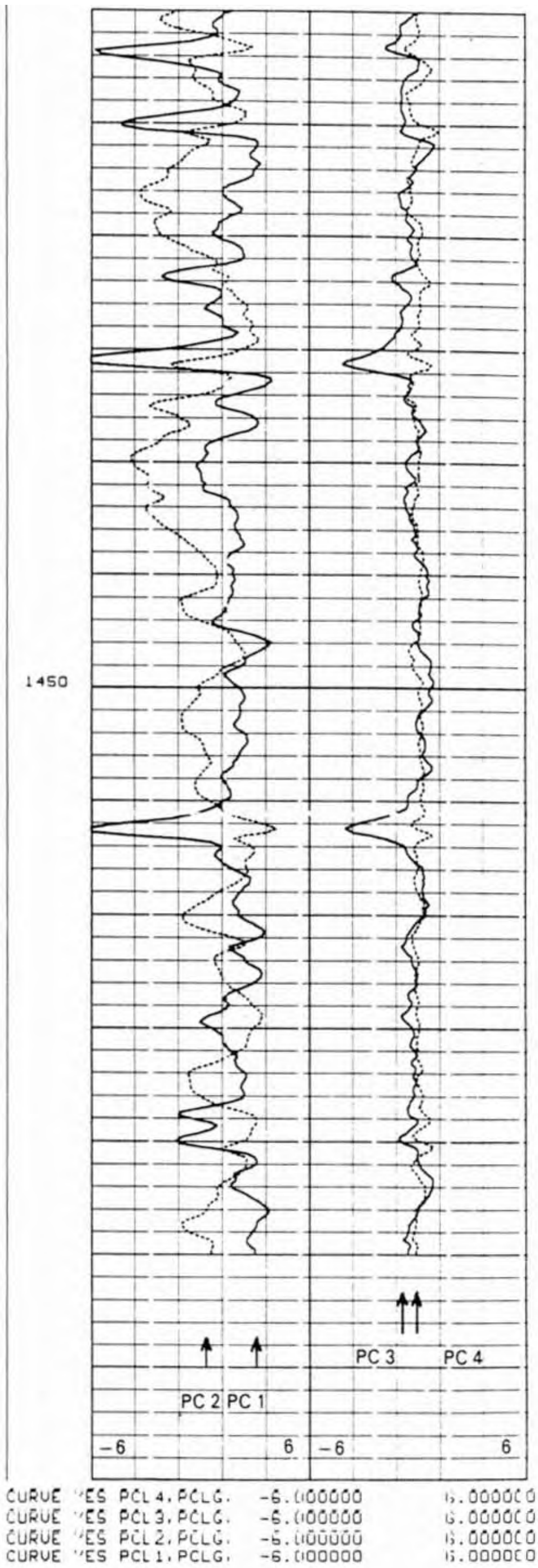



**Рис.5-35. Пример кривых PC.**

Результатом того и другого подхода является воздействие уровня выборки каждой кривой на одну электрофацию. На рис.5-19 показаны результаты, полученные с помощью методики разбиения. Электрофации закодированы произвольно, в виде чисел от 0 до 20. Вполне очевидно, что мы ожидаем повторного появления n-ной электрофации, когда описание керна указывает на повторение типа литофации. Используя представление на рис.5-19, можно легко выполнить распределение электрофаций в литофации. Например, электрофация No 7 соответствует чистому песку, а электрофация No 5 представляет собой известняк. Электрофация No 12 повторяется несколько раз, соответствуя интервалам глинистого сланца.

Показано соответствие с керновыми данными, а также «ступенчатое» представление для некоторых электрофаций (No 5,6,7,8,12). Если посмотреть на «ступень», соответствующую No 12, можно видеть изменение нескольких кривых в широких пределах. Кроме того, результаты GEO-DIP, показанные справа, свидетельствуют о различных типах отклика в электрофации No 12. Ее можно подразделить, установив субфации в зонах глинистого сланца.

На рис.5-36 можно видеть результат прямой кластеризации значений зоны. В этом случае, критерий, используемый в программе автоматического зонирования, был ослаблен. В результате получились более длинные зоны (и, следовательно, в меньшем количестве), чем на рис.5-19. Дендрограмма показывает «семейства» зоны, сгруппированные на основе их сходств и различаемые с помощью уровня отсечки. Каждому из этих семейств присваивается номер электрофации (см. соответствующую колонку). Сразу можно отметить, что этот метод дает четыре различных типа глинистого сланца и три типа глинистого песка. При более детальном определении керна, мы, вероятно, увидим различия в составе каждого из этих глинистых сланцев или глинистых песков. Основные слои мергеля, песка и известняка такие, как показано на рис.5-19.

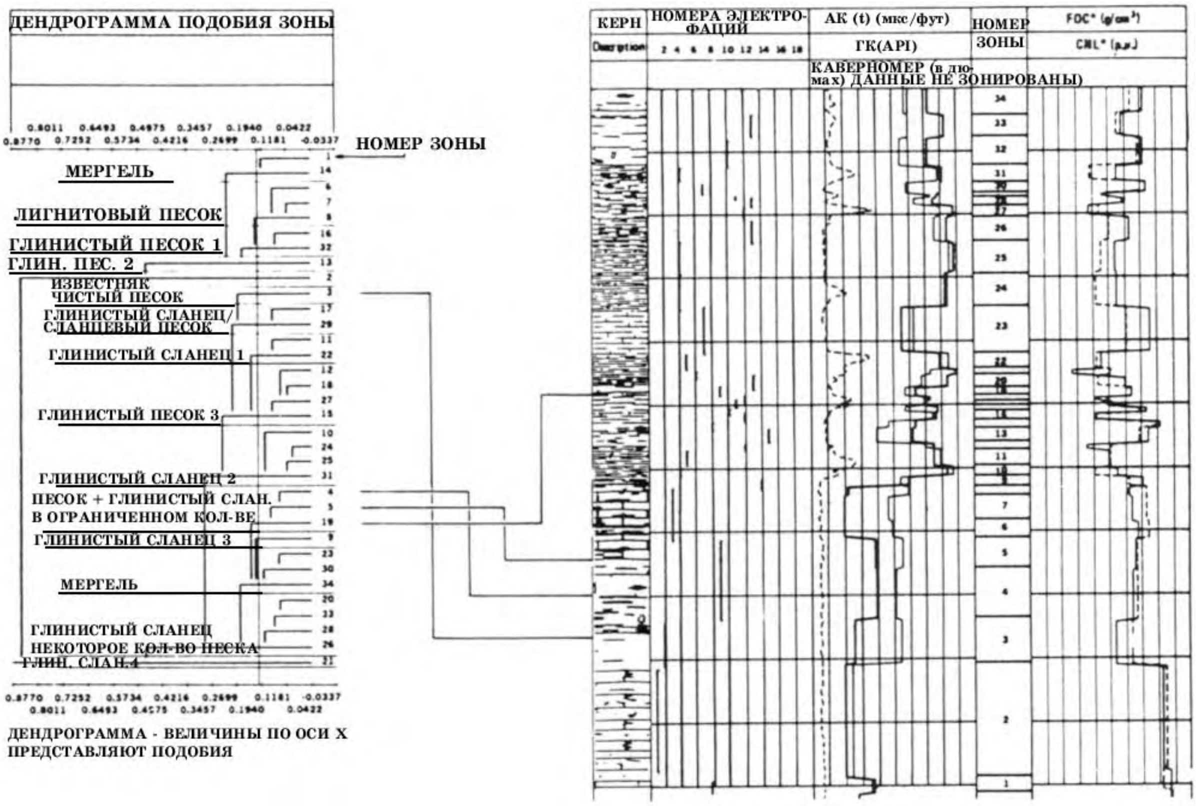


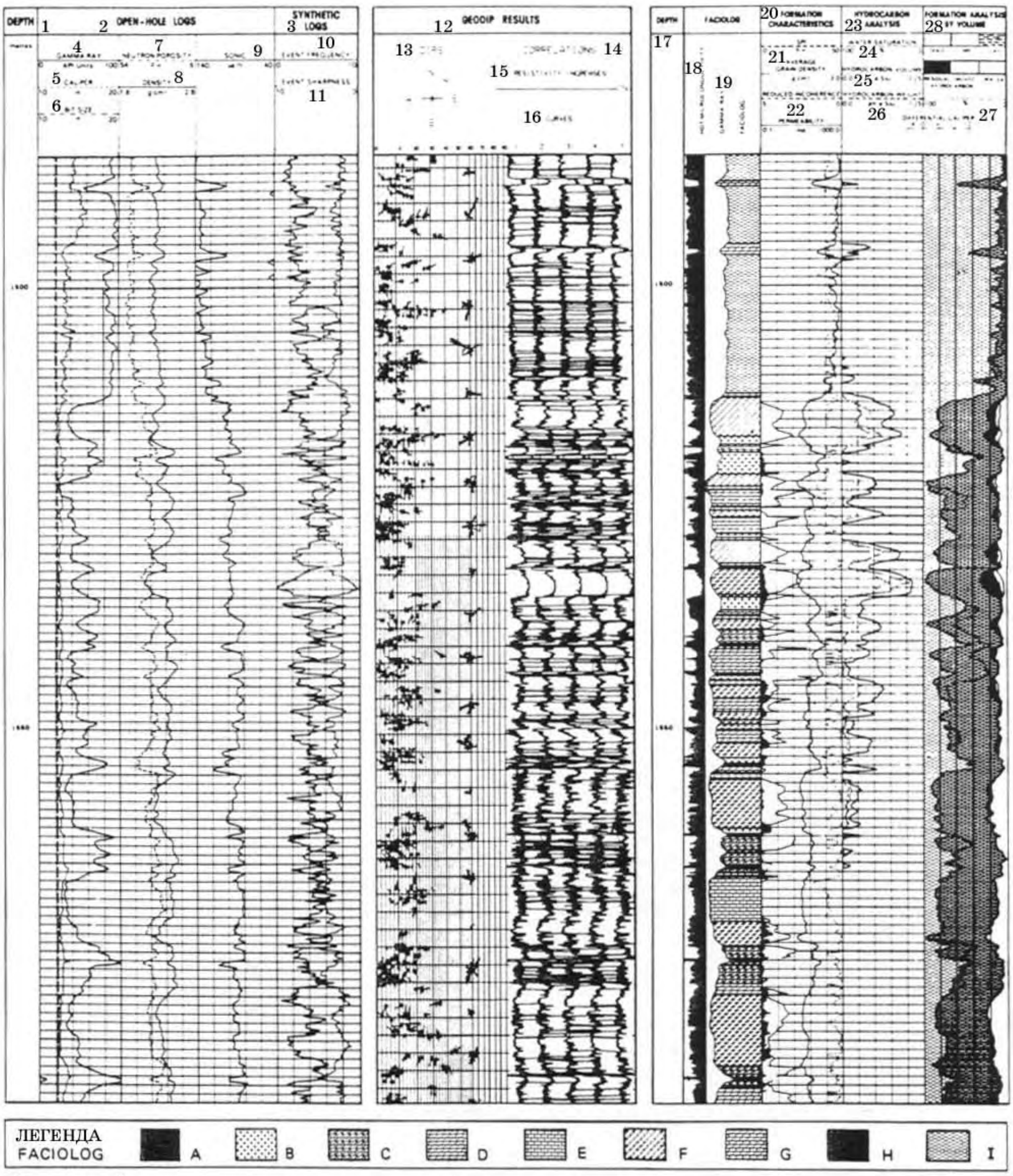

**Рис.5-36. Прямая кластеризация значений зоны (из Serra и Abbott, 1980).**

Пример анализа электрофаций в карбонатах можно видеть на рис.5-37. Сделан окончательный выбор девяти электрофаций. Наложение возведенных в квадрат значений, полученных по эти девяти окончательным модам, на действительные кривые (рис.5-38), дает хороший показатель качества выбора окончательных электрофаций. Девять выбранных электрофаций позволяют получить адекватное описание основных геологических фаций в этом интервале. Одновременно, репрезентативные средние величины параметров, характеризующих каждую окончательную электрофацию, воспроизведены в форме списка (Таблица 5-6).

На этой стадии, необходимо сделать следующие замечания:

- не рекомендуется пытаться получить любой ценой такое же количество электрофаций, которое определяет геолог на керне в результате фациального анализа. Даже если каротажные приборы «заменяют глаза», они не могут «видеть» формации так, как видит их геолог. Приборы не реагируют на параметры, которые воспринимают глаза геолога. Чтобы определить фацию, он часто «фильтрует» имеющуюся информацию, и полагается на чувство, которое основывается на таких данных как состав, цвет, определенные элементы структуры и, чаще, особенности отложений и фаунистические ассоциации. Геолог обращает мало внимания на точное относительное содержание каждого минерала или элемента, поскольку оно исследуется на выбранных образцах, и может заметно изменяться от точки к точке. Он редко пористость и никогда не включает флюиды. Большинство приборов чувствительно к незначительным изменениям в составе, что не может быть легко обнаружено на керне, за исключением весьма детального и дорогостоящего анализа.

- Целью анализа электрофаций является описание формаций по сигналам приборов. Если мы хотим быть точными и объективными, необходимо, чтобы электрофации отражали, прежде всего, параметры кривых. Для этого на необработанные данные накладываются средние значения, определенные для каждой электрофации (рис.5-38).
- Необходимо, чтобы геолог знал эту новую концепцию и был обучен применению результатов этого нового метода анализа формации. Необходимо также, чтобы он умел извлекать выгоду из таких преимуществ нового метода как объективность, быстрота, представление в количественном виде, точность и тонкость. Однако, сохраняя детальность, обеспечиваемую анализом электрофаций, геолог может объединить в группу несколько электрофаций, определив для них один оттенок, который представляет одну литофацию.
- Как упоминалось выше, геолог может присвоить больший вес тем данным ГИС, которые особенно чувствительны к литологическим параметрам, или к особенностям отложений.
- Предположим, что пласты очень тонкие, сравнительно с вертикальной разрешающей способностью приборов, или серии сложены в основном тонкими последовательностями (например, турбидиты, удаленные от берега, темпеститы (tempestites)). В этом случае, большинство приборов, предназначенных для работы в необсаженных скважинах, не распознают электрофации каждого пласта, или каждую единицу последовательности. Тогда компьютерная обработка определит электрофацию, соответствующую среднему отклику, в котором объединено влияние двух или пластов и, следовательно, фаций. Эта электрофация не даст точного представления о реальной фации. Поэтому здесь необходимо использовать приборы с более высокой разрешающей способностью (наклономеры, EPT), и объединять результаты, полученные при обработке данных программами LITHO и SYNDIP. Этот позволяет преобразовывать кривые сопротивления наклономера в термины литологии и текстуры (рис.5-39), анализируя гистограммы сопротивления наклономера (рис.5-40) и характер событий на кривых.




A = углистый сланец

B = нодулярный слоистый глинистый сланец

C = доломитовый аргиллит

D = отложения от пакстона до ваккита с распространенными окатанными водорослями

E = отложения от пакстона до ваккита с высоким содержанием фораминифер

F = отложения от пакстона до ваккита с высоким содержанием крупных фораминифер

G = отложения от биокластического аргиллита до ваккита

H = отложения от пакстона до ваккита с высоким содержанием биокластов

I = верхний глинистый сланец, известковистый

**Рис.5-37. Диаграммы ГИС в необсаженной скважине, результаты GEODIP и FACIOLOG, и оценка скважины с помощью программы GLOBAL (из Schlumberger Well Evaluation Conference, India, 1983).** (1,17- глубина (в метрах); 2- диаграммы в необсаженной скважине; 3- синтетические кривые; 4- ГК (ед. API); 5- каверномер (в дюймах); 6- размер долота (в дюймах); 7- пористость по нейтронному каротажу; 8- плотность (г/см$^3$); 9- АК (мкс/фут); 10- частота события; 11- резкость события; 12- результаты GEODIP; 13- наклоны; 14- корреляции; 15- сопротивление возрастает; 16- кривые; 18- диаграмма микрокаротажа HDT; 19- ГК; 20- характеристики пласта; 21- средняя плотность зерен (г/см$^3$); 22- проницаемость (мД); 23- анализ углеводородов; 24- водонасыщенность; 25- объем углеводородов; 26- вес углеводородов; 27- дифференциальный каверномер; 28- анализ пласта по объему)

Таблица 5-6

*Список средних величин параметров, характеризующих каждую окончательную моду или электрофацию.*

| FACIES | PC1 | PAF4 | GR GAPI | NPHI PU | RHOB G/C3 | DT US/F | VAR | FRE | BAL | SHA | ALT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -3.407 | 6.887 | 33.785 | 24.328 | 2.469 | 84.175 | 2.771 | 5.067 | 41.648 | 3.759 | 5.228 |
| 2 | -3.704 | 1.583 | 48.112 | 19.519 | 2.542 | 75.925 | 2.308 | 3.750 | 63.289 | 3.627 | 5.830 |
| 3 | -2.167 | 16.821 | 45.792 | 27.526 | 2.461 | 87.531 | 1.729 | 3.230 | 50.698 | 2.722 | 6.678 |
| 4 | -0.992 | 11.259 | 67.670 | 27.281 | 2.491 | 87.929 | 2.418 | 4.393 | 54.530 | 4.107 | 4.922 |
| 5 | -1.156 | 29.801 | 41.152 | 30.770 | 2.309 | 93.075 | 1.616 | 3.581 | 43.311 | 2.338 | 6.802 |
| 6 | 0.933 | 7.020 | 70.530 | 37.164 | 2.423 | 101.593 | 2.627 | 4.194 | 37.255 | 3.825 | 5.831 |
| 7 | 1.747 | 2.649 | 80.276 | 39.906 | 2.429 | 100.284 | 4.094 | 5.500 | 41.979 | 4.936 | 5.523 |

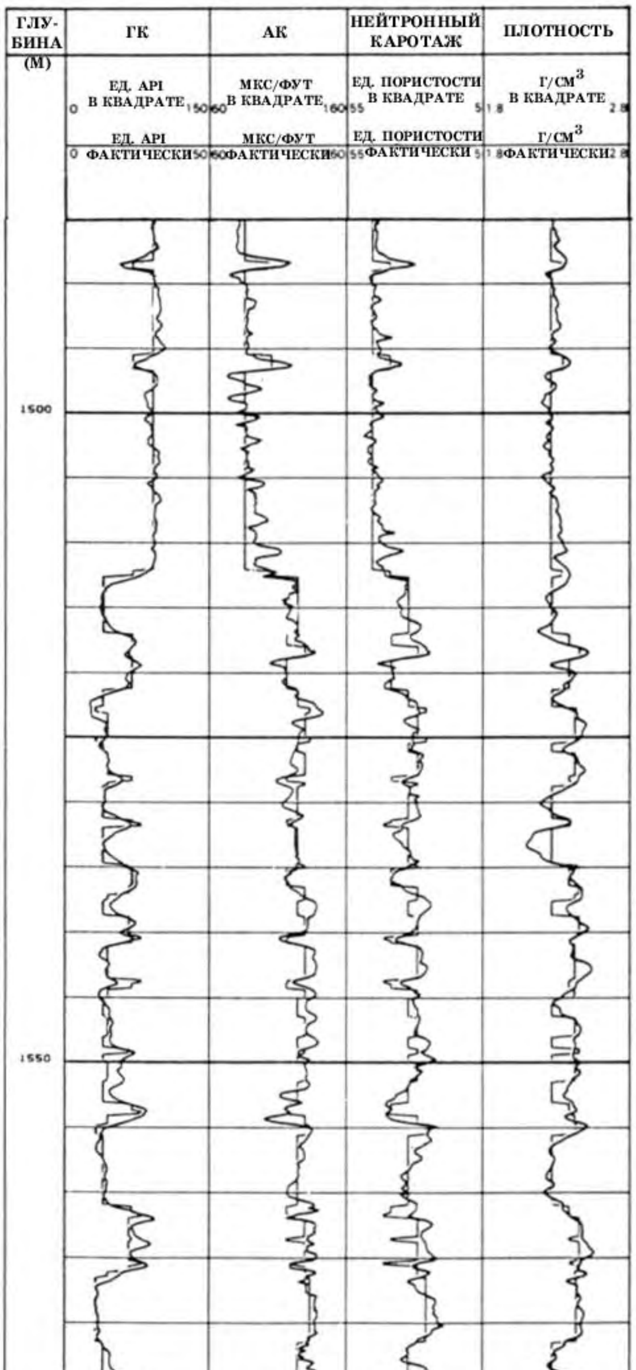



**Рис.5-38. Окончательные моды или электрофации: осредненные диаграммы ГИС, возведенные в квадрат, наложенные на действительные диаграммы (из Schlumberger Well Evaluation Conference, India, 1983).**

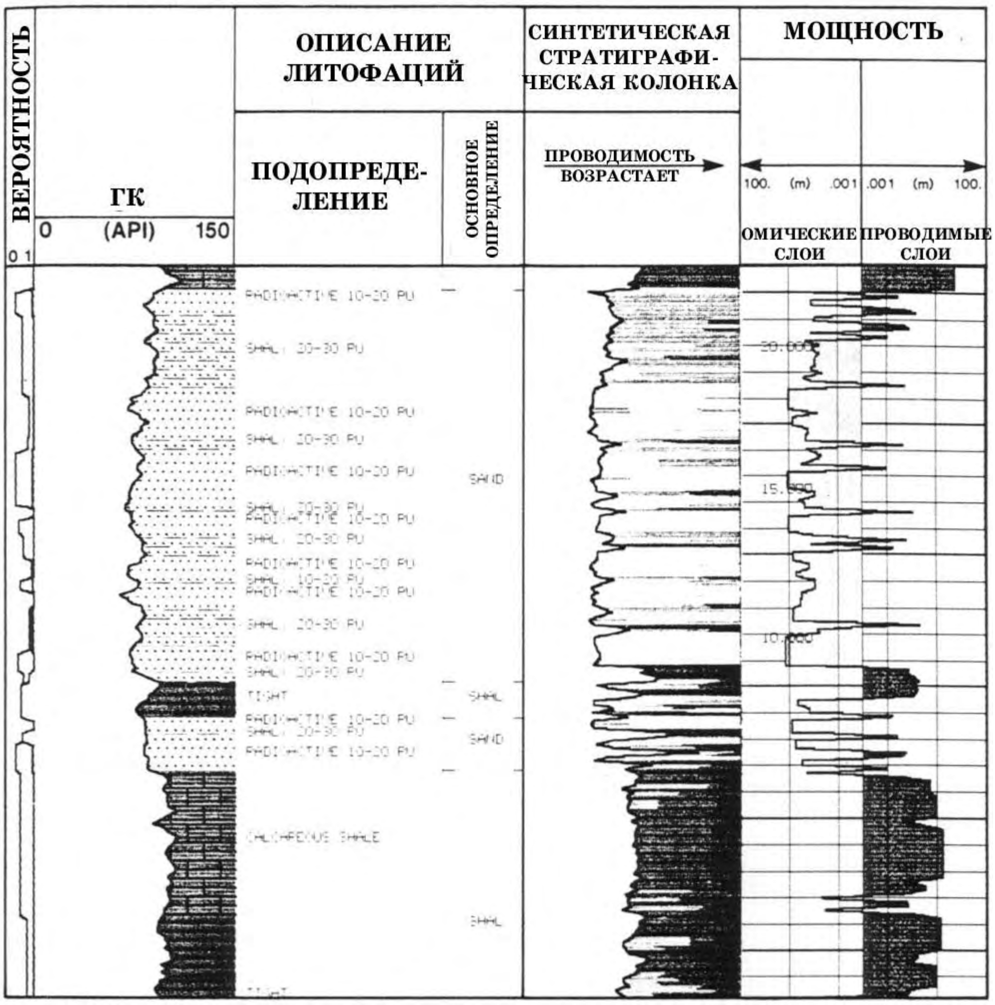



Рис.5-39. Пример литологической интерпретации кривых сопротивления наклономера путем сочетания результатов LITHO и SYNDIP.

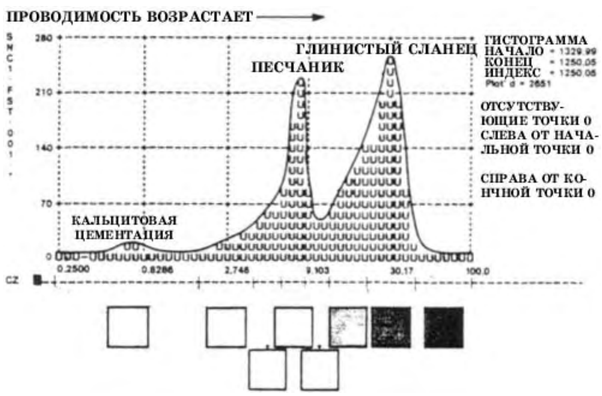



Рис.5-40. Пример гистограммы сопротивления наклономера и ее преобразования в литологию.

### **5.3.2.6.** *Преобразование электрофаций в фации*

Электрофация представляет собой абстрактное математическое понятие, которое должно быть «переведено» на геологический язык, понятный для геологов и используемый ими. Даже если два подхода весьма сходны, они отличаются языком: набор существительных и качественных прилагательных для описания фации геологом, набор промыслово-геофизических параметров для характеристики фации аналитиком-геофизиком. Чтобы перейти от одного языка к другому, необходимо «свести вместе два словаря». Самый точный метод: два типа анализа располагаются рядом, в одном масштабе, и каждой электрофации придается описательные термины, используемые геологом для характеристики фации. Набору значений кривых, которые характеризуют электрофацию ($\rho_b$, $Ø_N$, $\Delta t$, ГК…) придается набор существительных и прилагательных, описывающих состав, структуру и текстуру соответствующего пласта (например, слюдистый, хорошо сортированный песчаник с известковистым цементом, косослоистый, с пористостью от 18 до 23%, водонасыщенный).

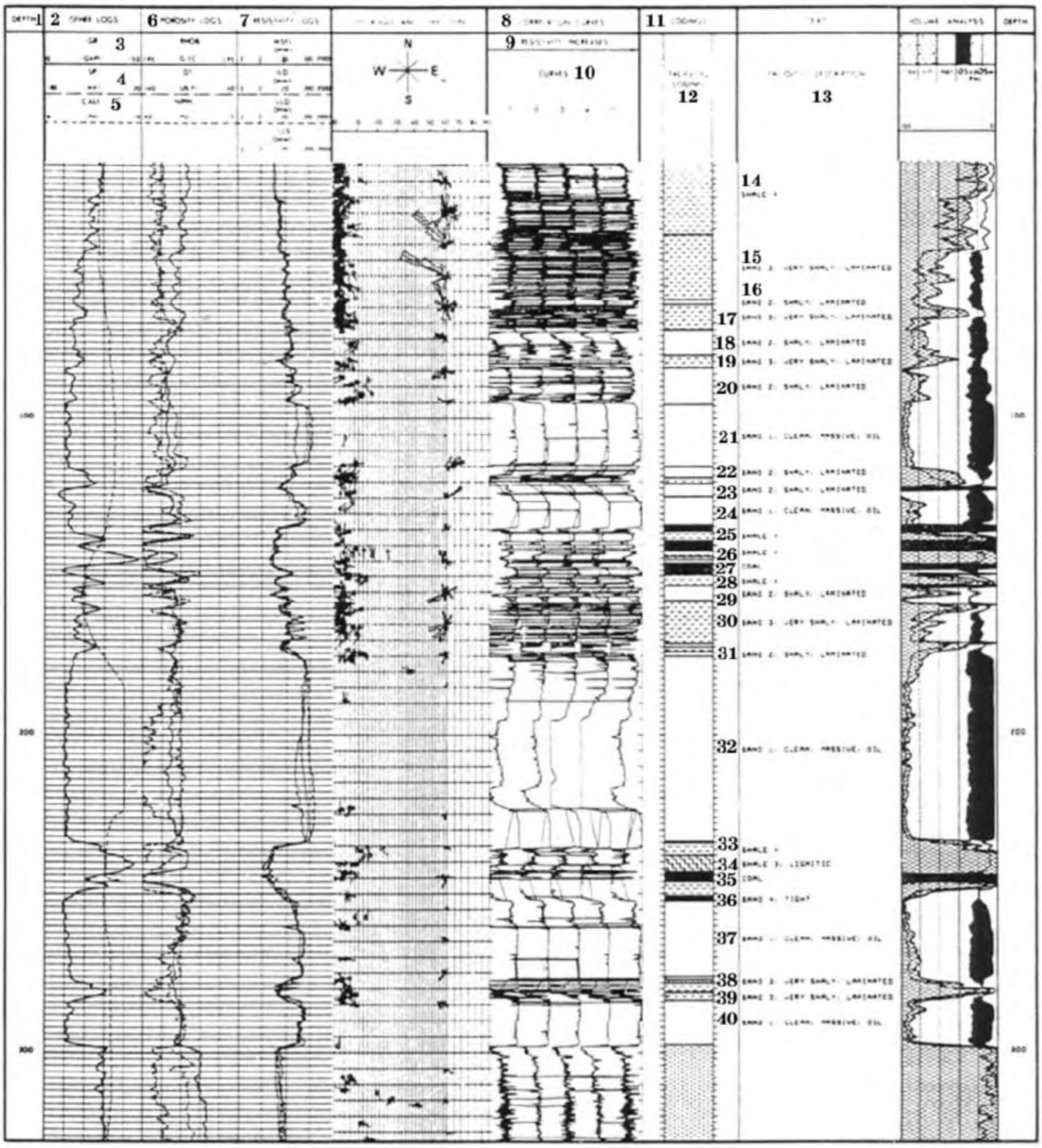



**Рис.5-41. Составное изображение диаграмм в необсаженной скважине, результатов GEODIP, результатов FACIOLOG и результатов GLOBAL.**

(1- глубина; 2- другие методы; 3- ГК; 4- ПС; 5- каверномер; 6-кривые пористости; 7- кривые сопротивления; 8- кривые корреляции; 9- сопротивление возрастает; 10- кривые; 11- кодирование; 12- кодирование FACIOLOG; 13- описание FACIOLOG; 14- глинистый сланец 4; 15- песок 3, сильно глинистый, тонкослоистый; 16- песок 2, глинистый, тонкослоистый; 17- песок 3, сильно глинистый, тонкослоистый; 18- песок 2, глинистый, тонкослоистый; 19- песок 3, сильно глинистый, тонкослоистый; 20- песок 2, глинистый, тонкослоистый; 21- песок 1, чистый, массивный, нефтеносный; 22- песок 2, глинистый, тонкослоистый; 23- песок 2, глинистый, тонкослоистый; 24- песок 1, чистый, массивный, нефтеносный; 25,26,28,33- глинистый сланец 4; 27- уголь; 29- песок 2, глинистый, тонкослоистый; 30- песок 3, сильно глинистый, тонкослоистый; 31- песок 2, глинистый, тонкослоистый; 32- песок 1, чистый, массивный, нефтеносный; 34- глинистый сланец 3, лигнитовый; 35- уголь; 36- песок 4, плотный; 37- песок 1, чистый, массивный, нефтеносный; 38- песок 3, сильно глинистый, тонкослоистый; 39- песок 3, сильно глинистый, тонкослоистый; 40- песок 1, чистый, массивный, нефтеносный)

Иногда данные ГИС распознают электрофацию, которая не была выделена по результатам первого анализа керна. В этом случае, если она не связана с изменением флюида, рекомендуется повторить анализ керна более тщательно, и попытаться объяснить происхождение электрофации (например, присутствием тяжелых радиоактивных минералов, или ураном, который связан с фосфатами или органическим веществом…).

Если в интервале керн не отбирался, мы попытаемся преобразовать электрофацию в фацию, используя методики интерпретации. Для этого сначала нужно определить литологию, а особенности, выделенные в результате анализа данных наклономера, должны быть преобразованы в определения.

Преобразование кривых в необсаженной скважине в литологию получается путем анализа графика взаимной зависимости или с помощью автоматической программы. Программа основана на создании базы данных литофаций, путем сочетания результатов анализа нескольких графиков взаимной зависимости, и преобразования состава пород, образующих литофацию, в сигнал каротажного прибора. Последней такой программой является LITHO, которая описана в Главе 2.

Преобразование данных наклономера в структурную и текстурную информацию рассматривается в Главе 4; его можно выполнить, используя программу SYNDIP, которая описывается в этой же главе.

### **5.3.2.7.** *Представление результатов*

Представление результатов интерпретации программой FACIOLOG должно включать первоначальные кривые, результаты наклонометрии, полученные в ходе обработки данных HDT или SHDT программой GEODIP или LOCDIP, и, по возможности, литологическую колонку, полученную с помощью LITHO, а также изображение результатов SYNDIP (рис.5-41). Таким образом, у нас имеются средства проверки качества анализа электрофаций. Мы можем также добавить результаты количественной интерпретации, предоставленные программой GLOBAL. Можно также наложить на необработанные кривые результаты зонирования, полученные в ходе анализа электрофаций.

## *5.4. АНАЛИЗ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ПО ДАННЫМ ГИС*

Сюда входит, с одной стороны, анализ типа перехода от одной электрофации к другой (постепенный или резкий контакт), и, с другой стороны, расположение электрофаций в вертикальных последовательностях в различных масштабах (элементарные последовательности, мезо- и макропоследовательности).

### 5.4.1. Постепенный переход:

**элементарная последовательность**

Постепенный переход соответствует рампу или элементарному электрокомплексу, выявляемому одновременно на одной, двух или нескольких кривых: чаще всего на кривых ГК, ПС, сопротивления, но иногда на кривых АК, плотностного и нейтронного каротажа.

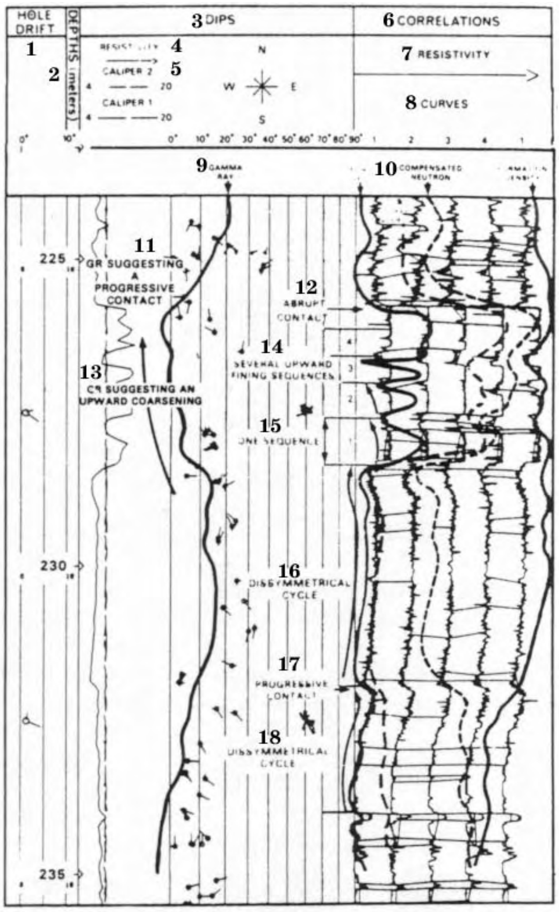



**Рис.5-42. Пример эволюции сопротивления наклономера, которая предполагает тонкие последовательности, характеризующиеся уменьшением размера зерен вверх по разрезу. Это противоречит эволюции, предлагаемой кривой ГК (из Serra, Schlumberger Well Evaluation Conference, Algeria, 1979).**

(1- отклонение скважины; 2- глубина (в метрах); 3- наклоны; 4- сопротивление; 5- каверномер 2; 6- корреляции; 7,8- кривые сопротивления; 9- ГК; 10- диаграмма компенсированного нейтронного каротажа; 11- ГК предполагает постепенный контакт; 12- резкий контакт; 13- ГК предполагает увеличение размера зерен вверх по разрезу; 14- несколько последовательностей, характеризующихся уменьшением размера зерен вверх по разрезу; 15- одна последовательность; 16- несимметричный цикл; 17- постепенный контакт; 18- несимметричный цикл)

*Замечание:*

*Необходимо помнить, что рамп на кривых сопротивления может соответствовать переходу от водоносного коллектора к нефте- или газоносному коллектору и, таким образом, указывать на постепенное изменение насыщения. Если посмотреть на другие кривые, в той или иной степени чувствительные к флюидам (в частности, на кривую ГК), можно отличить этот случай от осадочной последовательности*.

Когда мощность осадочной последовательности не превышает нескольких сантиметров или дециметров, она не выявляется по данным макрозондов. В этом случае, электрокомплексы, как правило, лучше видны на кривых сопротивления наклономера (рис.5-8 и 5-9).

Может оказаться, что, следуя эволюции мощности каждой элементарной последовательности по вертикали, по данным макрозондов можно построить гипотезу о последующей эволюции, которая не согласуется с гипотезой, созданной на основании эволюции кривых сопротивления наклономера (рис.5-42). В этом случае, действительными являются только данные, полученные по наклономеру.

*Замечание:*

*Еще раз напоминаем, что следует быть осторожнее при интерпретации эволюции кривых в случае отклоненных скважин. Фактически, некоторые последовательности являются чисто искусственными. Они могут быть обусловлены влиянием окружающих пластов, которые, по причине ма-*

*лого кажущегося угла между осью скважины и пластами, расположены позади пласта, находящегося непосредственно перед измеряющим прибором (рис.5-43).*

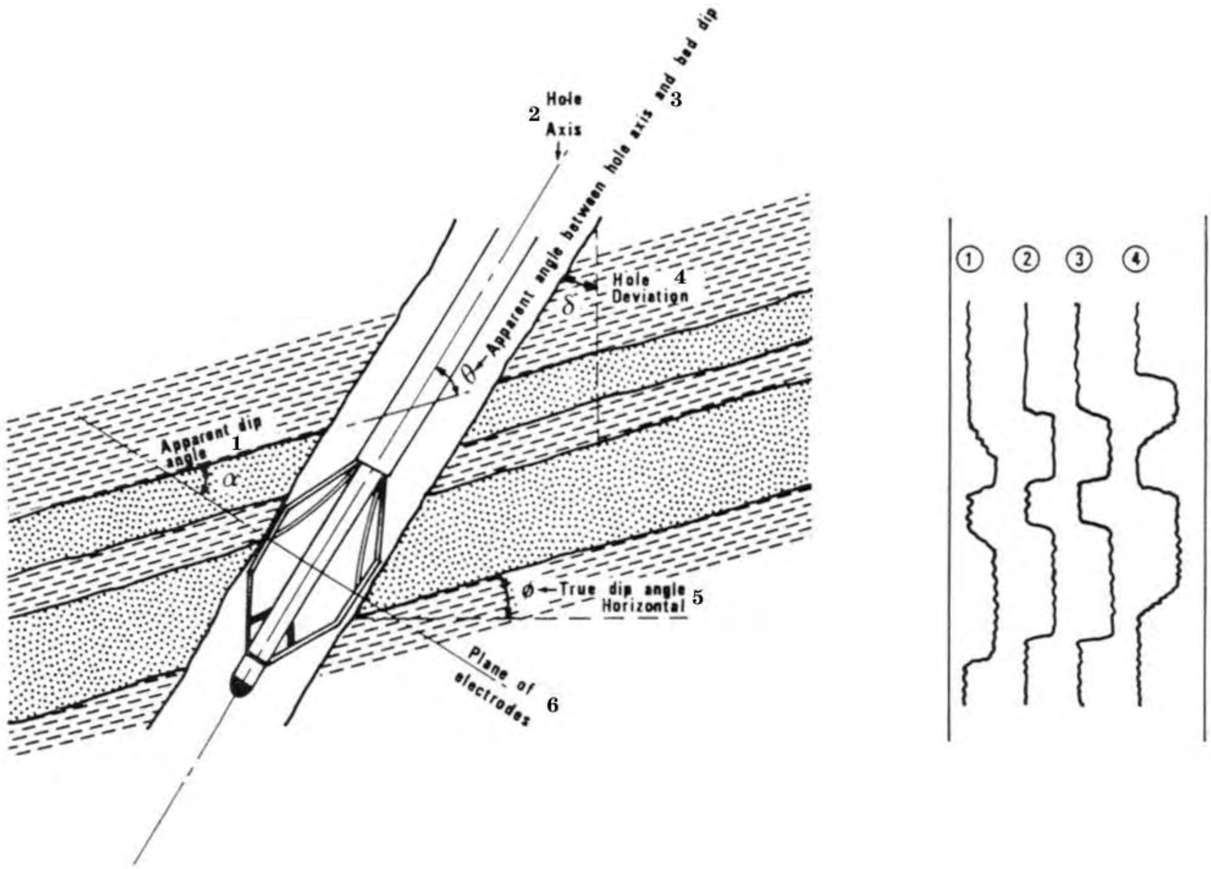



**Рис.5-43. Схема, объясняющая различные эволюции, которые наблюдаются на кривых сопротивления наклономера, относящихся к малому кажущемуся углу между осью скважины и пластами**.
(1- Кажущийся угол падения; 2- Ось скважины; 3- Кажущийся угол между осью скважины и наклонным пластом; 4- Отклонение скважины; 5- Истинный угол наклона к горизонту; 6- Плоскость электропластов)

В терригенных обломочных сериях, элементарные электрокомплексы (сравните с рис.5-8) указывают на эволюцию, как размера зерен, так и литологии: нормальная градационная слоистость (уменьшение размера зерен вверх по разрезу) или обратная градационная слоистость (увеличение размера зерен вверх по разрезу).

В карбонатных сериях, элементарный электрокомплекс чаще указывает на изменение литологии (повышение содержания глинистого сланца или доломита), влияние диагенеза, или, иногда, на структурную эволюцию (переход от грейнстона или пакстона к ваккиту или аргиллиту, рис.5-44).

### 5.4.2. Резкий контакт

Такой контакт соответствует резкому и значительному изменению показаний, наблюдаемых на одной и той же глубине, на одной кривой (чаще одновременно на нескольких кривых). Для интерпретации резкого контакта требуется исследование взаимоотношения между электрофациями. По результатам этого анализа можно определить последовательности или электрофации, или значимость изменения: переход от одной единицы последовательности к следующей, или перерыв в седиментологической последовательности, или разлом, или несогласие и т.д. Например, если резкое изменение соответствует переходу от ангидрита к галиту, оно отражает лишь естественную эволюцию внутри эвапоритового комплекса от обстановки менее ограниченной к более ограниченной.

Напротив, резкая смена глинистого сланца до песка, или песка до известняка, может указывать на фундаментальное изменение последовательности осадконакопления. Она отмечает начало нового цикла осадконакопления после перерыва или эрозии, даже если и не соответствует неплоскостной поверхности по данным наклономера (волнистый символ на изображении LOCDIP, расчет четырех наклонов на изображении GEODIP).

Наконец, резкое изменение может быть связано с разломом или с несогласием, которое соединяет две породы с различными свойствами. Интерпретация данных наклономера, в общем случае, позволяет распознавать такие явления (см. Главы 13 и 14), и, следовательно, определять происхождение этого резкого изменения.

### 5.4.3. Последовательности электрофаций

Электрофации, также как и фации, располагаются одна относительно другой не случайным образом (исключение составляют тектонические процессы, несогласия, эрозия или периоды отсутствия осадконакопления.

Как мы видели выше, некоторые графики взаимной зависимости непосредственно указывают на последовательности электрофаций. Rider и Laurier (1979) использовали эту методику для характеристики дельтовых комплексов. Они представили каротажные сигналы для идеального осадочного цикла (рис.5-11), который состоит из перехода от глинистого сланца к песку, со случайными отложениями угля. Их метод использует положение каждой фации на графиках взаимной зависимости (рис.5-10).

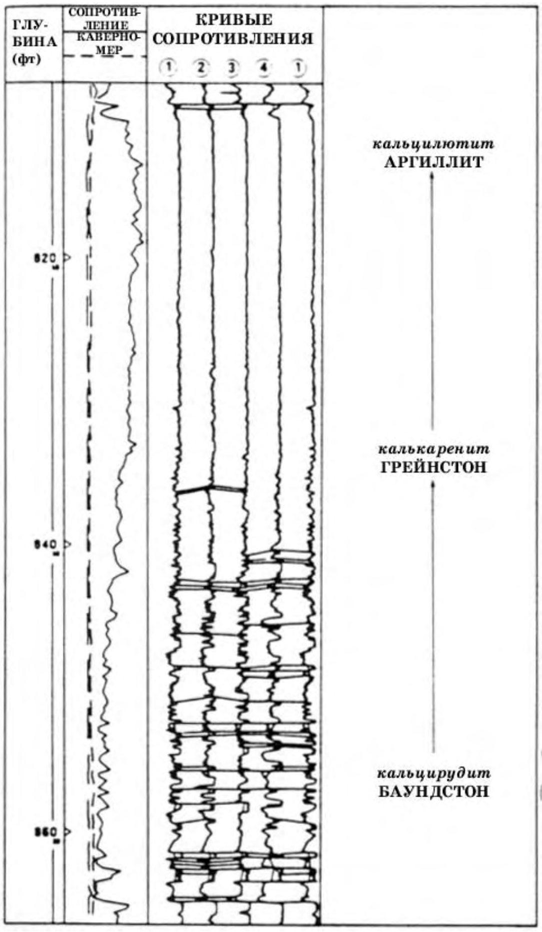



**Рис.5-44. Пример структурной эволюции в известняке. Проследите общий тренд на осредненной кривой пористости слева.**

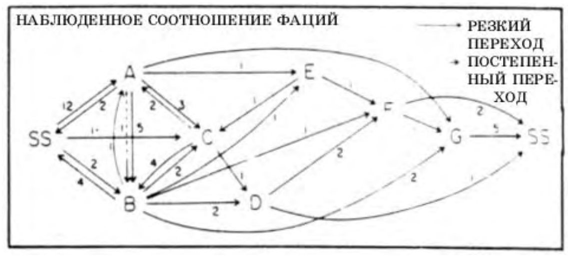



**Рис.5-45. Пример диаграммы соотношения фаций, показывающий наблюденное количество резких и постепенных переходов между фациями (из Walker, 1979). SS = размытая поверхность; A = плохо определенная корытообразная косая слоистость; B = хорошо определенная косая слоистость; C = крупномасштабная плоскостная пластинчатая косая слоистость; D = мелкомасштабная плоскостная пластинчатая косая слоистость; E = изолированные размывы; F = тонкозернистые песчаники и глинистые сланцы с корытообразной косой тонкой слоистостью; G = пологая стратификация.**

Но, несомненно, лучшим и самым точным методом будет анализ их расположения вероятностными методами. После определения электрофаций, можно исследовать их вертикальную организацию, в соответствии с методом, предложенным Raaf *и др*. (1965). Если применить процедуру, предложенную Selley (1970), можно представить последовательность электрофаций в виде диаграммы, напоминающей паутину. Пример того, что сейчас упоминается под названием «диаграмма соотношения фаций» (Facies Relationship Diagram – FRD), приведен на рис.5-45. На этой диаграмме, вероятность перехода от одной фации к другой, как это наблюдается в скважине, показана пронумерованными стрелками.

Для того чтобы построить FRD, программа представляет в виде таблицы разностную матрицу (вероятность наблюденного перехода минус вероятность случайного перехода), как показано в Таблице 5-7. Вероятность наблюденного перехода представляет собой преобразованное в вероятность количество переходов, наблюденных в скважине, от одной электрофации к другой. Вероятность случайного перехода получается в предположении, что все переходы от фации к фации являются случайными и зависят только от абсолютной распространенности различных электрофаций. Разность этих двух вероятностей дает разностную матрицу. Следует отметить, что некоторые величины являются большими положительными (переходы имеют место намного чаще, чем при случайном характере электрофаций), а некоторые – большими отрицательными (переходы имеют место намного реже, чем при случайном характере электрофаций). Последняя строка дает полное количество появлений определенной фации (например, фация H наблюдается только один раз).

Таблица 5-7

*Разности между вероятностями наблюденного и случайного перехода для скважины на рис.5-37*
(из Serra, Schlumberger Well Evaluation Conference, India, 1983).

| ФАЦИИ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | *** | 18 | 39 | -20 | -2 | -18 | -15 |
| 2 | -8 | *** | -19 | -19 | -20 | -17 | 85 |
| 3 | -1 | -1 | *** | 9 | 0 | 3 | -9 |
| 4 | -9 | -1 | -23 | *** | 16 | 11 | 7 |
| 5 | 15 | -2 | 26 | -15 | *** | -13 | -9 |
| 6 | -9 | -1 | -13 | 4 | 11 | *** | 9 |
| 7 | -9 | -1 | 0 | 22 | -24 | 12 | *** |
| ПОДСЧЕТ | 5 | 1 | 12 | 12 | 13 | 11 | 9 |

*Замечание:*

*Согласно Walker (1984), данный метод является статистически некорректным. Он предлагает использовать более сложные методы анализа марковских цепей.*

Интерпретация FRD предполагает цикл осадконакопления, представленный на рис.5-46.

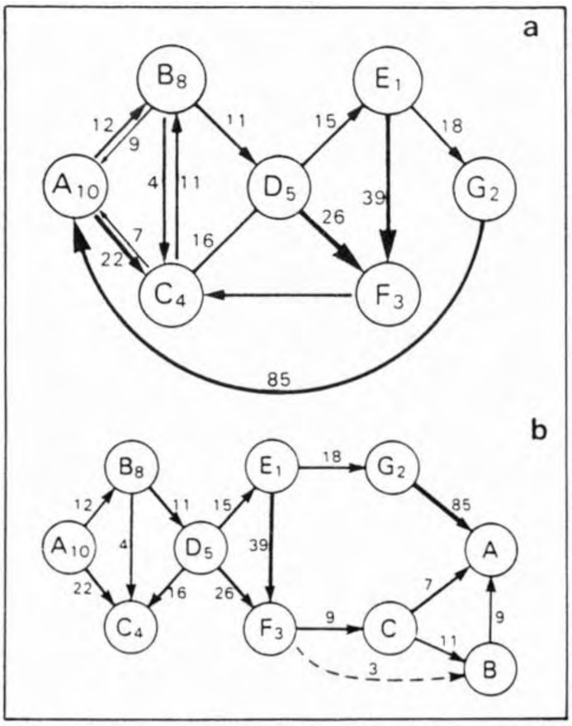



**Рис.5-46. Диаграмма-«паутина» для скважины на рис.5-37. Она представляет соотношение фаций, полученное по данным Таблицы 5-7, и интерпретацию FRD (из Serra, Schlumberger Well Evaluation Conference, India, 1983).**

## *5.5. ПРИМЕНЕНИЕ ФАЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА И АНАЛИЗА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ*

Фациальный анализ и анализ последовательностей представляет собой фундаментальный шаг геологического исследования формации. Вполне нормально, что его применение охватывает определенное количество областей, относящихся к седиментологии, а также количественную интерпретацию коллекторов.

### 5.5.1. Восстановление обстановки осадконакопления

Как указывал Middleton (1978), конечной целью фациального анализа и анализа последовательностей является восстановление обстановки осадконакопления. Однако Walker (1979) утверждает: «многие фации (если не их большинство), определенные в полевых условиях, имеют неоднозначную интерпретацию – например, фация косослоистого песчаника может сформироваться в меандрирующей или в разветвленной реке, в приливно-отливном канале стока, на удаленной от берега площади, где преобладают вдольбереговые течения, или на открытом шельфе с преобладанием приливно-отливные течения». В таких случаях, «ключом к интерпретации является анализ всей «общности» фаций, в контексте. Таким образом, последовательность, в которой находятся эти фации, дает столько же информации, сколько сами фации». Наконец, последовательность обычно позволяет распознавать обстановку осадконакопления.

Аналогично, мы можем восстановить обстановку осадконакопления по данным ГИС, замещая электрофации в вертикальных и в горизонтальных электрокомплексах. Поэтому нас не могут интересовать только электрофации песчаных тел. Фактически, когда мы анализируем форму кривой ПС, мы выполняем данный вид интерпретации, не осознавая этого. Как упоминалось выше, формы «колокол» и «воронка» соответствуют электрофациям. Но мы не можем считать свои выводы окончательными, поскольку такая эволюция может иметь место в нескольких обстановках осадконакопления. Выбор той или иной гипотезы делается с учетом другой информации, относящейся к мощности каждой электрофации и электрокомплекса, и к ее эволюции с глубиной или в пространстве – путем корреляции от скважины к скважине.

Это применение является важным, и ему отведена полностью следующая глава.

### 5.5.2. Восстановление геометрии фации

Предположим, что мы выполнили анализ электрофаций и электрокомплексов для каждой скважины месторождения, или, возможно для участка, где разрешено проведение работ, или даже для бассейна. Теперь, используя корреляцию электрофаций совместно с хроностратиграфической корреляцией между скважинами, мы можем восстановить распределение различных электрофаций в пространстве и во времени. Применяя методики картирования, мы определим геометрию каждой фации или группы фаций (рис.5-4 и 5-5). Этот вопрос будет рассмотрен позднее в Главе 15, посвященной исследованию нескольких скважин.

### 5.5.3. Картирование электрофаций

Как мы уже видели, кривые ПС и сопротивления могут использоваться для целей картирования, для определения пространственного распределения типичных фаций. Это помогает лучше определить обстановку осадконакопления (см. рис.5-3). Мы можем обобщить это применение, используя карты изопахит или процентного содержания одной типичной электрофации или группы электрофаций. Можно также построить карты песчано-глинистых коэффициентов, рассчитанных программами FACIOLOG, LITHO или SYNDIP. Например, имея отношение накопленной мощности максимумов сопротивления к накопленной мощности минимумов проводимости, рассчитанное в данном интервале, можно построить точную карту песчано-глинистых коэффициентов, если максимумы соответствуют песчаным пластам, а минимумы – пластам глинистого сланца. Эти карты, точно и объективно, описывают эволюцию фаций в горизонтальном направлении. Этот тип применения будет рассмотрен в Главе 15.

### 5.5.4. Составление базы данных электрофаций

Объединяя результаты анализа электрофаций по нескольким скважинам месторождения или бассейна, мы можем сформировать базу данных электрофаций, которая будет использована в качестве эталона при исследовании новых скважин на месторождении или в бассейне. Каждый набор данных ГИС подвергнется перекрестной проверке с этой базой данный с целью присвоения той или иной электрофации. Если присвоение не удается выполнить, в базу данных вводится новая электрофация.

Применяя методы, предложенные Walker (1979), можно выполнить анализ или «перегонку» электрофаций и электрокомплексов, принадлежащих одной обстановке осадконакопления. Этот анализ позволит выделить каротажные сигналы и образования, которые характеризуют обстановку осадконакопления. Таким образом, мы можем составить эквивалент того, что Walker (1979) называет моделью фации. Она будет «действовать как:

- *норма*, с которой будет сравниваться каждый новый пример;
- *рамки* и *руководство* для последующих наблюдений;
- *предсказатель* в новых геологических ситуациях;
- интегрированная *основа* для *интерпретации* обстановки осадконакопления или системы, которую она представляет».

Это применение является весьма важным, и в дальнейшем позволит определять обстановку осадконакопления непосредственно по данным ГИС, используя программы, включающие «экспертные системы» (см. следующую главу).

### 5.5.5. Количественная интерпретация

Анализ электрофаций позволяет восстановить фации и обстановку осадконакопления. Мы получаем возможность определять, для каждой электрофации или группы электрофаций, наиболее вероятную минералогическую модель для количественной интерпретации (т.е. кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, каолинит как основные минералы, входящие в состав песка). Это ограничивает количество неизвестных для каждой электрофации и оптимизирует интерпретацию за счет применения программ типа GLOBAL* или ELAN*, как предлагает Suau и др. (1982).

Более того, структура и осадочная текстура, на которые указывают данные наклономеров или изображения Formation MicroScanner, позволяют определить типы распределения глинистых сланцев и, следовательно, сделать оптимальный выбор уравнений (для расчета глинистости и насыщенности), а также параметров a, m и n, которые связывают пористость с коэффициентом сопротивления пласта и насыщенностью (текстурная и структурная модели, см. Главу 9).

---

* Марка Schlumberger

Можно также более точно указать ограничения и определить для каждой электрофации функцию, которая позволяет приблизиться к проницаемости. Наконец, можно сократить время вычислений и, таким образом, увеличить количество тестов, работая с локализованными модами или с электрофациями, вместо того, чтобы переходить от уровня к уровню. Все эти аспекты будут рассмотрены в Главе 9.

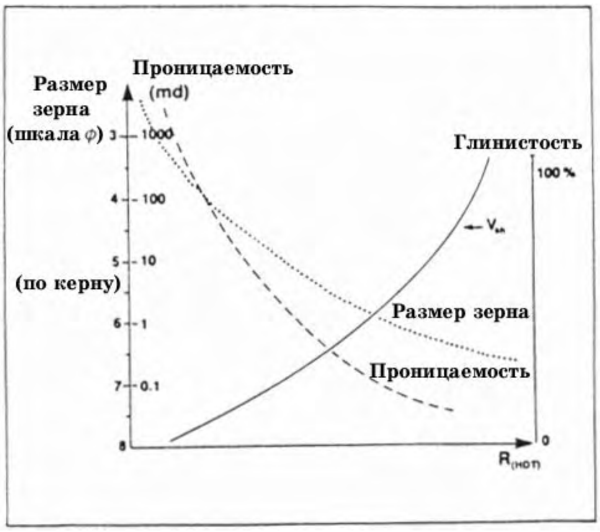



**Рис.5-47.Калибровка кривой сопротивления наклономера в единицах размера зерен, глинистости и проницаемости.**

## 5.5.6. Определение оптимального шага отбора керна для анализа

Этим аспектом часто пренебрегают. Сводя вместе керновые данные и результаты анализа электрофаций, или, по меньшей мере, данные ГИС в открытом стволе и изображения, полученные наклономером и FMS, мы получаем возможность определения более подходящих интервалов отбора керна и частоты детального лабораторного анализа. Это позволяет сократить денежные и временные затраты и сделать более четкими некоторые каротажные сигналы, которые недостаточно поняты и интерпретированы.

Обратимся к примеру на рис.5-8. Если отбор керна и анализа были сосредоточены на одном, двух или даже трех электрокомплексах с шагом 5 см, мы сможем откалибровать кривые сопротивления каверномера (рис.5-47) в единицах размера зерен, глинистости и проницаемости. У нас также будет возможность точно определить фации и обстановку осадконакопления (турбидиты). Таким образом, интерпретация всех интервалов, и даже всех скважин на одном и том же месторождении, в которых не отбирался керн, и которые демонстрируют одинаковые характеристики, будет быстрой и экономичной.

## 5.6. REFERENCES


BLATT, H., MIDDLETON, G. & MURRAY, R. (1972, 1980). - Origin of Sedimentary Rocks. 1st and 2nd ed. *Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.*

BOUMA, A.H. & BROUWER, A. (eds) (1964). -Turbidites. *Elsevier, Amsterdam.*

CURRY, W.H. & CURRY, W.H. III (1972). - South Glenrock Oilfield, Wyoming: Prediscovery, Thinking and Post-Discovery Description. *In Stratigraphic Oil and Gas Fields - Classification, Exploration Methods, and Case Histories, Amer. Assoc. Petroleum Geol., Memoir* **16**, *p. 415-427.*

DELFINER, P., PEYRET, O. & SERRA, O. (1984). -Automatic determination of Lithology from Well Logs. *59th Ann. Techn. Conf. SPE of AIME, Houston, Texas; paper nº SPE 13290.*

DELHOMME, J.P. & SERRA, O. (1984). - Dipmeter-derived Logs for Sedimentological Analysis. *SPWLA, 9th Europ. Intern. Format. Eval. Trans., paper 50.*

FISCHER, A.G. (1964). - The Lofer cyclothems of the Alpine Triassic. *In: Symposium on Cyclic Sedimentation (Ed. by MERRIAM, D.F.), p. 107-149. Bull. geol. Surv. Kansas,* **169**.

FISHER, W.L. (1969). - Facies characterization of Gulf Coast basin delta systems, with some Holocene analogues. *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.,* **19**, *p. 239-261.*

FISHER, W.L. & McGOWEN, J.H. (1969). - Depositional systems in Wilcox Group (Eocene) of Texas and their Relation to Occurrence of Oil and Gas. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **53**, *p. 30-54.*

FISHER, W.L. & BROWN, L.F. Jr. (1972). - Clastic depositional systems -A genetic approach to facies analysis. *University of Texas, Austin, Texas Bureau of Econ. Geol.*

FISHER, W.L., BROWN, L.F., SCOTT, A.J. & McGOWEN, J.H. (1969). -Delta systems in the exploration for oil and gas. - A research colloquium *University of Texas, Austin, Texas Bureau of Econ. Geol.*

FONS, L. Sr. (1969). - Geological application of well logs. *SPWLA, 10th Ann. Log. Symp. Trans.*

GALLOWAY, W.E. & HOBDAY, D.K. (1983). -Terrigenous Clastic Depositional Systems. *Springer, New York.*

GILREATH, J.A. & STEPHENS, R.W. (1971). -Distributary Front Deposits Interpreted from Dipmeter Patterns. *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.,* **21**, *p. 233-243.*

GILREATH, J.A. & STEPHENS, R.W. (1975). -Interpretation of Log Responses in a Deltaic Environment. *Amer. Assoc. Petroleum Geol. Marine Geology Workshop, Dallas, Texas.*

GOETZ, J.I., PRINS, W.J. & LOGAR, J.F. (1977). -Reservoir Delineation by Wireline Techniques. *paper presented at 6th Ann. Conv. Indonesia Petroleum Assoc., Jakarta, May 1977.*

GRESSLY, A (1838). - Observations géologiques sur le Jura Soleurois. *Neue Denkschr. allg. Schweiz. Ges. ges. Naturw.,* **2**, *p. 1-112.*

HAUG, E. (1907). - Traité de géologie. *Armand Colin, Paris.*

KRUMBEIN, W.C. & SLOSS, L.L. (1963). - Stratigraphy and Sedimentation. 2nd ed. *W.H. Freeman & Co., San Francisco.*

LENNON, R.B. (1976). - Geological factors in steam-soak projects on the west side of the San Joaquin Basin. *J. Petroleum Technol., July, p. 741-748.*

LOMBARD, A. (1956). - Géologie Sédimentaire. Les séries marines. *Masson, Paris.*

LOMBARD, A. (1972). - Séries sédimentaires. Genèse - Evolution. *Masson, Paris.*

MIALL, A.D. (1984). - Principles of Sedimentary Basin Analysis. *Springer, New York.*

MIDDLETON, G.V. (1973). - Johannes Walther's Law of the correlation of facies. *Geol. Soc. America Bull.,* **84**, *p. 979-988.*

MIDDLETON, G.V. (1978). - Facies. In: *FAIRBRIDGE, R.W., & BOURGEOIS, J., eds. Encyclopedia of sedimentology. Stroudsburg, Pa., Dowden, Hutchinson & Ross, p. 323-325.*

MOORE, R.C. (1949). - Meaning of facies. *Geol. Soc. Amer., Mem.* **39**, *p. 1-34.*

NORWOOD, E.M. Jr., & HOLLAND, D.S. (1974). -Lithofacies mapping. A descriptive tool for ancient delta systems of the Louisiana outer continental shelf. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.,* **24**.

PIRSON, S.J. (1977). - Geologic Well Log Analysis. 2nd ed. *Gulf Publishing Co., Houston.*

RAAF, J.F.M. de (1968). - Turbidites et associations sédimentaires apparentées, I and II. *Kon. Ned. Akad. Wetensch., Amsterdam, Verh., series B,* **71**, *p. 1-23.*

RAAF, J.F.M. de, READING, H.G. & WALKER, R.G. (1965). - Cyclic sedimentation in the Lower Westphalian of north Devon, England. *Sedimentology,* **4**, *p. 1-52.*

READING, H.G. (Ed.) (1978). - Sedimentary Environments and Facies. *Blackwell Scientific Publications, Oxford.*

RIDER, M.H. & LAURIER, D. (1979). - Sedimentology using a computer treatment of well logs. *SPWLA, 6th Europ. Symp. Trans., paper J.*

*Schlumberger* (1979). - Well Evaluation Conference. Algeria.

*Schlumberger Technical Services, Inc.* (1983). -Well Evaluation Conference. India.

*Schlumberger Middle East S.A.* (1984). - Well Evaluation Conference. Egypt.

SELLEY, R.C. (1970). - Studies of sequence in sediments using a simpl emathematical device. *J. geol. Soc. London, Quart. Jour.,* **125**, *p. 557-581.*

SELLEY, R.C. (1970, 1978). - Ancient Sedimentary Environments. 1st and 2nd ed. *Chapman & Hall, London.*

SELLEY, R.C. (1976). - An Introduction to Sedimentology. *Academic Press, London.*

SELLEY, R.C. (1978). - Concepts and methods of subsurface facies analysis. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Continuing Education Course Note Series* **9**.

SELLEY, R.C. (1979). - Dipmeter and log motifs in North Sea submarine-fan sands. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **63**, *6, p. 905-917.*

SERRA, O. (1972). - Diagraphies & Stratigraphie. In : *Mém. B.R.G.M.,* **77**, *p. 775-832.*

SERRA, O. (1973). - Interprétation Géologique des diagraphies en Séries Carbonatées. *Bull. Centre Rech. Pau - SNPA,* **7** *, 1, p. 265-284.*

SERRA, O. (1974). - Interprétation géologique des Séries deltaï ques à partir des diagraphies différées. *Rev. A.F.T.P.,* **227**, *Oct., p. 9-17.*

SERRA, O. (1977). - Méthode rapide d'analyse faciologique par diagraphies différées. *SPWLA, 5th Europ. Symp. Trans., Paris, paper 9.*

SERRA, O. (1984). - Fundamentals of Well-Log Interpretation. Volume 1 : The Acquisition of Logging Data. *Developments in Petroleum Science,* **15A**, *440 p., Elsevier, Amsterdam.*

SERRA, O. & ABBOTT, H. (1980). - The Contribution of Logging data to Sedimentology and Stratigraphy. *55th Ann. Fall Techn. conf. SPE of AIME, paper SPE 9270, and in SPE J., Feb. 1982.*

SERRA, O. & SULPICE, L. (1975). - Sedimentological Analysis of shale-sand series from well logs. *SPWLA, 16th Ann. Log. Symp. Trans., paper W.*

SERRA, O. & SULPICE, L. (1975). - Apports des diagraphies différées aux études sédimentologiques des séries argilo-sableuses traversées en sondage. *9th Cong. Intern. Sédiment., Nice, thème 3, p. 86-95.*

SHROCK, R.R. (1948). - Sequence in Layered Rocks. *McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.*

TEICHERT, C. (1958). - Concepts of facies. *Bull amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **42**, *p. 2718-2744.*

VINCENT, P., GARTNER, J. & ATTALI, G. (1979). -GEODIP - An approach to detailed dip determination using correlation by pattern recognition. *J. Petroleum Technol., Feb.1979, p. 232-240.*

VISHER, G.S. (1965). - Use of vertical profile in environmental reconstruction. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **49**, *p. 41-61.*

WALKER, R.G. (1975). - Generalized facies models for resedimented conglomerates of turbidite association. *Bull. geol. Soc. Amer.,* **86**, *p. 737-748.*

WALKER, R.G. (1976). - Facies Models. Turbidites and associated coarse clastic deposits. *Geoscience Canada,* **3**, *p. 25-36.*

WALKER, R.G. (Ed.) (1979, 1984). - Facies Models. 1st and 2nd ed. *Geoscience Canada, reprint series 1, published by Geol. Assoc. Canada.*

WALKER, R.G. & MUTTI, E. (1973). - Turbidite facies and facies association. *SEPM, Pacific Section, Short Course, Anaheim.*

WALTHER, J. (1893-4). - Einleitung in die Geologie als historische Wisssenschaft. *Fischer, Jena.*

WIDDICOMBE, R.E. & NOON, P. (1984). - Multiwell FACIOLOG evaluation, Hartzog Draw Field,Powder River Basin, Wyoming. *SPWLA, 25th Ann. Log. Symp. Trans., New Orleans.*

WILLIAMS, P.F. & RUST, B.R. (1969). - The sedimentology of a braided river. *J. sediment. Petrol.,* **39**, *2, p. 649-679.*

YAPAUDJIAN, L. (1972). - Une approche actualiste en géologie sédimentaire (quelques données d'interprétation des séquences de plateforme). In : *Mém. BRGM,* **77**, *p.715-744.*

# Глава 6. ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОБСТАНОВКЕ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

**(Формирование осадочных пород)**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

## *ОБЗОР ОБЩИХ ПОНЯТИЙ*

*Обстановка осадконакопления* – это общий термин, используемый геоморфологами и океанографами для характеристики физиографических или морфологических единиц (горные районы, пустыни, континентальные шельфы, абиссальные равнины…). *Обстановка осадконакопления представляет собой географически ограниченный участок земной поверхности, который можно легко отличить от соседних участков по комплексу физических, химических и биологических условий, и воздействий или сил, при которых накапливается осадочный материал. Этот комплекс в значительной степени характеризует обстановку осадконакопления и определяет свойства осадочного материала, отложенного в ее пределах* (Krumbein и Sloss, 1963; Selley, 1970; Reineck и Singh, 1975; Blatt и др., 1980).

Физические условия, которые влияют на обстановку осадконакопления и контролируют ее, весьма многочисленны. Они включают:

- климат: погоду и ее составляющие;
- колебания температуры (суточные, ночные, сезонные);
- значимость и повторяемость дождей, снегопадов;
- влажность;
- ветровой режим (преобладающее направление, скорость и их отклонения);
- все эти факторы, влияющие на растительный покров;
- высота над уровнем моря и профиль рельефа: природа, размер, форма и наклон гор или приемного бассейна, энергия потока, глубина воды, которые будут контролировать гидравлический режим; в морской обстановке: батиметрия, амплитуда приливов-отливов, волн, система течений водных масс, ветровой режим, силы Кориолиса.

Химические условия, которые действуют в пределах обстановки осадконакопления, включают геохимию пород на поверхности, и геохимию вод (реки, озера, моря, океана): минерализацию (природу и процентное содержание солей в растворе), *pH*, *Eh*, растворенный газ.

Биологические условия включают фауну и флору, сухопутную или водную, и наличие в среде бактерий.

Эти три условия или фактора не являются независимыми; напротив, они существенным образом связаны. Любое изменение одного из факторов немедленно сказывается на других факторах.

В зависимости от среды (воздух, лед, вода) и относительной значимости каждого условия, фактора и процесса, может иметь место осадконакопление, эрозия или отсутствие осадконакопления (равновесие). Если говорить в общем, субаэральные условия обычно являются эрозионными, а в субаквальных условиях, в основном, происходит осадконакопление.

При исследовании древних осадков, мы всегда говорим об *обстановке осадконакопления*, поскольку анализируем осадочные породы. Однако следует помнить, что осадочные последовательности могут прерываться периодами отсутствия осадконакопления или даже эрозией, где, естественно, ассоциированные осадки отсутствуют. Такие периоды необходимо выявить и локализовать в пространстве и во времени, поскольку они позволят лучше определить обстановку осадконакопления и геологическую историю осадочного бассейна. Они могут быть также использованы для целей корреляции.

Определение обстановки осадконакопления будет возможным только путем описания отпечатков, оставляемых физическими, химическими, биологическими и геоморфологическими условиями на отложениях.

Эти отпечатки определяют фацию, которая, как упоминалось выше, представляет собой *«сумму физических, химических и биологических характеристик, которые отличают данное осадочное тело от других осадочных тел».*

Как указывали Krumbein и Sloss (1963), «исследование любой обстановки осадконакопления включает рассмотрение четырех основных *элементов обстановки*», перечисленных на рис.6-1. Каждому элементу приписываются несколько факторов. «Относительное влияние элементов среды изменяется с характером обстановки осадконакопления. Аналогично, значимость факторов любого элемента изменяется в пределах различных обстановок».

Материальные факторы включают среду (воздух, пресная или соленая вода, лед), *pH*, *Eh*, температуру, растворенные соли ($Ca^{2+}$, $Na^{+}$, $CO_3^{2-}$, $SO_4^{2-}$, $Cl^{-}$) и газы ($CO_2$, $O_2$, $SH_2$), и твердые вещества. «Каждый из материальных факторов может оказывать некоторое влияние на откладывающиеся осадки, но значимость влияния частично контролируется факторами других элементов». Например, в обстановке осадконакопления с высоким энергетическим уровнем (зона прибоя) преобладают твердые вещества (песок и галька), а влияние солей и газов весьма незначительное. Напротив, в обстановке осадконакопления с низким энергетическим уровнем (спокойная вода), соли и газы являются основными факторами, контролирующими организмы, и, следовательно, играют роль в отложении карбоната.

«*Граничные и энергетические факторы* включают глубину воды, расстояние от берега, рельеф дна, и, как общий фактор, географию площади осадконакопления». Энергия контролирует количество частиц во взвеси и размер осаждающихся зерен, а также тип течения (ламинарное или турбулентное) и, следовательно, характер особенностей отложений.

Энергетические и материальные факторы контролируют *биологические факторы*. «В чистых теплых морях, хорошо насыщенных кислородом и среднещелочных, организмы могут процветать и в изобилии формировать карбонатный осадочный материал» (Krumbein и Sloss, 1963). Напротив, мутная среда или восстановительный режим может ограничивать условия жизни некоторых организмов.

Площадные вариации элементов и факторов в пределах обстановки осадконакопления, называемые *картиной среды* (environmental pattern) (Krumbein и Sloss, 1963), вызывают эволюцию характера и свойств осадков, создавая *латеральную последовательность* фаций.

Однако в результате накопления осадков могут произойти изменения элементов и факторов обстановки осадконакопления, достаточные для создания новых условий и, следовательно, новых свойств. «Этот вид взаимосвязи между процессами и реакцией называется *обратной связью*». Непрерывные изменения в любой данной географической точке вносят вклад в создание *вертикальной последовательности фаций*.

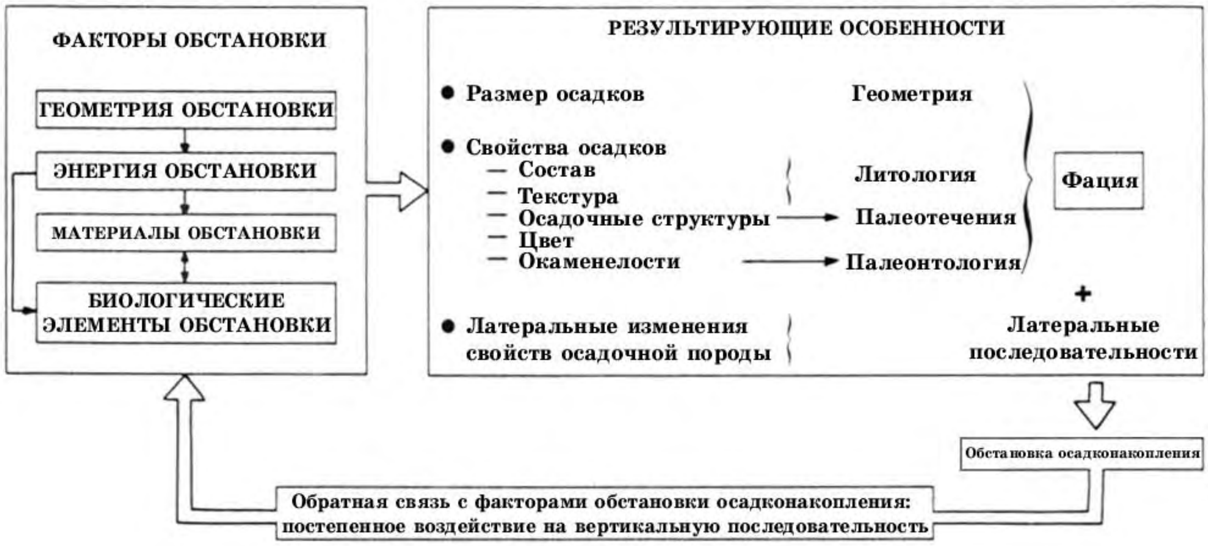



**Рис.6-1. Обобщенная модель «процессы обстановки осадконакопления – реакция» (из Krumbein и Sloss, 1963).**

Таким образом, обстановка осадконакопления будет характеризоваться типичной последовательностью фаций, как в пространстве, так и во времени. Согласно закону Вальтера[1] (Walther), эти последовательности являются сходными.

Знание вертикальной последовательности, которое можно получить с помощью данных ГИС, помогает предсказывать тип латеральной последовательности и обстановки осадконакопления.

Рассматривая все возможные сочетания физических, химических и биологических процессов, или всех элементов и факторов, которые характеризуют обстановку осадконакопления, можно прийти к выводу о бесконечном количестве обстановок. Фактически, благодаря сильной взаимозависимости всех этих процессов и факторов, опознано их конечное количество. Это связано также с тем фактом, что количество физиографических типов также является конечным. Поэтому, даже если две обстановки или морфологические единицы никогда не идентичны полностью, количество основных обстановок осадконакопления уменьшается, если рассматривать преобладающие факторы. Они перечислены в Таблице 6-1. Конечно, для учета незначительных изменений, может быть добавлено несколько подобстановок, или даже под-подобстановок (особенно если мы исследуем современные отложения). Однако в случае древних отложений, разделение представляет собой сложную задачу. Поэтому, иллюстрируя распознавание обстановок осадконакопления по данным ГИС, мы будем ограничиваться основными обстановками.

[1] Закон Вальтера: «Различные отложения одной фациальной зоны (facies area) и, аналогично, сумма пород различных фациальных зон, формировались в пространстве одна рядом с другой, но в разрезе коры мы видим их лежащими одна на кровле другой. Основным положением, которое имеет далеко идущие последствия, является следующее: могут быть наложенными только те фации и фациальные зоны, которые в настоящее время могут наблюдаться одна рядом с другой» (Blatt, *и др.*, 1972, стр.187-188).

Таблица 6-1
*Классификация обстановок осадконакопления*
(из Selley, 1970).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Континентальные | Фангломерат | | Разветвленные русла |
| | Речные | | Меандрирующие русла |
| | Озерные | | |
| | Эоловые | | |
| Береговые линии | Лопастные (дельтовые) | | Терригенные |
| | Линейные (бар) | | Смешанные карбонатно-теригенные |
| Морские | Риф | Терригенные | Карбонат |
| | Шельф | | |
| | Турбидит | Карбонат | |
| | Педагические | | |

В эту таблицу сведены только те обстановки осадконакопления, которые сформировали большие объемы древних накоплений

## ЗНАЧЕНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

Восстановление обстановки осадконакопления не является чисто академической целью. Это необходимо для поиска природных минеральных ресурсов, таких как углеводороды, уголь, фосфаты, соли калия, уран и т.д., поскольку эти ресурсы, в общем случае, в значительной степени ассоциированы с определенной обстановкой осадконакопления.

В поисках нефти, одной из существенных задач является оценка углеводородного потенциала бассейна. Это требует определения мощности и протяженности в латеральном направлении (объема) различных фаций, представляющих *нефтематеринские породы*, в которых будут формироваться углеводороды, *породы-коллекторы*, где углеводороды будут накапливаться в результате миграции из предшествующих пород, и *породы-покрышки*, образующие непроницаемые ловушки, исключающие утечку углеводородов из коллекторов.

При исследовании коллектора, только восстановление обстановки осадконакопления дает правильное представление об эволюции фаций в латеральном направлении и, следовательно, о петрофизических свойствах коллекторов. Кроме того, оно позволяет прогнозировать существование, природу, значимость и распределение барьеров проницаемости. Данная информация весьма важна для оценки потенциала добычи на месторождении, и для размещения добывающих и нагнетательных скважин.

## ОПОЗНАНИЕ ОСНОВНЫХ ОБСТАНОВОК ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ ГИС

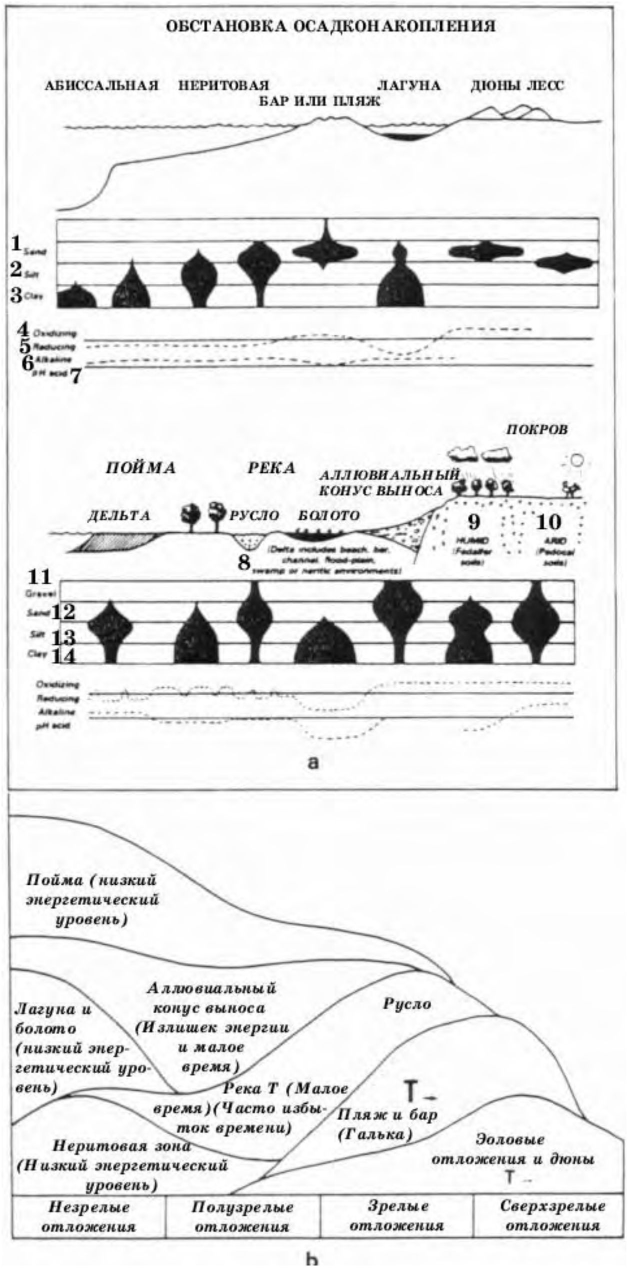
При исследовании древних отложений, традиционный подход, применяемый геологами, заключается в анализе образцов породы путем определения фаций. Для этого определяются минералогические, текстурные и структурные характеристики породы.

Знание литологии и минералогии является необходимо, но недостаточно для того, чтобы определить, изменился ли первоначальный тип породы в результате диагенеза.

Размер зерен и текстурная зрелость могут помочь опознать обстановку осадконакопления, как это показано на рис.6-2.

**Рис.6-2. (a): Распределение размера зерен в зависимости от обстановки осадконакопления. (b): Соотношение между текстурной зрелостью и обстановкой осадконакопления.**

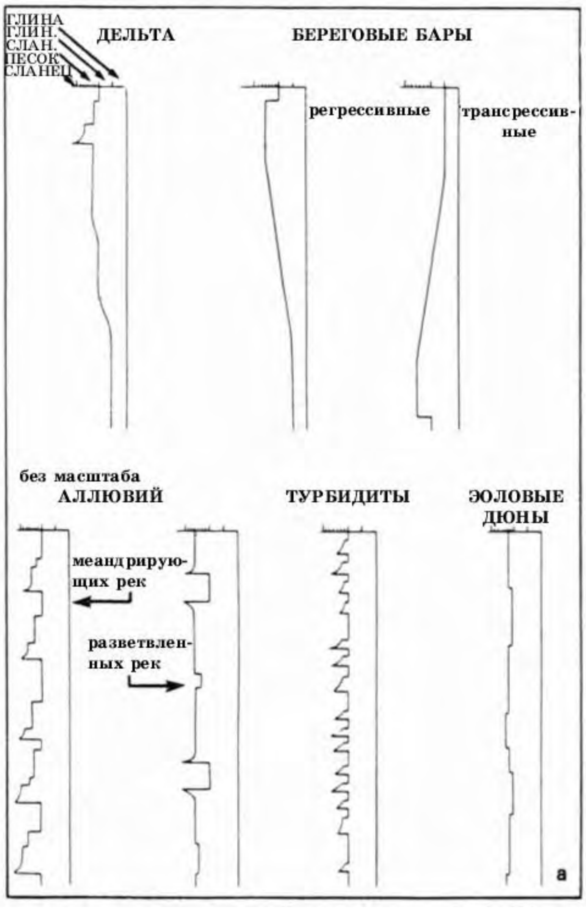
(1- Песок; 2- Алеврит; 3- Глина; 4- Окисление; 5- Восстановление; 6- Щелочная среда; 7- pH кислая среда; 8- (Дельта включает пляж, бар, русло, пойму, болото или неритовую обстановку осадконакопления) 9- гумидный климат (алюможелезистая почва – педальфер); 10- аридный климат (кальциевая почва – педокал); 11- Галька; 12- Песок; 13- Алеврит; 14- Глина)

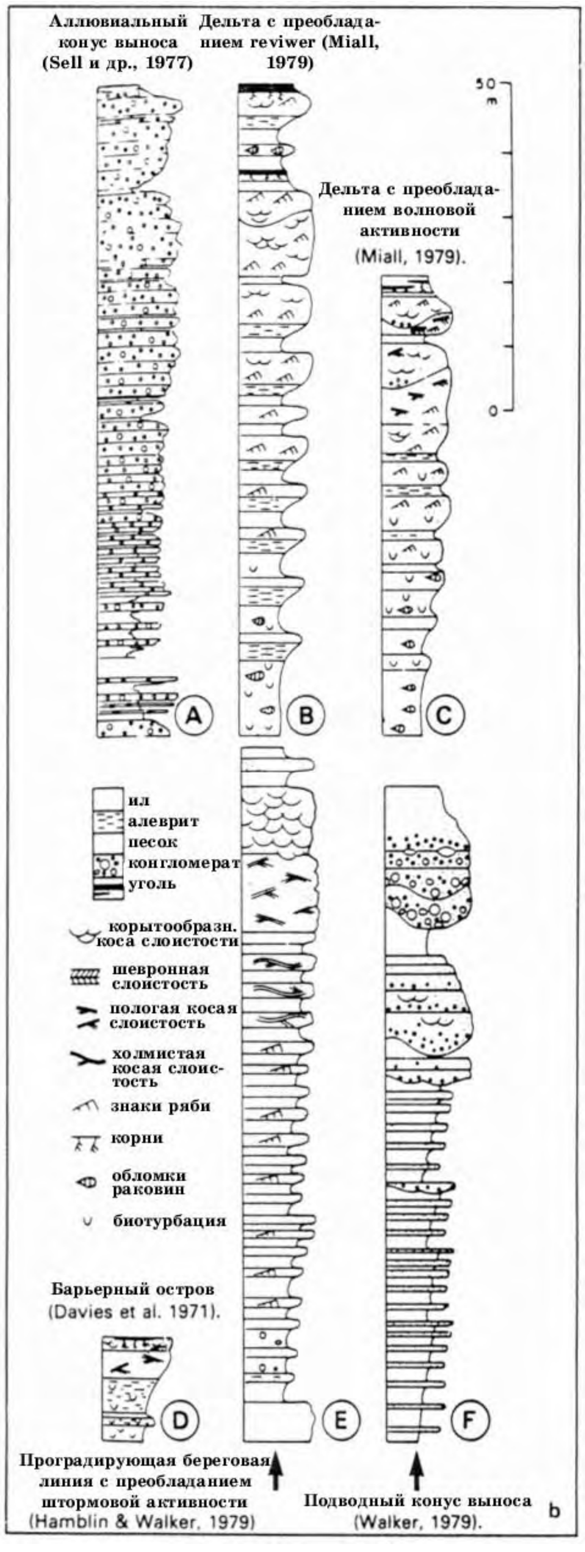



Как мы уже видели, особенности отложений составляют основную информацию, на основе которой распознаются фации и обстановки осадконакопления.

Но одного лишь знания фаций недостаточно для идентификации обстановки осадконакопления. Как указывал Walker (1979), «например, фация косослоистого песчаника, может быть сформирована в меандрирующей или в разветвленной реке, в приливно-отливном канале стока, в прибрежно-морской зоне с преобладанием вдольбереговых течений, или на открытом шельфе с преобладанием приливно-отливных течений». Дополнительная информация, касающаяся мощности каждой фации или фациальной последовательности, а также ее эволюции со временем, и, следовательно, с глубиной, часто позволяет различить две или три возможные обстановки осадконакопления (рис.6-3).

Рис.6-3. Типичные примеры эволюции мощности и размера зерна, связанной с типичными обстановками осадконакопления. (a) из Selley (1970); из Miall (1984).




При исследовании большого количества скважин, фации и обстановки осадконакопления будут опознаны точнее, с применением методик корреляции (рис.6-4) и картирования фаций (изолиты или изопахиты, рис.6-5). Для опознания фаций и обстановки осадконакопления важным параметром является геометрия осадочных тел. Например, система заполнения меандрирующей реки легко распознается на карте изопахит Lower части Muddy на нефтяном месторождении South Glenrock, Вайоминг (рис.6-5 из Curry и Curry, 1972). Корреляции (рис.6-6) и изопахиты песков в целом (рис.6-7) на нефтяном месторождении Bisti показывает, что коллектор имеет характер берегового бара (из Sabins, 1972).

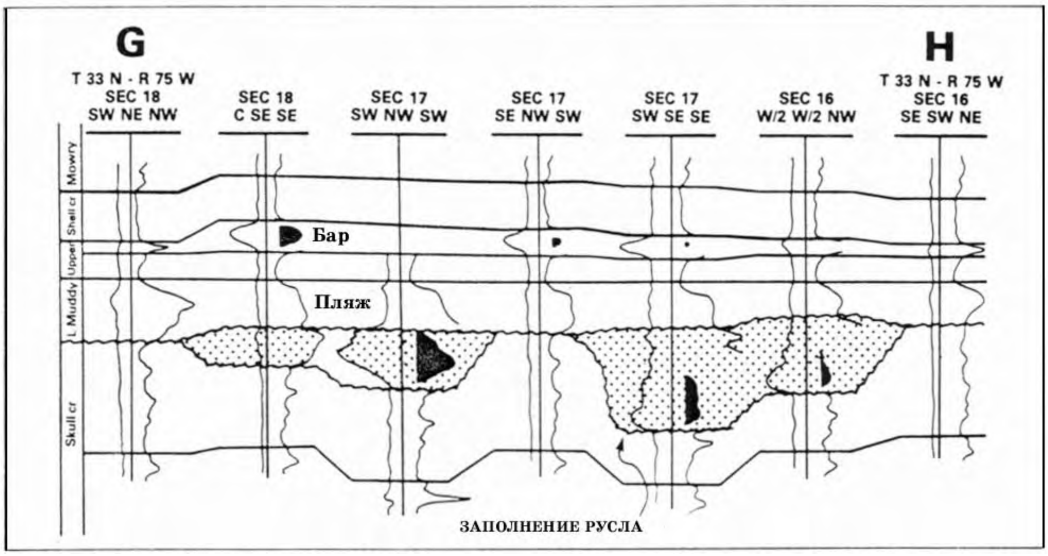



**Рис.6-4. Корреляция данных ГИС между скважинами на нефтяном месторождении South Glenrock, Вайоминг. Легко распознаются бар, пляж и заполнение русла (из Curry и Curry, 1972).**

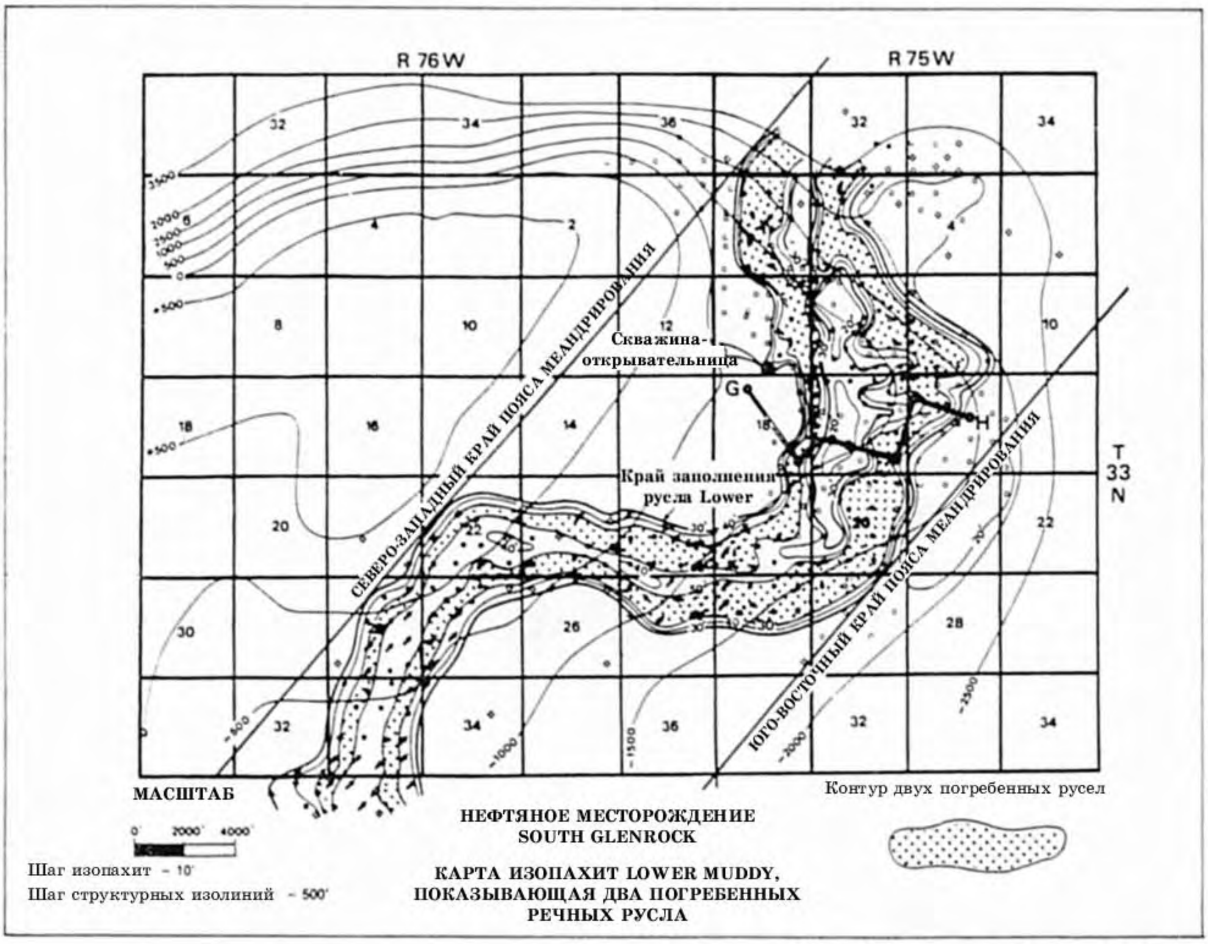



**Рис.6-5. Карта изопахит Lower Muddy, показывающая два погребенных речных русла (из Curry и Curry, 1972).**

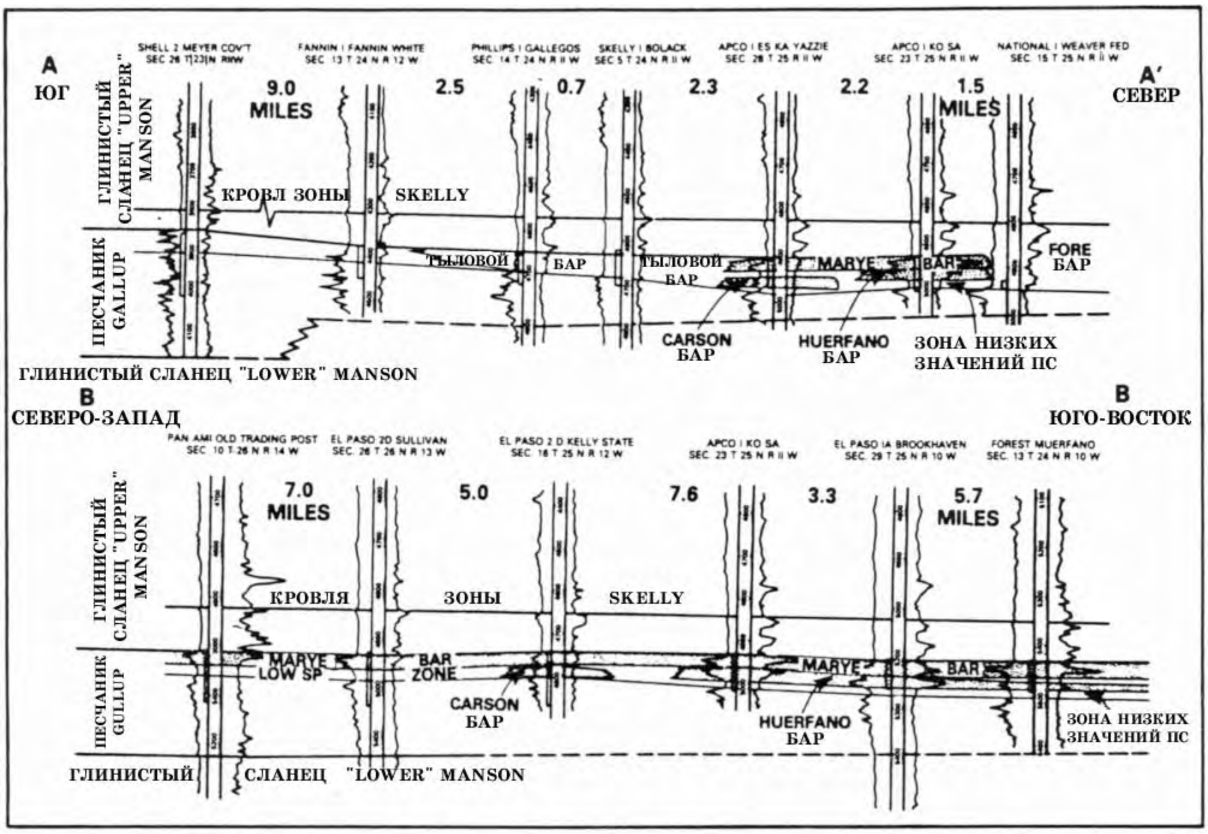


**Рис.6-6. Корреляция данных ГИС между скважинами на нефтяном месторождении Bisti, Нью-Мексико (из Sabins, 1972).**

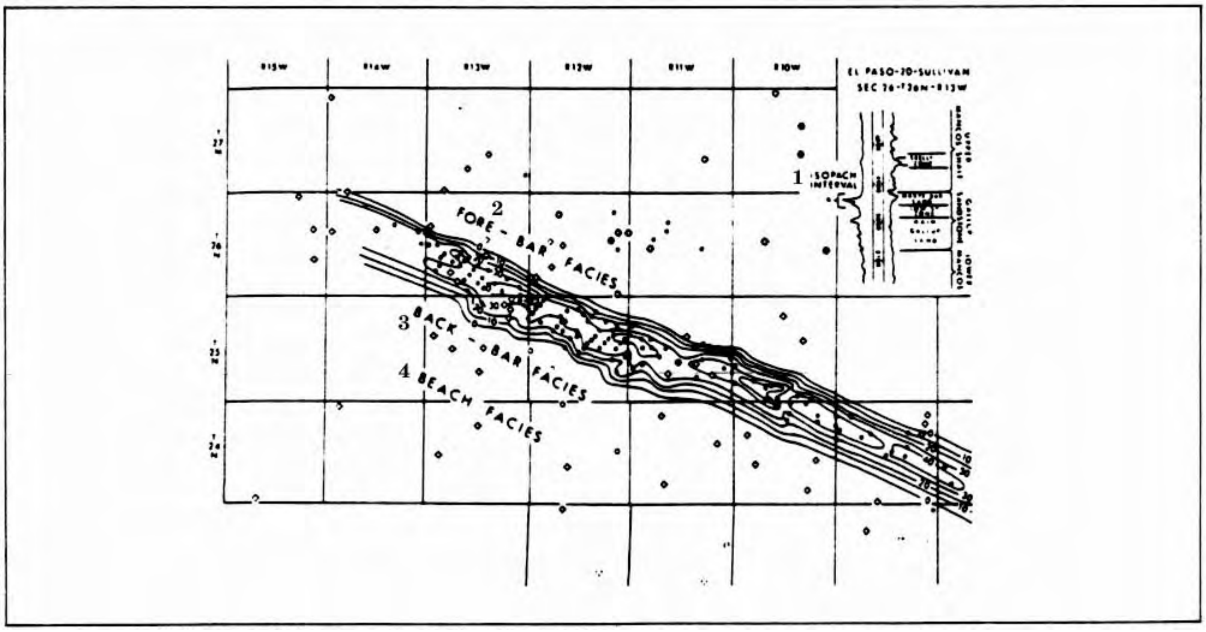



**Рис.6-7. Карта изопахит песков в целом на нефтяном месторождении Bisti (из Sabins, 1972).**
(1- картируемый интервал; 2- фации передового бара; 3- фации тылового бара; 4- фации пляжа)

Фактически, обстановку осадконакопления можно определить лучше и точнее, интегрируя всю информацию о фациях и последовательностях фаций. «Ключом к интерпретации является анализ всех фаций в общем, в контексте. Таким образом, последовательность, в которой они залегают, составляет такой же информационный вклад, как и сами фации» (Walker, 1984).

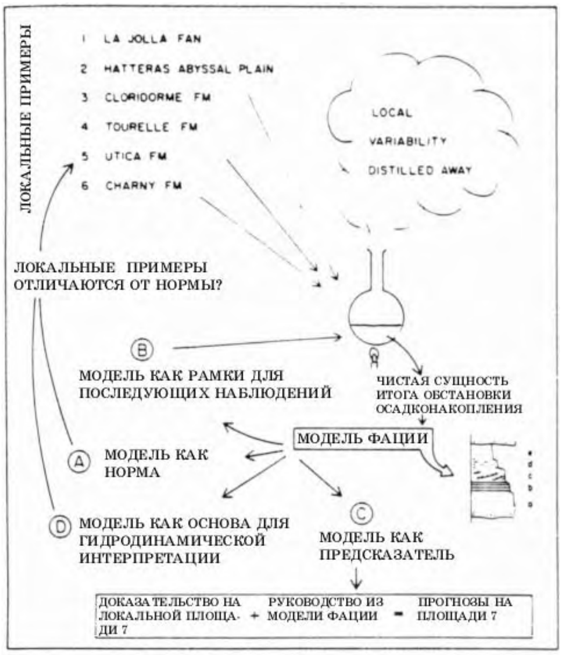



**Рис.6-8. «Дистилляция» модели фаций, построенной по различным локальным примерам, с целью получения чистой сущности итога обстановки осадконакопления (из Walker, 1979).**

Эти последовательности могут быть описаны *вертикальным профилем* (как предлагает Visher, 1965), или *моделью фации* (*фациальной моделью*), согласно терминам, введенным Walker (1976). Как показано на рис.6-8 (из Walker), фациальная модель получается путем «дистилляции и концентрации важных особенностей, совместных для нескольких сходных обстановок осадконакопления».

Согласно Walker, «фациальная модель может быть определена как общий итог определенной обстановки осадконакопления, записанный в терминах, которые позволяют применять его, по меньшей мере, в четырех различных случаях».

По Walker, фациальная модель должна «действовать как:

- *норма*, для целей сопоставления;
- *рамки и руководство* для будущих наблюдений;
- *предсказатель* в новых геологических ситуациях;
- *основа* для гидродинамической интерпретации обстановки осадконакопления, или системы, которую она представляет».

В исследовании разреза с привлечением данных ГИС, эквивалентом фациальной модели будет понятие *модели электрофации*. Как было показано в предыдущих главах, данные ГИС позволяют определить все составляющие фации (минералогию, текстуру, особенности отложений, геометрию). Можно также определить организацию фаций в последовательности. Многие авторы (Fisher, Visher, Pirson, Coleman, Galloway и т.д.) использовали формы кривых ПС и сопротивления для определения фаций и обстановок осадконакопления. В качестве иллюстрации, приводятся две схемы на рис.6-9 и 6-10 из Fisher (1969), которые быстро устанавливают различные фации и подобстановки осадконакопления двух дельтовых систем.

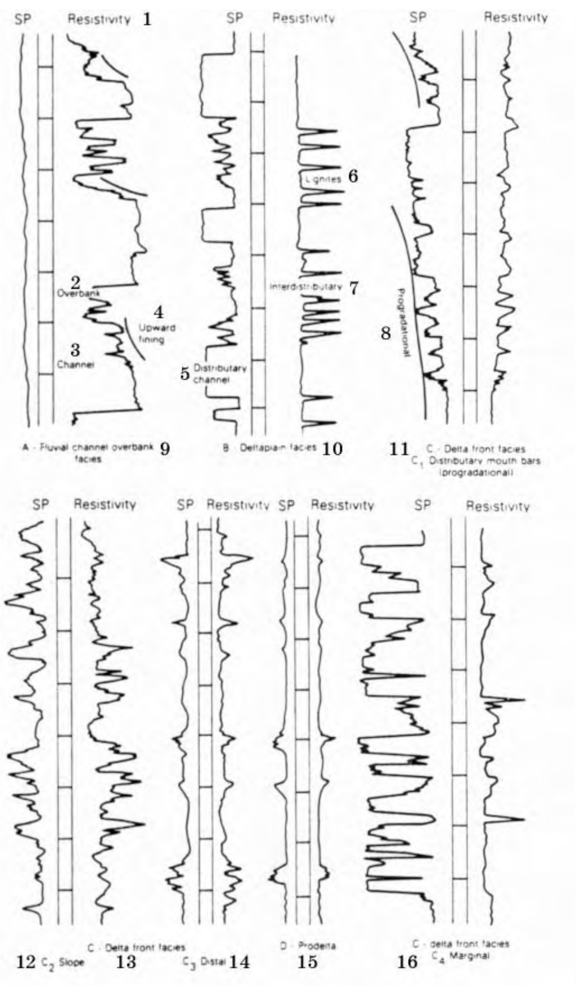



**Рис.6-9. Примеры вертикальных профилей ПС и сопротивления в высококонструктивных лопастных дельтовых системах, Бассейн Gulf Coast (из Fisher, 1969).**

(1- Сопротивление; 2- Паводковые отложения; 3- Русловые отложения; 4- Уменьшение размера зерен вверх по разрезу; 5- Дельтовый рукав; 6- Лигниты; 7- Внутридельтовые отложения; 8- Проградационные отложения; 9- A Фации паводковых отложений речного русла; 10- B Фации дельтовой равнины; 11- C Фации фронта дельты $C_1$ Устьевый бар; 12- $C_2$ Склон; 13- C Фации фронта дельты; 14- $C_3$ Отложения, удаленные от берега; 15- D Продельта; 16- C фации фронта дельты $C_4$ Краевые отложения)

Но, как упоминалось выше, кривых ПС и сопротивления не всегда достаточно для правильного определения фаций. Другие данные, особенно данные наклономера или FMS, дают информацию, которая обеспечивает большую точность. Поэтому автор настоящей работы предлагает вводить эти данные (если они имеются) при любом седиментологическом исследовании.

## ИЛЛЮСТРАЦИЯ ОБСТАНОВОК ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ДАННЫМИ ГИС

Ниже приводится описание главных геологических характеристик каждой основной обстановки осадконакопления на одном вертикальном профиле, с использованием понятия фациальной модели.

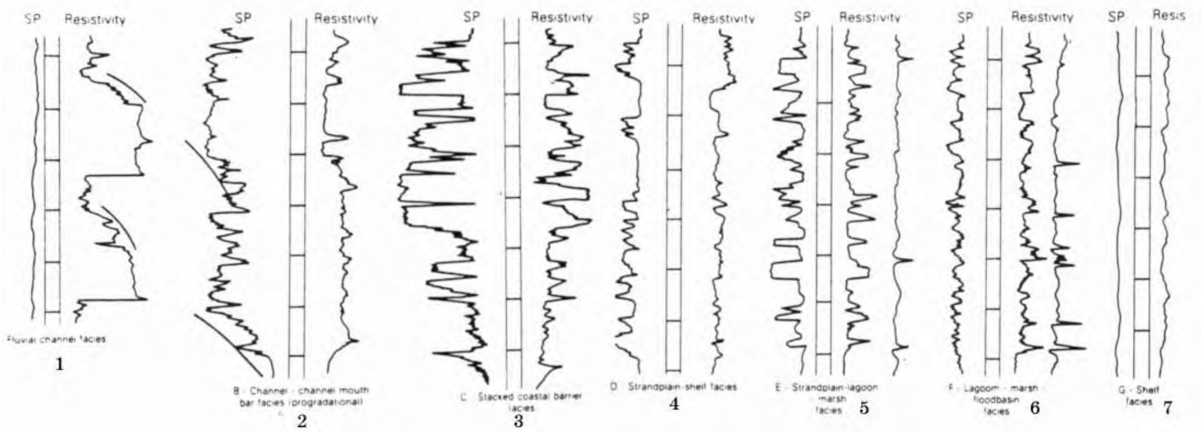



**Рис.6-10. Примеры вертикальных профилей ПС и сопротивления в высокодеструктивных дельтовых системах с преобладанием волновой активности. Бассейн Delta Coast (из Fisher, 1969).**

(1- A Русловые фации; 2- B Фации русла – устьевого бара (проградационные); 3- C Наложенные (stacked) фации прибрежного бара; 4- D Фации береговой равнины – шельфа; 5- E Фации береговой равнины – лагунные – маршевые; 6- Фации: лагунные – маршевые – паводковой площади; 7- Шельфовые фации)

Затем геологические параметры «переводятся» в каротажные сигналы, как в данные в необсаженных скважинах, так и в данные наклонометрии. Их действительность, в свою очередь, контролируется и иллюстрируется примерами, в которых векторные диаграммы GEODIP или LOCDIP интерпретированы с помощью других методов в необсаженных скважинах. В каждом случае указываются наиболее важные особенности кривых, которые обеспечивают их распознание. Как предлагает Walker (1976), такая модель электрофации будет действовать как *норма*, с которой должен сопоставляться любой фактический пример, и как *руководство* для будущих наблюдений и уточнения модели.

*Замечания*

*Векторные диаграммы GEODIP или LOCDIP являются предпочтительнее, нежели изображения CLUSTER или MSD и CSB. Это связано с тем, что, имея представления GEODIP или LOCDIP, можно легко контролировать корреляции и, следовательно, наклоны, и основывать интерпретацию на реальных фактах и особенностям (известно, что обработка CLUSTER, MSD или CSB иногда может давать неправильные наклоны или формировать искусственные картины). Можно также анализировать кривые, что помогает интерпретировать наклоны или понимать, почему они пропущены.*

## *6.1. ЛЕДНИКОВАЯ ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ*

### 6.1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Обстановки осадконакопления характеризуются отложениями на континентах, в озерах или в морях (рис.6.1-1), которые являются результатом таяния масс льда (*ледников, внутриматериковых льдов*). Перенос может иметь форму оползня, лавины, или извлечения из коренных пород процессами эрозии и абразии при движении ледника. Современный вид сверху долинного ледника показан на рис.6.1-2.

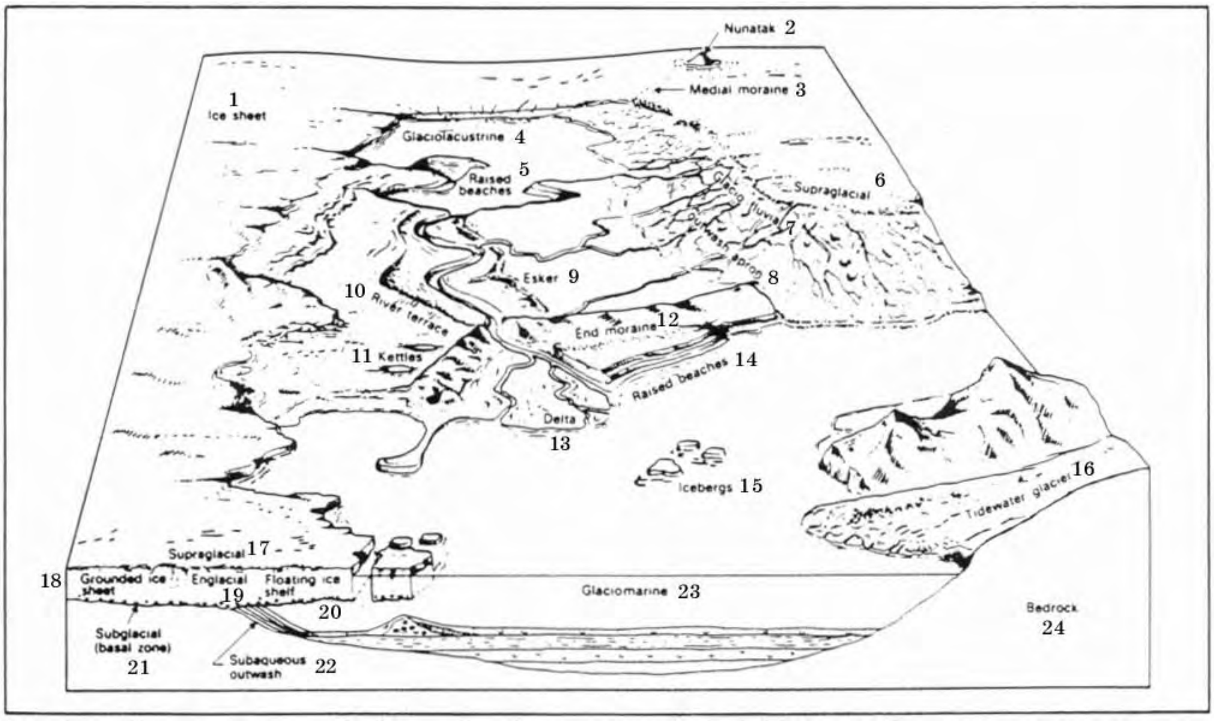



**Рис.6.1-1. Ледниковые обстановки осадконакопления и ассоциированные формы рельефа, типичные для ледниковых зон (из Edwards, у Reading, 1978).**
(1- Ледяной щит; 2- Нунатак; 3- Срединная морена; 4- Ледниково-озерные отложения; 5,14- Поднятые берега; 6- Надледниковые отложения; 7- флювиогляциальные отложения; 8- Зандровая долина; 9- Оз; 10- Речная терраса; 11- Ледниковые котловины; 12- Конечная морена; 13- Дельта; 15- Айсберги; 16- Омываемый приливом ледник; 17- Надледниковые отложения; 18- Плавучий лед, севший на мель; 19- Внутриледниковые отложения; 20- Плавучий шельфовый лед; 21- Подледниковые отложения (базальная зона); 22- Подводные зандры; 23- Морские ледниковые отложения; 24- Коренные породы)

## 6.1.2. ГЕОЛГИЧЕСКИЕ ФАЦИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ

### 6.1.2.1. Литология

Два параметра должны рассматриваться раздельно.

#### ***6.1.2.1.1.*** Состав

Ледниковые отложения обычно известны как *наносы* (*drift*). Они демонстрируют широкий тип литологии, от обломков пород (изверженных, метаморфических или даже осадочных) до глинистых минералов. Такое многообразие литологии контролируется несколькими факторами (Kukal, 1970):

- характером коренной породы, по которой перемещается ледник;
- морфологическими характеристиками и скоростью течения ледника;
- положением перенесенного материала относительно ледника;
- режимом осадконакопления;
- последующей переработкой талой водой.

Наносы могут быть разделены на две общие категории: *нестратифицированные* и *стратифицированные.*

- *Нестратифицированные наносы* откладываются непосредственно льдом ледникового происхождения. Они называются *моренной глиной* или *микститом*, и находится в *моренах* и *друмлинах*. Нестратифицированные наносы характеризуются постоянным присутствием определенного количества гравийной фракции и равновесием песчаной, алевритовой и глинистой фракций (Kukal, 1970). Более крупные частицы осадочного материала неравномерно рассеяны в тонкозернистой матрице (рис.6.1-3). Важной особенностью ледниковых осадков является присутствие многочисленных неустойчивых минералов, например, полевых шпатов, железомагнезиальных минералов в виде неизмененных угловатых зерен, даже в глинистом сланце и в фракции глинистого размера.

- *Стратифицированные наносы* представляют собой перенесенный льдом осадочный материал, вымытый и отсортированный ледниковыми талыми, согласно размеру частиц. Осадочный материал стратифицированных наносов откладывается в виде узнаваемых слоев, и встречаются в *зандровых долинах* и *ледниковых котловинах*, в *озах*, *камах* и в *годичных лентах* или *ламинитах*, сформировавшихся в ледниковых озерах (рис.6.1-4).

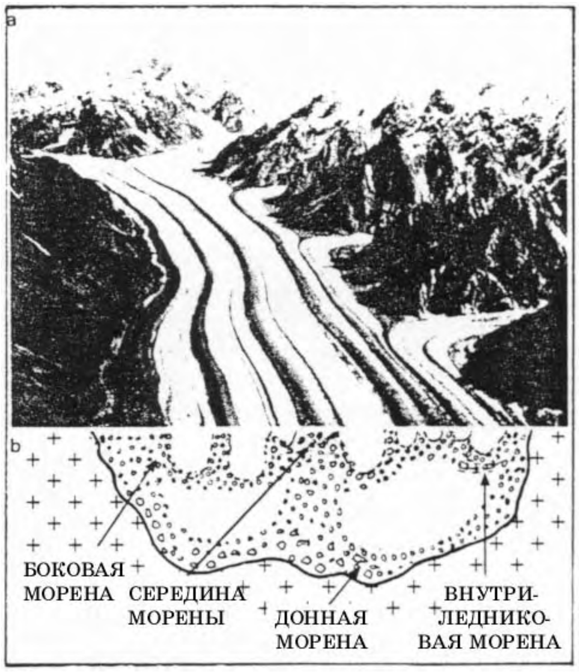



**Рис.6.1-2. (a) Фотография сложного долинного ледника, питаемого множеством боковыми ледниками с моренами. (b) Разрез, иллюстрирующий различные режимы транспортировки и типы твердого стока (из Sharp, 1960).**

**Рис.6.1-3. Пример моренной глины (фотография Holmes, у Pettijohn, 1976).**

Рис.6.1-4. Пример годичных лент (из Pettijohn, 1975).

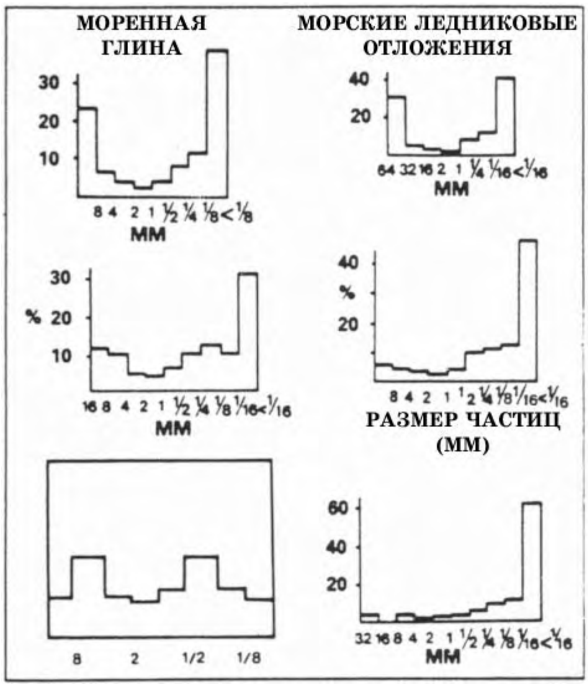



Рис.6.1-5. Примеры распределения размеров частиц (гистограмм) в моренной глине (из Pettijohn, 1975, и Easterbrook, 1982).

### *6.1.2.1.2. Текстура*

В нестратифицированных отложениях сортировка очень плохая (рис.6.1-5); размер частиц изменяется от валунов или крупных эрратических обломков весом несколько тонн, до алеврита или глины, или даже коллоидного материала. Форма угловатая, особенно в песчаной фракции. Галька и валуны окатаны лучше, и демонстрируют наличие штриховки на поверхности. Зандровые отложения отсортированы лучше.

## 6.1.2.2. Структура

В нестратифицированных осадках, в общем случае наблюдается недостаток осадочных (слоистых) структур, и они состоят из массы неоднородного материала, без правильных плоскостей напластования; исключением является случай, когда гальки имеют черепитчатое расположение. В отложениях с выраженной слоистостью, в зандрах наблюдается косая слоистость, передовые слои и структуры размыва и заполнения (рис.6.1-6), а в годичных лентах – ламинация (рис.6.1-7).

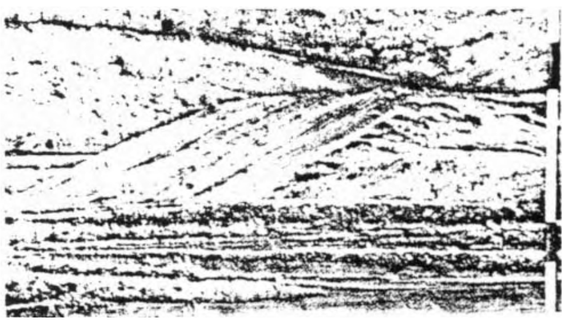


Рис.6.1-6. Пример структуры размыва и заполнения в зандровых отложениях (Augustinus и Riezebos, 1971, в Reineck и Singh, 1980).

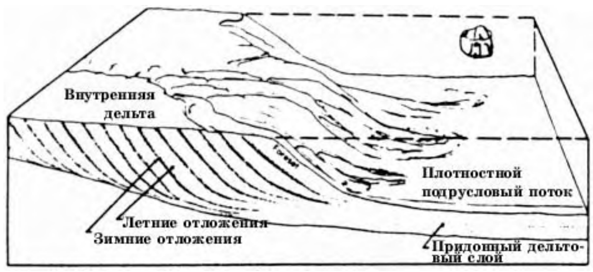



Рис.6.1-8. Осадконакопление в ледниковом озере. В течение лета, тонкослоистый песок со знаками ряби набегания откладывается на проградирующей дельте, а тонкие слои алеврита откладываются плотностным подрусловым потоком на дне озера. В течение зимы, поверхность озера замерзает, и взвешенный глинистый материал мо-

**Рис.6.1-7. Фотография годичной ленты (увеличение 75 ×). Видны тонкие слои алеврита, преимущественно угловатых обломков кварца и полевого шпата, чередующиеся со слоями более тонкого материала (темный цвет) сходного состава, но с повышенным содержанием хлорита (из Pettijohn, 1975).**

**жет осаждаться и облекать предыдущие отложения. Айсберги (береговой и речной лед) могут заносить крупный осадочный материал в озеро во время весеннего таяния и летом (из Edwards, у Reading, 1978).**

### 6.1.2.3. Границы

В общем случае, присутствует резкая эрозионная нижняя граница. В зандровых отложениях с согласными верхними и нижними контактами в годичных лентах может наблюдаться постепенная верхняя граница.

### 6.1.2.4. Последовательности

В зандровых отложениях и в годичных лентах могут наблюдаться последовательности отложения, характеризующиеся уменьшением размера зерен вверх по разрезу (крупные зерна, отложенные в течение летнего периода, более мелкий материал, отложенный в течение зимы).

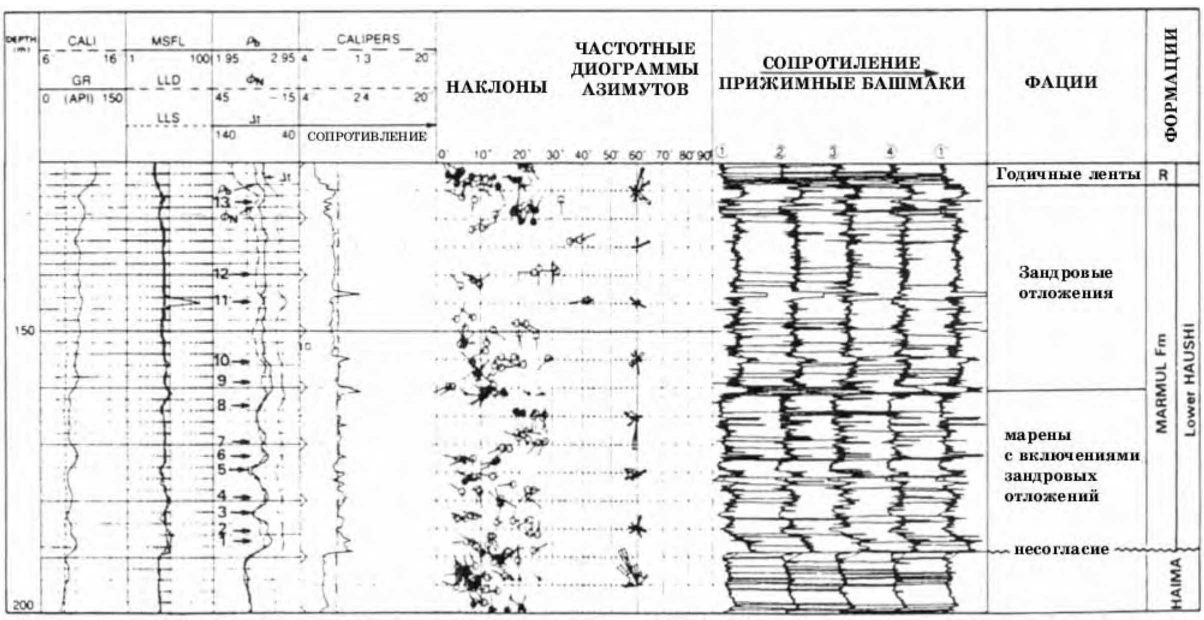



**Рис.6.1-9. Сводная диаграмма, иллюстрирующая типичные каротажные сигналы в ледниковых наносах.**

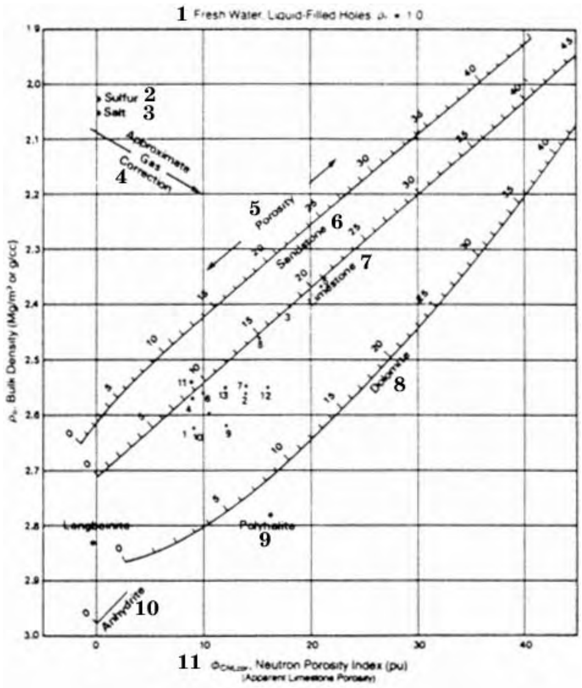



**Рис.6.1-10. Типичный график взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$ в ледниковых наносах**.
(1- Пустоты заполнены пресной водой, $\rho_b$ =1.0; 2- Сера; 3- соль; 4- Приблизительная поправка за газ; 5- Пористость; 6- Песчаник; 7- Известняк; 8- Доломит; 9- Полигалит; 10- Ангидрит; 11- $\varnothing_{CNLcor}$, коэффициент пористости по нейтронному каротажу (ед. пористости) (Кажущаяся пористость известняка)

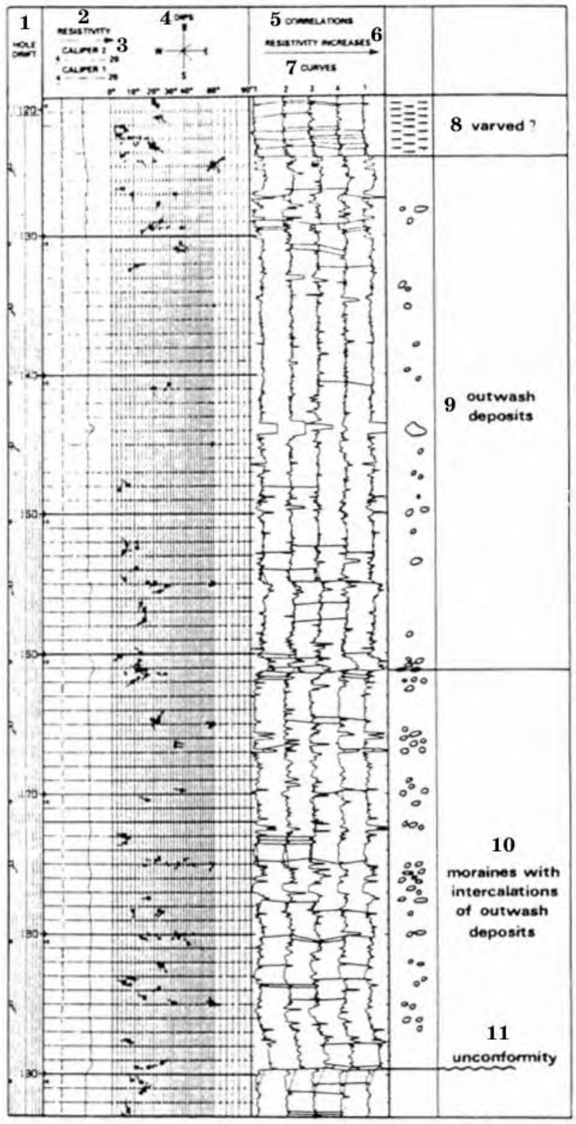



**Рис.6.1-11. Типичные результаты, полученные при применении программы GEODIP к данным наклономера HDT.**
(1- отклонение скважины; 2- сопротивление; 3- каверномер 2; 4- наклоны; 5- корреляции; 6- сопротивление возрастает; 7- кривые; 8- годичные ленты?; 9- зандровые отложения; 10- морены с включениями зандровых отложений; 11- несогласие)

## 6.1.2.5. Геометрия тел и модель направленного потока

Моренные глины могут накапливаться в невысоких холмах или в гребнях сжатия (в *моренах*) различных размеров и форм (серп, петля), или в гладких, вытянутых холмах (*друмлинах*). Друмлин может иметь мощность от 8 до 60 м, и длину от 0.5 до 1 км, которая в несколько раз превышает ширину.

Друмлины могут образовывать группы или поля, длинная ось которых параллельна потоку льда. Годичные ленты, типичные для ледниково-озерных отложений (рис.6.1-8), имеют среднюю мощность от 6 до 10 см. Сама годичная лента состоит из тонких слоев (ламин) толщиной от 0.2 до 1 мм, количество которых изменяется от 75 до 150. Они указывают на сезонные колебания скорости поступления осадочного материала, и могут накапливаться в очень мощных покровах, мощность которых превышает несколько десятков метров.

### 6.1.2.6. Окружающие фации

В общем случае, ледниковые отложения постепенно переходят в отложения ветвящихся русел. Если ледник заканчивается в воде, формируются дельтовидные элементы, которые постепенно переходят в озерные или морские осадки.

### 6.1.2.7 Характеристики коллекторов

Ледниковые отложения не образуют пород с потенциально высокими коллекторскими свойствами. Как правило, это связано с высоким содержанием тонкозернистого материала (алеврита, песка, глин), присутствующего в отложениях.

## 6.1.3. КАРОТАЖНЫЕ СИГНАЛЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

### 6.1.3.1. Электро-литофации

Естественная радиоактивность (содержание тория и калия) может изменяться в широких пределах, в зависимости от типа исходной породы, отражающего химическую незрелость материала. В примере на рис.6.1-9 (Оман), показания ГК изменяются от 45 до 75 ед. API, что указывает на относительно незрелый материал метаморфического или осадочного происхождения (de la Grandville, 1982). На графике взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$, фигуративные точки попадают между линиями песчаника и доломита, предполагая присутствие тяжелых минералов (полевых шпатов, плагиоклазов, амфиболов) и глины. Пористость изменяется от 5 до 20% (рис.6.1-10).

### 6.1.3.2. Сигнал наклономера и картины наклонов

В общем случае, моренные глины и зандровые отложения характеризуются кривыми сопротивления наклономера, сильно осложненными «помехами». Эти кривые демонстрируют беспорядочные максимумы различных размеров, которые не коррелируются или коррелируются неправильно, давая немногочисленные наклоны (или без наклонов) с различными величинами и азимутами (рис.6-1-11). Ширина событий от кривой к кривой изменяется в широких пределах. Посмотрите на рис.6.1-11 (глубина 144 м): событие на прижимном башмаке 2 имеет ширину около 1 м, и исчезает на прижимном башмаке 4. Это предполагает наличие обломка угловатой формы, поскольку окатанный валун с диаметром, близким к 1 м, должен распространяться дальше прижимного башмака 4. Угловатая форма обломков должна быть лучше видна на изображениях FMS. Зандровые отложения, вероятно, должны опознаваться по меньшей амплитуде пиков сопротивления с меньшим количеством широких событий. Отложения годичных лент должны характеризоваться многочисленными наклонами с одинаковой величиной и азимутом (если имеется значительное различие в сопротивлении между летними и зимними отложениями).

#### 6.1.3.3. Границы

На большинстве диаграмм ГИС, границы пластов в моренных глинах не выявляются. Иногда они распознаются в зандровых отложениях.

#### 6.1.3.4. Электрокомплексы

На диаграммах ГИС может наблюдаться некоторое количество рампов (например, между выборками 4 и 5 на рис.6.1-9). Они отражают изменения пористости, которые могут соответствовать лучшей сортировке зерен с размерностью от крупной до средней.

#### 6.1.3.5. Ошибочная интерпретация обстановки осадконакопления

Моренные глины и зандровые отложения могут быть приняты за отложения аллювиального конуса выноса и обломочных потоков. Чтобы избежать такой ситуации, вероятно, можно использовать угловатую форму событий на кривых сопротивления.

## *6.2. ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ АЛЛЮВИАЛЬНОГО КОНУСА ВЫНОСА*

### **6.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ**

Континентальная обстановка осадконакопления, характеризующаяся наличием крупных осадков, формирует веер или сегмент конуса, отложенный сходящим с гор потоком на выходе из узкой долины на равнину или широкую долину. Вид сверху на современный аллювиальный конус выноса показан на рис.6.2-1, а общая литологическая колонка – на рис.6.2-2.

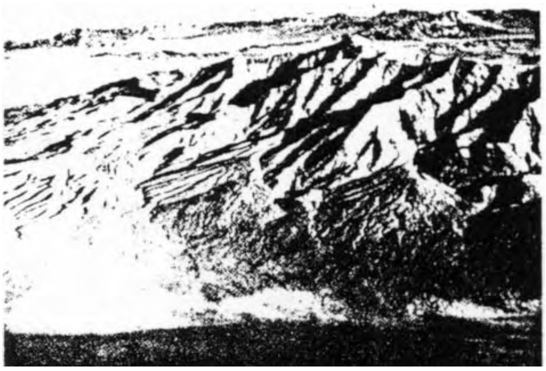


**Рис.6.2-1. Аллювиальные конусы выноса в пустыне Мохаве, Калифорния. Каждый конус отложен в месте резкого изменения склона у подножия гор (фото J.R. Balsley, U.S. Geological Survey; в Press и Siever, 1978).**

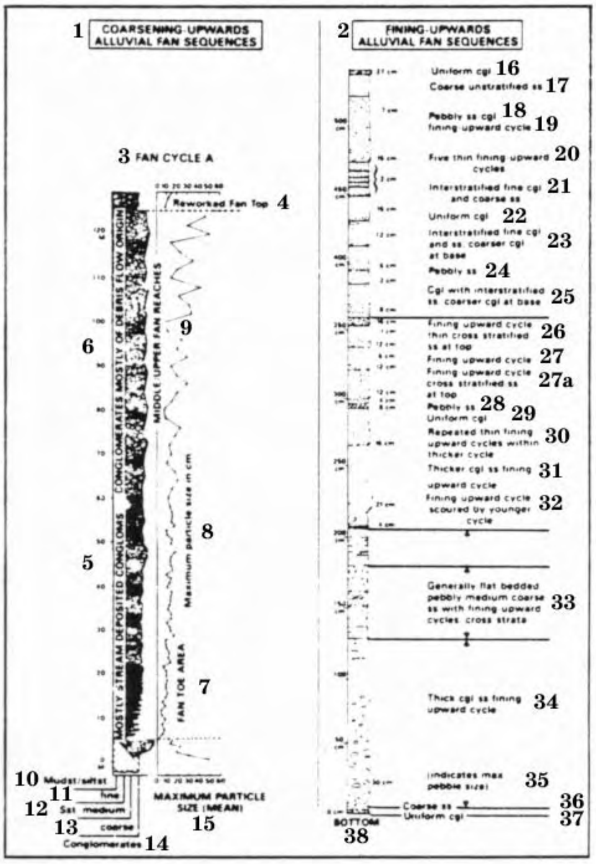



**Рис.6.2-2. Примеры увеличения размера зерен вверх по разрезу (цикл девонского аллювиального конуса выноса в бассейне Hornelen, Норвегия; из Steel *и др.*, 1977), и уменьшения размера зерен вверх по разрезу (девон, западная Норвегия, из Nilsen, 1969), демонстрирующие циклическое осадконакопление.**

(1- последовательности аллювиального конуса выноса, характеризующиеся увеличением размера зерен вверх по разрезу; 2- последовательности аллювиального конуса выноса, характеризующиеся уменьшением размера зерен вверх по разрезу; 3- цикл конуса А;4- Переработанная кровля конуса выноса; 5- конгломераты, отложенные, в основном, водным потоком; 6- конгломераты, источником которых является, преимущественно, обломочный поток; 7- зона подошвы конуса выноса; 8- Максимальный размер частиц (в сантиметрах); 9- интервалы средней/нижней части конуса выноса; 10- аргиллит/алевролит; 11- тонкозернистые отложения; 12- среднезернистые отложения; 13- крупнозернистые отложения; 14- Конгломераты; 15- максимальный средний размер частиц; 16- Однородный конгломерат; 17- Крупнозернистый нестратифицированный песчаник; 18- Галечниковый песчаник, конгломерат; 19- цикл, характеризующийся уменьшением размера зерен вверх по разрезу; 20- Пять тонких циклов, характеризующихся уменьшением размера зерен вверх по разрезу; 21- Нестратифицированный тонкозернистый конгломерат и крупнозернистый песчаник; 22- Однородный конгломерат; 23- Нестратифицированный тонкозернистый конгломерат и песчаник; в подошве – более крупнозернистый конгломерат; 24- Галечниковый песчаник; 25- Конгломерат с нестратифицированным песчаником; в подошве – более крупнозернистый конгломерат; 26- Цикл, характеризующийся уменьшением размера зерен вверх по разрезу; в кровле – тонкий слоистый песчаник с косой слоистостью; 27- Цикл, характеризующийся уменьшением размера зерен вверх по разрезу; 27а- Цикл, характеризующийся уменьшением размера зерен вверх по разрезу; в кровле – косослоистый песчаник; 28- Галечниковый песчаник; 29- Однородный конгломерат; 30- Повторяющиеся тонкие циклы, характеризующиеся уменьшением размера зерен вверх по разрезу, внутри более мощных циклов; 31- Мощный конгломератовый песчаник; цикл, характеризующийся уменьшением размера зерен вверх по разрезу; 32- Цикл, характеризующийся уменьшением размера зерен вверх по разрезу, размытый более поздним циклом; 33- В основном, плоскослоистый галечниковый песчаник, среднезернистый до крупнозернистого, с циклами, характеризующимися уменьшением размера зерен вверх по разрезу; косые слои; 34- Мощный конгломератовый песчаник; цикл, характеризующийся уменьшением размера зерен вверх по разрезу; 35- (обозначает максимальный размер гальки); 36- Крупнозернистый песчаник; 37- Однородный конгломерат; 38- подошва)

## 6.2.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ФАЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

### 6.2.2.1. Литология

Два параметра должны быть рассмотрены по отдельности.

### ***6.2.2.1.1.*** Состав

Отложения аллювиального конуса выноса, по существу, представлены обломками пород, минеральный состав которых зависит от геологического источника. Вниз по разрезу конуса, обломки пород становятся менее распространенными в результате абразии при транспортировке. Матрица гравия конуса выноса представляет собой песок или ил первичного или вторичного происхождения, с заполнением межзернового порового пространства более тонким материалом, отложенным разветвленной рекой на предыдущий конус выноса. Сохраняя свою химическую незрелость, отложения аллювиального конуса выноса изменяются от аркозов до лититового кварца. Могут присутствовать обломки растений. Глина встречается в виде пленки вокруг зерен песка или в виде частичного заполнения межзерновых пустот.

### ***6.2.2.1.2.*** Текстура

По размеру частицы изменяются от валуна до глины, не менее 50% частиц имеют диаметр больше 2 мм. Осадочный материал песчаной и алевритовой размерности обычно содержится в подчиненном количестве (рис.6.2-3); в обломочных или в грязевых потоках содержание глины возрастает.

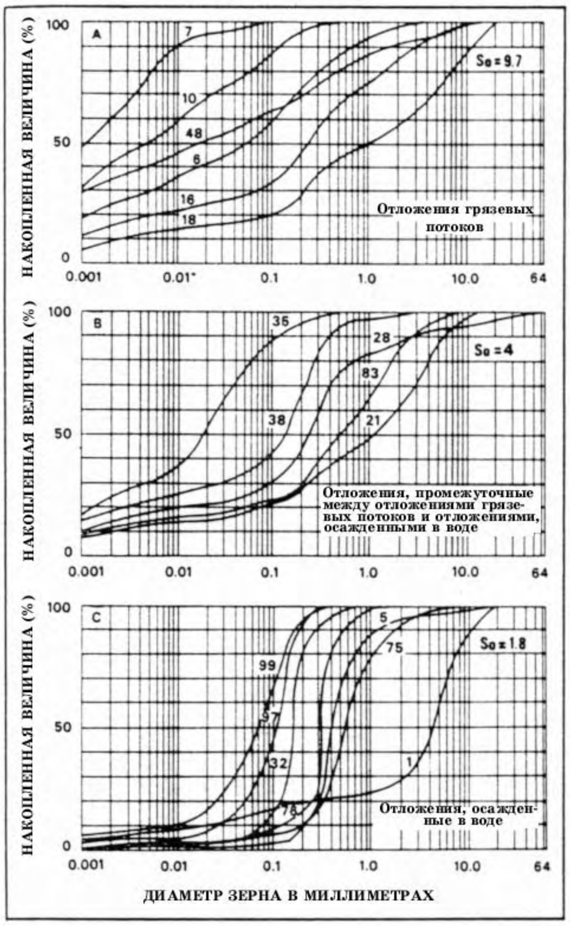



**Рис.6.2-3. Кривые распределения размера зерен и коэффициенты сортировки для трех основных типов отложений аллювиального конуса выноса.**

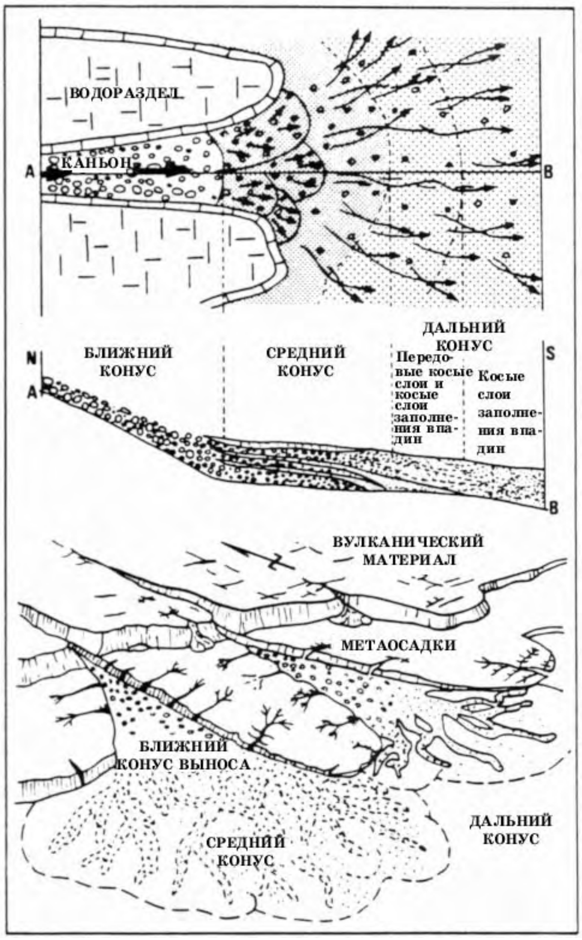



**Рис.6.2-4. Блок-диаграмма, вид в плане и разрез конуса Van Horn, Западный Техас. Ширина стрелок на виде в плане показывает относительную несущую способность водного потока. Профиль и разрез показывают уменьшение крутизны и размера частиц вниз по конусу, и типы стратификации: ближний конус = массивный конгломерат; средний конус = чередование конгломерата и косослоистого песчаника; дальний конус = косослоистый песчаник (из McGowen и Groat, 1971).**

Характерны резкие изменения максимального или среднего размера зерен и окатанности. Форма частиц изменяется от угловатой до очень хорошо окатанной. В общем случае, размер частиц уменьшается от вершины конуса (или ближнего конуса) до подошвы конуса (или дальнего конуса) (рис.6.2-4). Но в проницаемых отложениях, вниз по склону от точки пересечения (рис.6.2-5), где вода не будет осуществлять транспортировку, крупнозернистый материал откладывается на подошве и действует как сито, удерживающее более мелкий материал, содержание глины возрастает. Вниз по конусу обломки становятся более окатанными, а мощность пластов возрастает. Сортировка отложений обломочных потоков и грязевых потоков обычно плохая. Отложения водных потоков сортированы лучше.

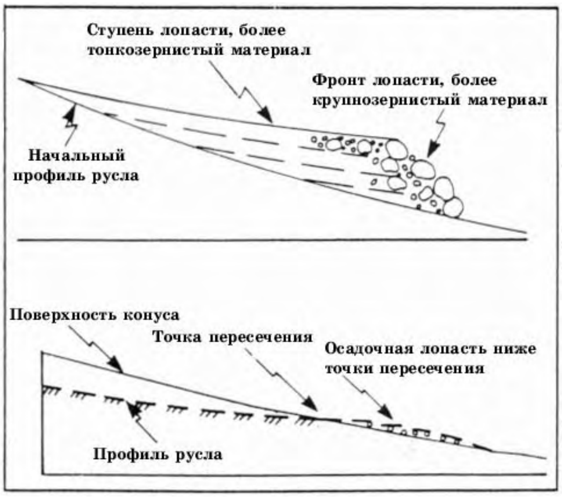



**Рис.6.2-5. Схематический чертеж ситовой лопасти[1] (из Hooke, 1967).**

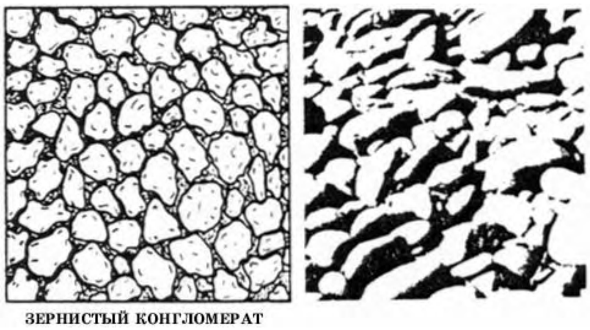



**Рис.6.2-6. Пример зернистого конгломерата.**

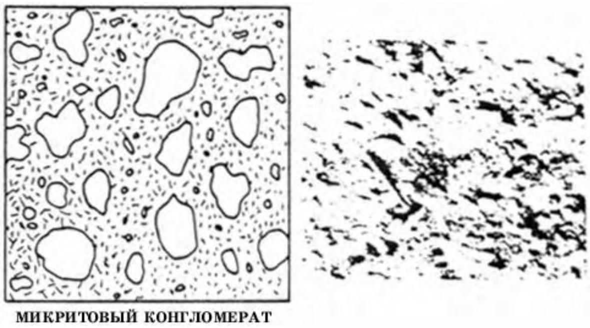



**Рис.6.2-7. Пример микритового конгломерата**.

Следует различать зернистые (рис.6.2-6) и микритовые (matrix) (рис.6.2-7) конгломераты.

Зернистые конгломераты являются преобладающими фациями отложений водного потока или осадков, отложенных в воде в пределах ближнего конуса, тогда как микритовые конгломераты более характерны для отложений обломочного потока или грязевого потока. Они находятся также в дальних конусах или в осадках, отложенных в воде. Согласно Bull (1977), обломочные потоки образуются на крутых (более 10°) склонах, с недостатком растительности, в течение коротких периодов обильного поступления воды (сильных дождей в сухих областях, или быстрого таяния). Осадки, отложенные в воде, характерны для влажных областей с постоянным поступлением воды (постоянная река).

## 6.2.2.2. Структура

Для данной обстановки осадконакопления, основной структурой является зернистый галечник с корытообразной косой слоистостью, а второстепенной структурой – галечник с плоскопараллельной косой слоистостью, а также пески с корытообразной и плоскопараллельной косой слоистостью (рис.6.2-8). Часто встречается градационная слоистость, в основном с уменьшением размера зерен вверх по разрезу, но в случае тектонического поднятия может иметь место увеличение размера зерен вверх по разрезу (Steel *и др*., 1977).

---

[1] Лопастевидная масса, образованная грубозернистыми «ситовыми» отложениями на аллювиальном конусе выноса.

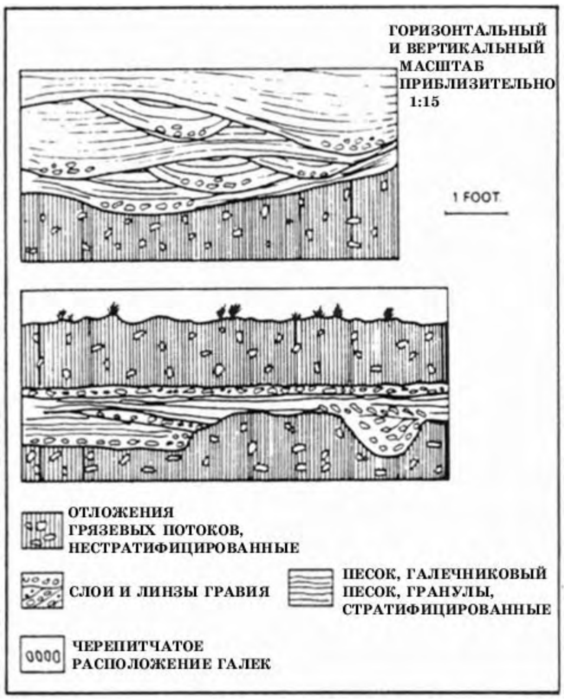



**Рис.6.2-8. Характерные осадочные структуры в аллювиальном конусе выноса (из Blissenbach, 1954; в Spearing, 1971).**

### 6.2.2.3. Границы

Нижний контакт в основном неправильный, эрозионный, постепенный в направлении кровли.

### 6.2.2.4. Последовательности

Ритмическое осадконакопление, с изменением мощности каждой последовательности от нескольких сантиметров до нескольких метров. Обычно наблюдаются десятки или сотни наложенных последовательностей. Латеральная фациальная последовательность представляет собой отложения аллювиального конуса выноса, которые эволюционируют до отложений разветвленной реки и поймы.

### 6.2.2.5. Геометрия тел

Каждая последовательность в составе конуса выноса представляет собой длинное узкое тело в форме языка, простирающееся в радиальном направлении вниз по склону от вершины конуса. Площадь осадконакопления от одного наводнения может иметь длину до нескольких километров, но ее ширина составляет лишь от 150 до 500 м (рис.6.2-9). Величина площади изменяется от 1 до 900 кв. км, а мощность – от нескольких сотен метров до 10 000 м (Южная Калифорния). На поперечном профиле тела имеют форму, вогнутую кверху, а на радиальном профиле – форму, выпуклую кверху (рис.6.2-10). Наклоны поверхности конуса сильно изменяются, но их величина меньше 10°.

### 6.2.2.6. Модель направленного потока

Общее направление потока является радиальным, и его можно вывести из черепитчатого расположения галек (рис.6.2-11).

### 6.2.2.7. Окружающие фации

Конусы выноса могут перемежаться с делювиальными отложениями в сторону источника сноса. Края конуса могут сливаться или чередоваться с отложениями плайи, поймы, эоловых дюн и речных песков. Отложения плайевого озера легко различаются по преобладанию глинистой размерности и химическому составу (карбонаты, эвапориты). Отложения поймы имеют более выраженную слоистость, нежели аллювиальный конус выноса. Эоловые пески распознаются по картине наклона (см. Главу 6.3).

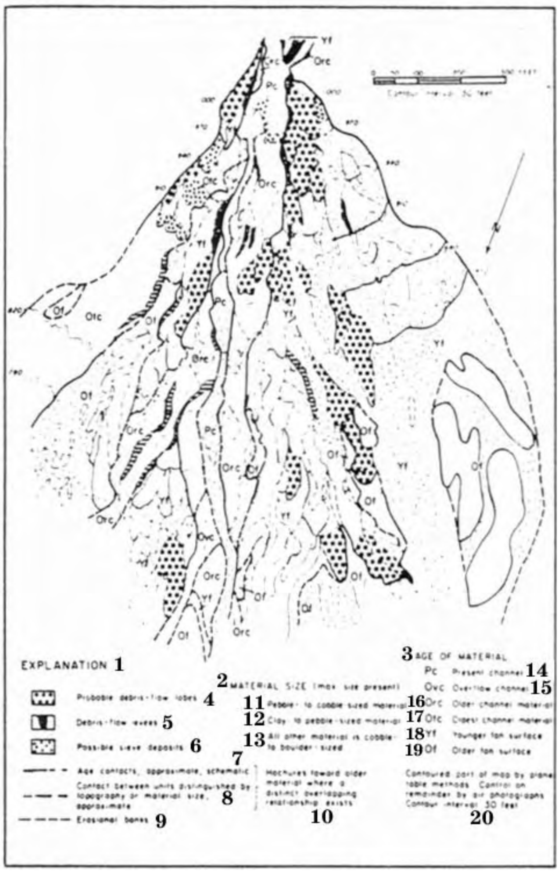



**Рис.6.2-9. Распределение различных типов осадочного материала в аллювиальном конусе выноса Trollheim (из Hooke, 1967).**
(1- условные обозначения; 2- максимальный размер материала; 3- возраст материала; 4- Возможно, лопастеобразные отложения обломочных потоков; 5- Намывные валы, образованные обломочными потоками; 6- Возможно, «ситовые» отложения; 7- Приблизительные возрастные контакты, схематические; 8- Приблизительный контакт между единицами, различаемыми по рельефу или по размеру материала; 9- Эрозионные берега; 10- Штрихи направлены в сторону более древнего материала; *а* обозначает перекрытие; 11- Материал размерностью от гальки до булыжника; 12- материал размерностью от глины до гальки; 13- Весь остальной материал имеет размерность от булыжника до валуна; 14- Pc Современное русло; 15- Ovc Русло слива; 16- Orc Материал более древнего русла; 17- Материал самого древнего русла; 18- Поверхность более позднего конуса; 19- Поверхность более древнего конуса; 20- При построении части карты с изолиниями использовалась мензула; остальная часть карты строилась по данным аэрофотосъемки. Шаг изолиний – 30 футов)


**Рис.6.2-10. Схематический разрез аллювиального конуса выноса (из Spearing, 1971).**
(1- вершина конуса; 2- средняя часть конуса; 3- Дальние фации: могут быть отложения плайи, озерные, пойменные отложения, дюны; 4- дальние фации подошвы конуса)

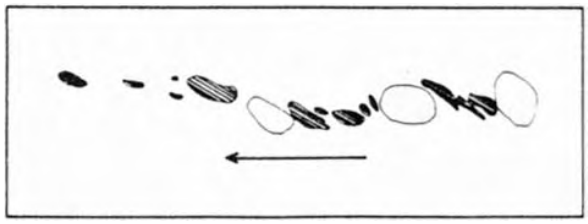


**Рис.6.2-11. Схема, показывающая черепитчатое расположение в одном прослое гальки. Архейский конгломерат, озеро Little Vermilion, Онтарио, Канада. Стрелка показывает направление потока**.

## 6.2.2.8. Характеристики коллектора

«Отложения аллювиального конуса выноса обычно не являются породой-коллектором для нефти, поскольку они не связаны с нефтематеринскими породами, и не имеют достаточной протяженности в латеральном направлении. Кроме того, у отложений аллювиального конуса выноса отсутствует покрышка, они обладают низкой проницаемостью и пористостью, что обусловлено диагенезом, и, в общем случае, не содержат фаций, которые являются хорошими нефтематеринскими породами» (Nilsen, 1982).

## 6.2.3. КАРОТАЖНЫЕ СИГНАЛЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

### 6.2.3.1. Электро-литофации

Радиоактивность (содержание калия и тория) обычно средняя до высокой, и отражает химическую незрелость и присутствие полевых шпатов, слюд и обломков изверженных, метаморфических или даже осадочных пород. Поскольку среда является окислительной, уран присутствует только в том случае, если в состав исходной породы входят урансодержащие минералы (т.е. речь идет о граните). На графике взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$, фигуративные точки попадают линией песка (кварца) и «областью» глинистого сланца, согласно составу обломков пород и процентному содержанию матрицы. Величина Pe обычно изменяется от 2 до 3 b/e. На рис.6.2-12 показаны типичные каротажные сигналы в таких фациях.

### 6.2.3.2. Картины наклонов

**Рис.6.2-12. Типичные каротажные сигналы в отложениях аллювиального конуса выноса. Кривые отражают определенную неоднородность в мощном интервале**.

На рис.6.2-13 представлен типичный результат применения GEODIP в аллювиальном конусе (часть рис.6.2-12). Зернистые конгломераты характеризуются высоким сопротивлением с низкой амплитудной активностью кривых, без корреляции (или с ошибочной корреляцией), и с редкими и разбросанными наклонами. Микритовые (или сцементированные глиной) конгломераты характеризуются повышенной амплитудной активностью, интервалами более низкого сопротивления с изолированными максимумами сопротивления, которые соответствуют плотному затвердевшему галечнику, заключенному в матрицу с меньшим сопротивлением. Слои гальки иногда могут чередоваться со слоями песка. Это позволяет выполнять корреляцию и рассчитывать наклоны для осадков, отложенных в воде. Некоторые весьма устойчивые и сильные наклоны могут соответствовать отложениям эолового песка (если зеленая картина наклона не связана со структурным наклоном), или осадкам, отложенным в воде (если имеется связь зеленой картины со структурным наклоном). Могут быть выявлены гальки, ориентация которых иногда определяется по изображениям FMS.

### 6.2.3.3. Границы

Нижний отчетливый эрозионный контакт, как и ожидалось теоретически, как результат слияния гальки с предыдущей единицей, наблюдается нечасто. Этот резкий контакт может иметь место только на одной или двух кривых. Верхний постепенный контакт лучше виден на осредненной кривой сопротивления.

## 6.2.3.4. Электрокомплексы

Последующая эволюция размера зерен видна осредненной кривой сопротивления более четко, чем на необработанной кривой, где мелкие пики сопротивления расположены случайным образом, и скрывают общий тренд.

## 6.2.3.5. Направление потока

Направление потока по данным наклономера определить непросто; лучше воспользоваться картами изопахит аллювиальных отложений.

## 6.2.3.6. Мощность

Упомянутые выше характеристики сохраняются на протяжении нескольких десятков или сотен метров.

## 6.2.3.7. Неправильная интерпретация обстановки осадконакопления

Иногда отложения аллювиального конуса выноса могут быть приняты за ледниковые отложения, или за отложения обломочных потоков. Угловатая форма событий на кривой сопротивления может помочь отличить эти отложения от моренных глин. По положению отложений в мегакомплексе можно сделать вывод, что мы видим: отложения аллювиального конуса выноса (мегакомплексы с общим уменьшением размера зерен вверх по разрезу), или отложения обломочных потоков (мегакомплексы с общим увеличением размера зерен вверх по разрезу).


**Рис.6.2-13. Типичная реакция GEODIP в аллювиальном конусе выноса и ее интерпретация. Она соответствует короткому интервалу предыдущей сводной диаграммы.**

## *6.3. ЭОЛОВАЯ ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ*

### 6.3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Это континентальная обстановка осадконакопления, которая характеризуется отложениями, возникшими в результате действия ветра, и часто смешанными с речными или себховыми[1] фациями. Вид сверху современных дюн представлен на рис.6.3-1, а литологическая колонка – на рис.6.3-2. Ahlbrandt *и др*. (1982) различает три эоловых подобстановки осадконакопления: дюнную, междюнную и песчаный щит.

**Рис.6.3-1. Аэрофотоснимок песчаной дюны в пустыне Саудовской Аравии (из ARAMCO, в Press и Siever, 1978, рис.8-16).**


**Рис.6.3-2. Вертикальный разрез эоловых отложений на северо-западе Европы, южная часть бассейна Rotliegendes (из Glennie, 1970).**

### 6.3.2. ГЕОЛГИЧЕСКАЯ ФАЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

#### 6.3.2.1. Литология

Два параметра должны быть рассмотрены по отдельности.

#### ***6.3.2.1.1***. Состав

Типичные дюны состоят из песков, от протокварцитовых до кварцитовых (зерна кварца составляют более 85%). Однако в зависимости от кластических ис-

[1] Себха – «плоские соляные участки, которые время от времени подвергаются затоплению» (Kinsman, 1969).

ходных пород и расстояния транспортировки, описаны дюны, которые состоят из морского известкового песка (Багамы), оолитовые дюны (Абу-Даби), и дюны, состоящие из лессового и гипсового песка (White Sands, Нью-Мексико). Могут присутствовать тяжелые минералы, но отмечается тенденция к изменению железосодержащих минералов. Согласно составу, песчаные дюны рассматриваются как химически зрелые отложения. В эоловой обстановке осадконакопления, глины являются второстепенными компонентами, и встречаются только в отложениях вади, в междюнной или прибрежной себхе, во внутриконтинентальной себхе и в плайевых озерах, или в виде постседиментационных аутигенных минералов. Цемент может быть кальцитовым или доломитовым, и часто обусловлен подъемом уровня грунтовых вод (фреатического уровня). В отложениях вади или себхи, испытывающих языковидное выклинивание, могут присутствовать конкреции гипса или ангидрита.

### ***6.3.2.1.2.*** Текстура

В общем случае, эоловые пески состоят из зерен песка, от мелких до средних (0.2-0.5 мм), хорошо окатанных и отсортированных (рис.6.3-3), подвергшихся морозному выветриванию и характеризующихся положительным отклонением на графиках распределения. Однако Ahlbrandt (1979) распознает три текстурные группы:

- внутриконтинентальные дюнные пески, с сортировкой от умеренной до хорошей, от тонко- до среднезернистых;
- хорошо отсортированные, тонкозернистые прибрежные дюнные пески;
- междюнные пески или пески серира (галечниковой пустыни), с сортировкой от умеренной до очень плохой.

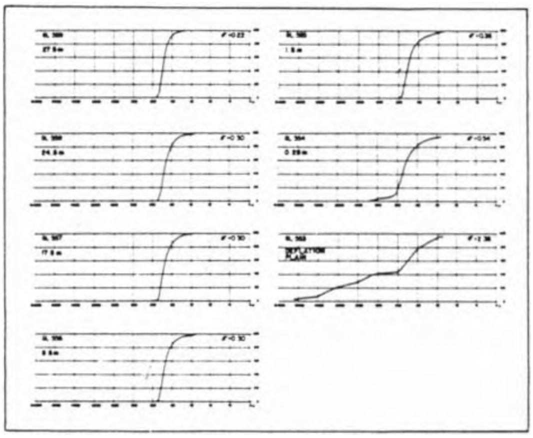


**Рис.6.3-3. Кривые распределения размера зерен и коэффициенты сортировки (из Glennie, 1970).**

На гребнях дюн зерна обычно крупнее, чем в соседних низинах, но остаточные зерна в низинах могут быть крупнее, чем в соседних крупных дюнах. Отсутствие тонкозернистого материала (глин) и слюдистых минералов, обусловленное отсеиванием под действием ветра, дает большую величину отношения зерна/матрица. Плоские дефляционные поверхности (сериры) могут характеризоваться остаточными отложениями из более крупных зерен. Эти зерна распределены весьма равномерно, благодаря дефляции и сальтации песка по поверхности.

## 6.3.2.2. Структура

Ниже перечислены следующие внутренние структуры дюн (рис.6.3-6, 6.3-8, 6.3-10, 6.3-12).

1) Крупномасштабные косые слои с углами наклона от умеренных до больших (до 34°), ориентированные в направлении ветра (downwind), свиты (sets) в основном клиновидно-плоскостные (wedge planar) до пластинчато-плоскостных (tabular planar); внутри них находятся тонкие слои (ламины – lamines), наклонные к нижней границе.
2) Последовательные границы, разделяющие отдельные косослоистые свиты, ориентированные горизонтально или в направлении ветра с малым углом падения.
3) Косослоистые свиты становятся тоньше в направлении вершины дюн: по мере роста дюн, ветер чаще срезает верхние слои, что и является причиной уменьшения мощности свит.
4) Наклонные передовые слои постепенно увеличиваются в направлении ветра.
5) Конволютная слоистость.
6) Редкая слойчатость ряби.

### 6.3.2.3. Границы

Для каждой единицы характерны отчетливые резкие контакты. Они могут быть даже волнообразными из-за междюнного выдувания, которое образует линии перегиба и сериры (рис.6.3-4). Граница связана с фреатическим контролем над процессами дефляции (Reineck *и др.*, 1975). В результате профилирования фреатических уровней формируются междюнные отложения (оазис, внутриконтинентальные себхи). Отложения катастрофических наводнений также ответственны за размытые границы.

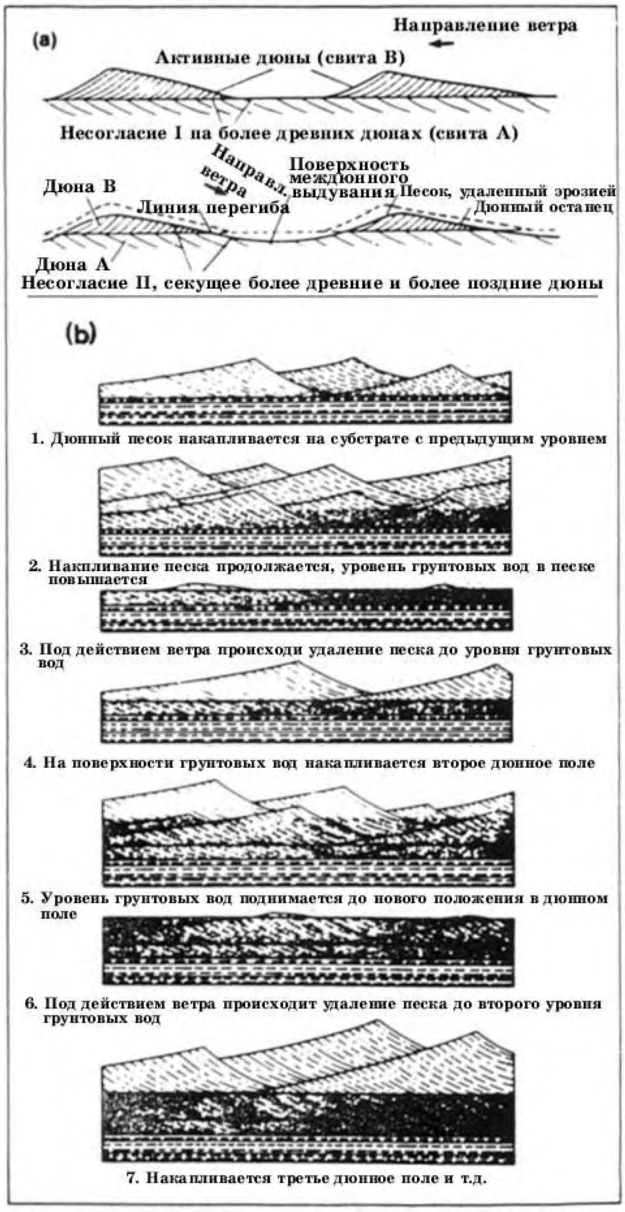



**Рис.6.3-4. (a) Развитие ковшеобразных поверхностей эрозии и линий перегиба внутри песков эоловых дюн под действием междюнного выдувания (из Walker и Harms, 1972). (b) Схемы, показывающие поверхности горизонтального срезания и роль фреатического уровня (из Stokes, 1968).**

## 6.3.2.4. Последовательности

Иногда для дюн описывается хорошо определенная последовательность, характеризующаяся уменьшением размера зерен вверх по разрезу (рис.6.3-2 и 6.3-14). Тип дюны, сохранение ветров и влияния речных или морских условий также будут сказываться на последующем расположении этих последовательностей. Осадочные структуры тоже показывают вертикальную организацию с единицами, характеризующимися потерей мощности вверх по разрезу. Придонные слои развиваются на отчетливых нижних контактах; выше следуют плоскостные косые слои, перекрываемые отложениями, на которые влияют изменения фреатического уровня. Последовательность может прерываться руслами вади или речными системами.


**Рис.6.3-5. Основные типы дюн, показывающие ориентацию относительно преобладающего направления ветра (показано стрелками) (из Spearing, 1971).**

## 6.3.2.5. Геометрия тел и модель направленного потока

Поскольку модель потока определяет геометрию дюны, без какого-либо другого влияния наклонов, невозможно отделить геометрию дюны от моделей направленного потока. Они будут рассмотрены вместе как более объемлющие пункты.

В современных дюнных полях распознаются несколько типов дюн (рис.6.3-5).
Каждый тип дюны можно охарактеризовать картиной наклона и формой частотной диаграммы азимутов. Приведенные ниже рисунки иллюстриру-


Рис.6.3-6.Внутренняя слоистость параболической дюны, White Sands, Нью-Мексико (McKee, 1966).

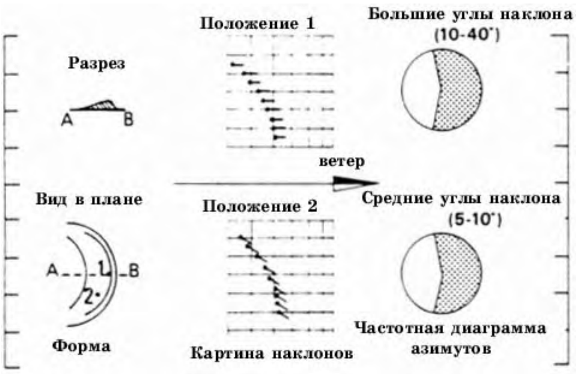



Рис.6.3-7. Форма, картина наклонов и частотная диаграмма азимутов параболической дюны.

ют внутреннюю слоистость и наклоны, а также диаграммы азимутов.

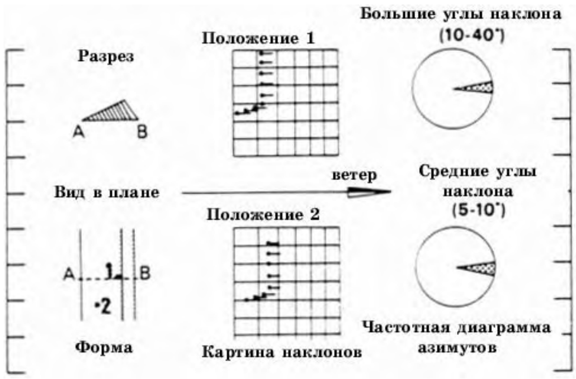



Рис.6.3-9. Форма, картина наклонов и частотная диаграмма азимутов поперечной дюны.

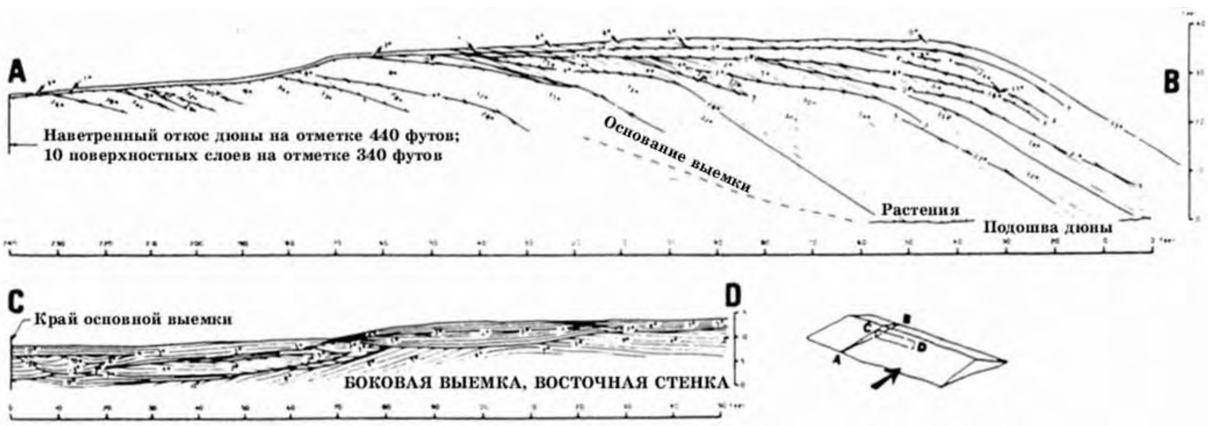



Рис.6.3-8.Внутренняя слоистость поперечной дюны, White Sands, Нью-Мексико (McKee, 1966).

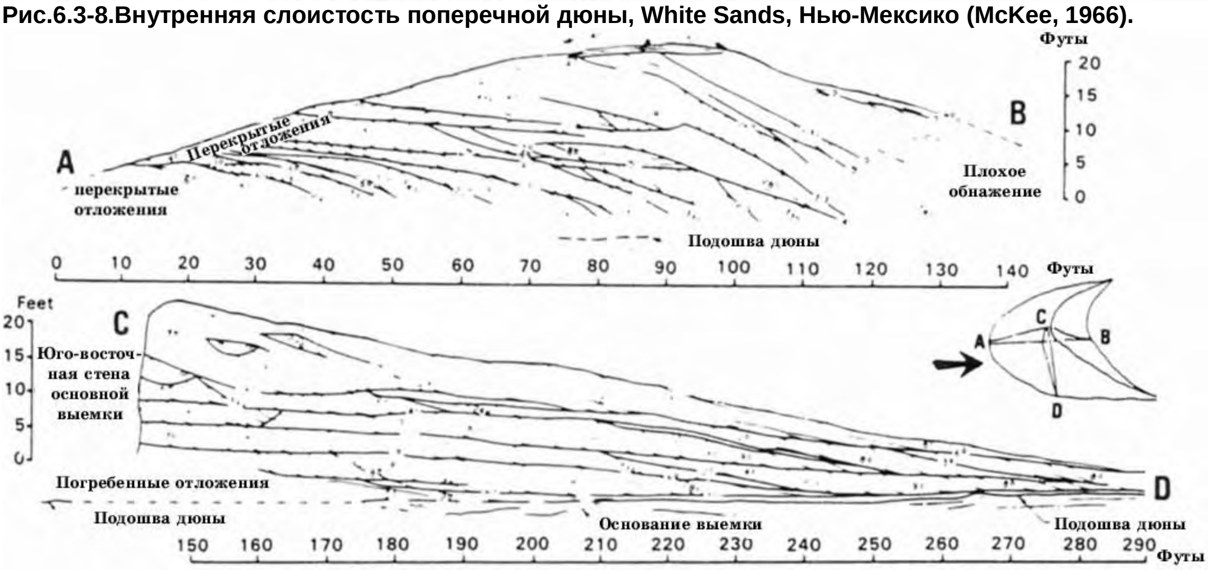


**Рис.6.3-10. Внутренняя слоистость бархана, White Sands, Нью-Мексико (McKee, 1966).**

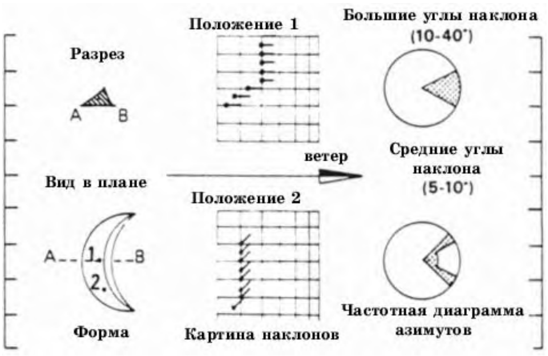



**Рис.6.3-11. Форма, картина наклонов и частотная диаграмма азимутов бархана.**

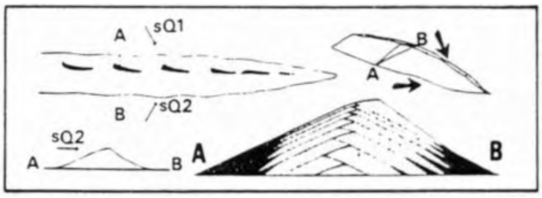



**Рис.6.3-12. Внутренняя слоистость копьевидной дюны, Северная Африка (Bagnold, 1941).**

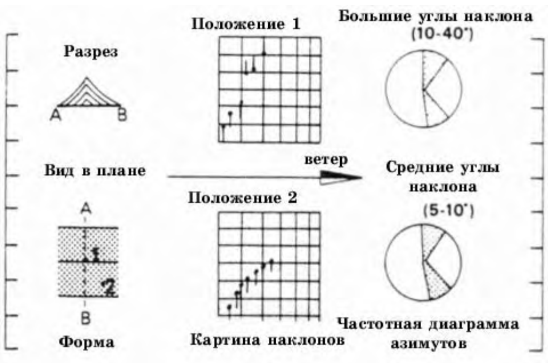



**Рис.6.3-13. Форма, картина наклонов и частотная диаграмма азимутов копьевидной дюны.**

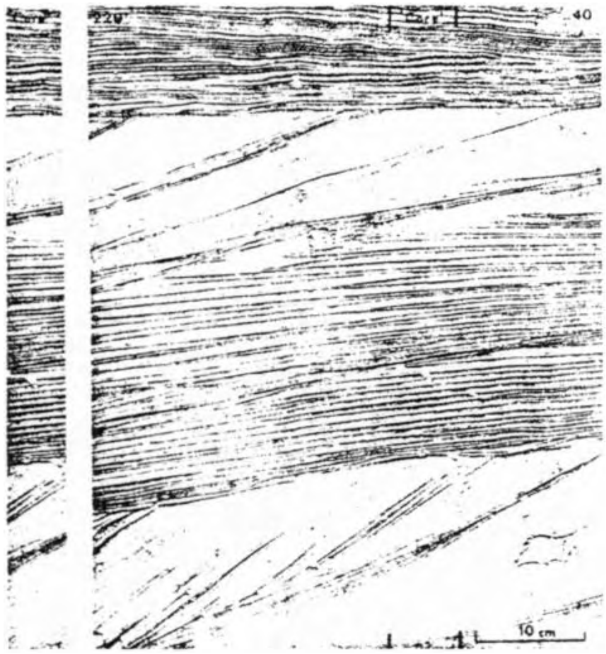



**Рис.6.3-14. Карта со снятым покровом Lacquer и «керн» из копьевидной дюны. Дубаи, Trucial Coast (из Glennie, 1970).**

## 6.3.2.6. Окружающие фации

Эоловые дюны располагаются в сухих пустынях, вдоль рек и береговых линий. Следовательно, эоловые пески могут выполаживаться (grade) в горизонтальном направлении или испытывать языковидное выклинивание прибрежными морскими песками, алевритом или глинами, речными паводковыми алевритами и глинами, или отложениями аллювиального конуса выноса, плайи и эвапоритами пустыни (рис.6.3-15).

**Рис.6.3-15. Пример эоловых отложений в Колорадо, США. Описание керна соответствует песчанику Weber (пенсильваний-пермь) из скважины Larson B-15, компания Chevron (из Fryberger, 1979).**

(1- глубина; 2- пятна нефти; 3- литологическая колонка; 4- пористость (%) проницаемость (мД); 5- фукоиды; 6- комментарий; 7- доломит; 8- обломочные дайки; 9- биотурбация; 10- вертикальные фукоиды; 11- смятые тонкие слои; 12- биотит; 13- уменьшение размера зерен вверх по разрезу; 14- смятые тонкие слои; 14а- диастемы; 15- трещины)



**Рис.6.3-16. Кривые FDC-CNL-GR показывают типичные сигналы в дюнных песках**.

## 6.3.2.7. Характеристики коллектора

Эоловые отложения представляют собой сложные неоднородные коллекторы. Это вызвано следующими причинами:

«1). Прерывистость зон коллекторов в горизонтальном направлении.

2). Непроницаемые или малопроницаемые карбонатные или плоскослоистые единицы, чередующиеся с более проницаемыми косослоистыми единицами.

3). Анизотропная проницаемость и связанные текстурные изменения, а также цементация вдоль отдельных тонких слоев, которая обуславливает низкую пропускную способность поперек слоев. Наиболее распространен ангидритовый цемент; кальцитовый, доломитовый и кремнистый цемент представляют проблему при интерпретации данных ГИС.

4). Проблемы извлечения нефти вторичными и третичными методами, связанные с изолированными коллекторами, приводят к увеличению плотности скважин, обычно до одной скважины на 10 или 20 акров» (Ahlbrandt и Fryberger, 1982).

## 6.3.3. КАРОТАЖНЫЕ СИГНАЛЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

### 6.3.3.1. Электро-литофации

Как показано на рис.6.3-16 и 6.3-17, общая радиоактивность дюнных песков низкая. На графике взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$, фигуративные точки массивных дюн ложатся очень близко к линии песчаников (если нет влияния газа), что четко указывает на кварц как на основной компонент. Увеличение радиоактивности соответствует междюнным отложениям (вади или себха), что также отражается данными плотностного и нейтронного каротажа. Величины Pe близки к 1.8 и возрастают в присутствии кальцитового или доломитового цемента или конкреций ангидрита. Доломит и ангидрит (или гипс) характерны для междюнных себх или придонных слоев.

Пористость обычно высокая и изменяется от 10 до 30%. При увеличении пористости, фигуративные точки несколько смещаются в сторону линии известняка, отражая присутствие цемента (кальцита, доломита или ангидрита).

### 6.3.3.2. Картины наклонов

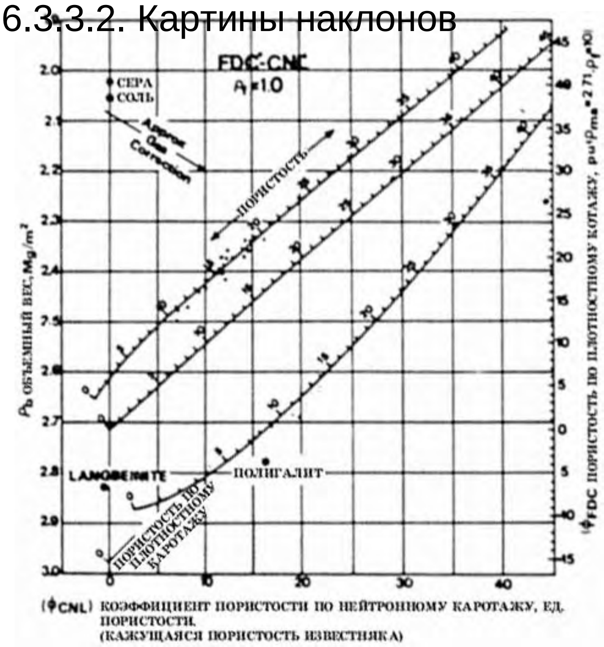



**Рис.6.3-17. График взаимной зависимости плотности и пористости по нейтронному каротажу, показывающий литологию (кварцевый песчаник) эоловых песков, которые представлены на рис.6.3-16.**

Как хорошо известно аналитикам данных ГИС и геологам, и как упоминает Ahlbrandt *и др*. (1982), «наклономер представляет собой весьма полезный прибор для распознания и интерпретации эолианитов в скважине». Рис.6-3.18 представляет результаты применения программы CLUSTER к данным по красному лежню в Северном море. Четко показана последовательность зеленых картин (передовые слои), которые, в общем случае, наложены на синие картины (конечные передовые слои или придонные дельтовые слои). В свою очередь, они могут перекрывать отложения вади, представленные рассеянными наклонами, или междюнные глины, представленные зеленой картиной (если в них отсутствуют трещины усыхания). Очень малые наклоны, которые присутствуют постоянно, могут соответствовать отложениям себхи. Все эти особенности, благодаря их протяженности по вертикали и по горизонтали, могут быть легко выделены в результате обработки программой CLUSTER.

На рис.6.3-19 представлены результаты обработки программой GEODIP 35-футового интервала скважины, показанной на рис.6.3-16. Программа дает очень высокую плотность корреляций. Это позволяет весьма точно исследовать формации и распознавать особенности отложений, которые обычно наблюдаются в дюнах. Незначительные изменения величины наклона формируют небольшие синие и красные картины, которые представляют передовые слои. Более длинные синие картины (отметка 4686 футов) соответствуют придонному слою с четким контактом в подошве. Такая эволюция сопротивления может соответствовать уменьшению процентного содержания цемента в направлении от уровня грунтовых вод к верхней части дюны. Другие незначительные эволюции сопротивления могут отражать последовательности, характеризующиеся уменьшением размера зерен вверх по разрезу. Частотные диаграммы азимутов показывают очень узкое рассеяние, что, возможно, соответствует поперечной дюне. Направление ветра было в сторону юго-востока. Иногда красные картины присутствуют на кровле, указывая на лавинные размывы на крутопадающих неустойчивых передовых слоях. В общем случае, частотные диаграммы азимутов показывают унимодальное или бимодальное распределение, с рассеянием от узкого до большого – в зависимости от типа дюны.

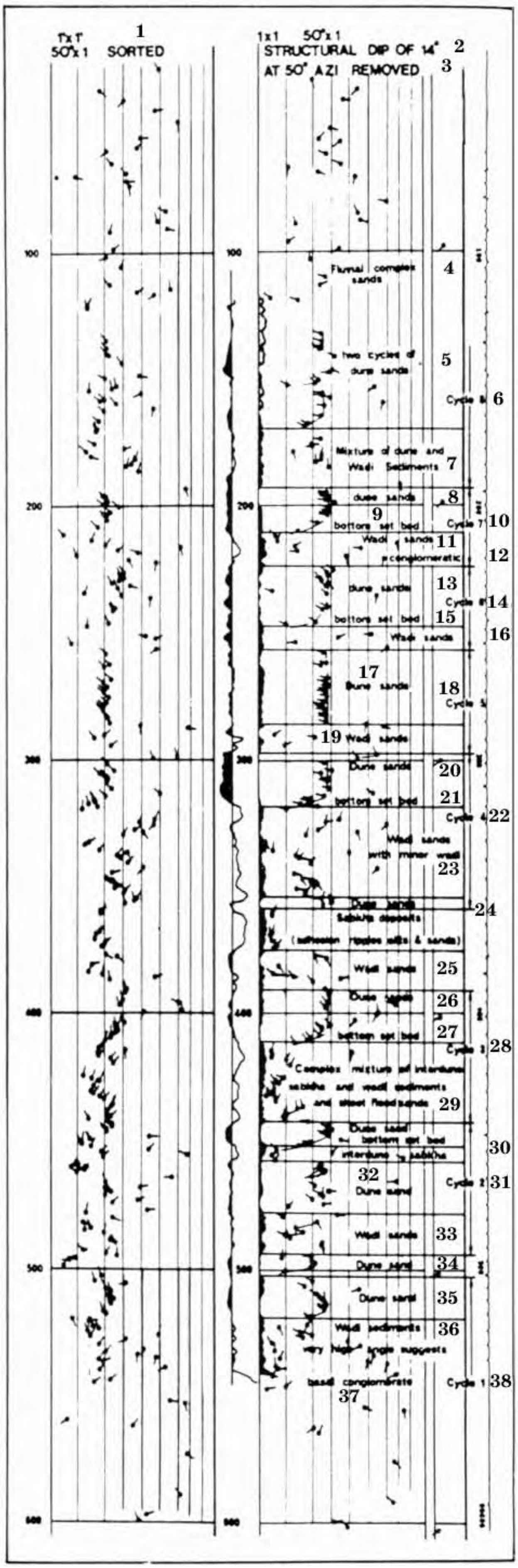



**Рис.6.3-18. Пример результатов программы CLUSTER в эоловых отложениях (красный лежень в Северном море) и его интерпретация в терминах фаций**.

(1- сортированные отложения; 2- структурный наклон 14°; 3- данные при азимуте 50° удалены; 4- Пески речного комплекса; 5- два цикла дюнных песков; 6- Цикл 8; 7- Смесь дюнных отложений и отложений вади; 8- дюнные пески; 9- придонный дельтовый слой; 10- Цикл 7; 11,12- конгломератовые пески вади; 13- дюнные пески; 14- Цикл 6; 15- придонный дельтовый слой; 16- Пески вади; 17- Дюнные пески; 18- Цикл 5; 19- Пески вади; 20- Дюнные пески; 21- придонный дельтовый слой; 22- Цикл 4; 23- Пески вади с незначительным количеством вади; 24- Дюнные пески Отложения себхи; 25- Пески вади;

26- Дюнные пески; 27- придонный дельтовый слой; 28- Цикл 3; 29- Сложная смесь междюнных отложений себхи и вади и покровных пойменных песков; 30- Дюнный песок придонный дельтовый слой междюнная себха; 31- Цикл 2; 32- Дюнный песок; 33- Пески вади; 34,35- Дюнный песок; 36,37- Отложения вади очень большой угол предполагает базальный конгломерат; 38- Цикл 1)

На рис.6.3-20 показан другой пример интерпретации GEODIP в песчаных дюнах, с приведением всех наблюдений и их интерпретации.

В эоловой обстановке осадконакопления, изображения FMS (рис.6.3-21) очень хорошо показывают передовые слои, четкость эрозионной поверхности (при увеличении x 425.5), более сцементированные песчаники, изменения направления ветра и изменение величины наклона. Сопоставление изображений FMS с фотографиями керна в этой обстановке осадконакопления показывает полное совпадение двух типов данных. В таких случаях, изображения FMS показывают интервалы с хорошей цементацией более четко (белые полосы), нежели фотографии керна. Они могут быть использованы для определения барьеров проницаемости.

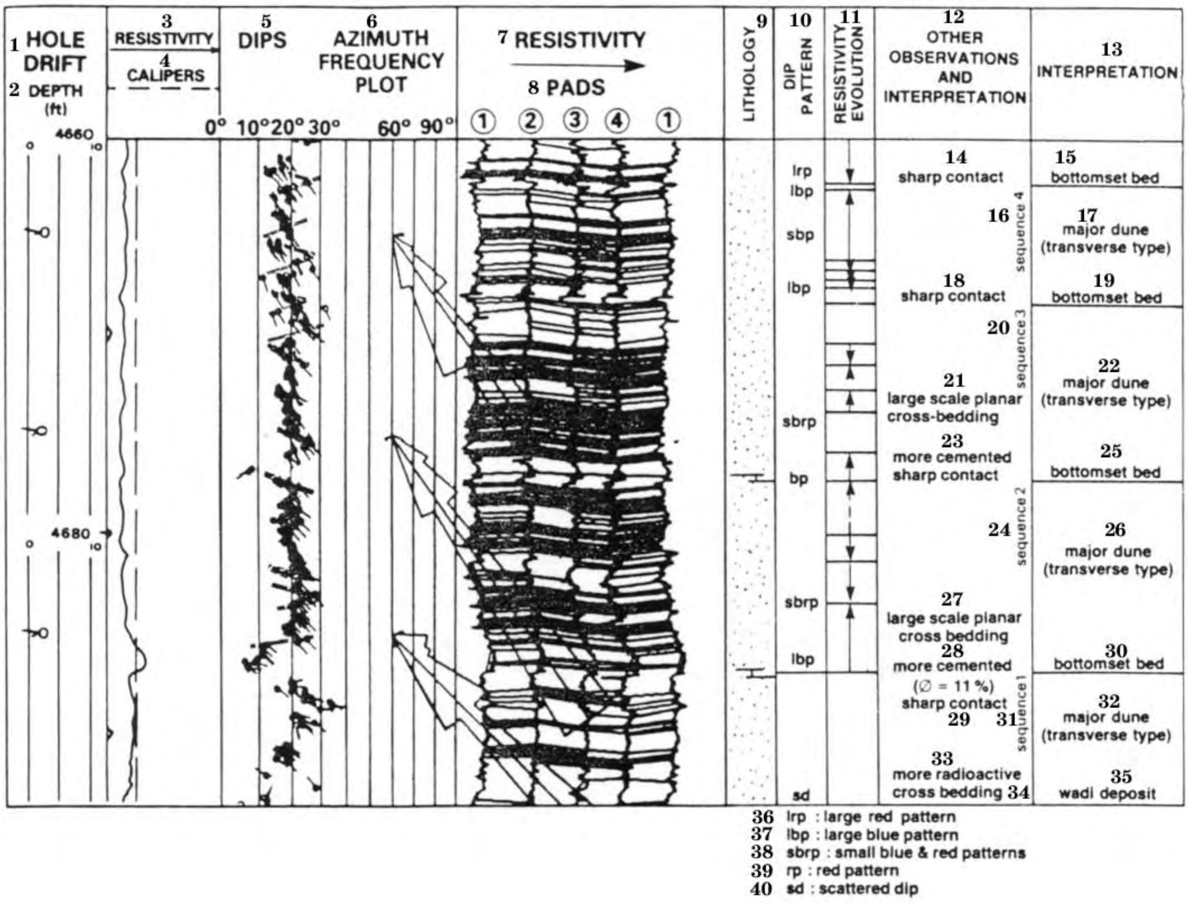



**Рис.6.3-19. Результаты GEODIP для 35-футового интервала эоловых песков, показанного на рис.6.3-16, и их интерпретация.**

(1- отклонение скважины; 2- глубина (в футах); 3- сопротивление; 4- каверномеры; 5- наклоны; 6- частотная диаграмма азимутов; 7- сопротивление; 8- прижимные башмаки; 9- литология; 10- картина наклонов; 11- эволюция сопротивления; 12- другие наблюдения и интерпретация; 13- интерпретация; 14,18,29- четкий контакт; 15,19,25,30- придонный дельтовый слой; 16- последовательность 4; 17,22,26,32- основная дюна поперечного типа; 20- последовательность 4; 21,27- крупномасштабная плоскостная косая слоистость; 23- более сцементированные отложения четкий контакт; 24- последовательность 2; 28- более сцементированные отложения; 29- четкий контакт; 31- последовательность 1; 33,34- более радиоактивные отложения с косой слоистостью; 35- отложения вади; 36- lrp: большая красная картина; 37- lbp: большая синяя картина; 38- sbrp: небольшая синяя и красная картины; 39- rp: красная картина; 40- sd: рассеянный наклон)

### 6.3.3.3. Границы

Четкость нижней границы хорошо видна на кривых сопротивления наклономера (рис.6.3-19 и 6.3-20) в виде эволюции в сторону кровли каждого цикла.

### 6.3.3.4. Электрокомплексы

Эволюция сопротивления наклономера и картины наклонов отражают последовательности. Незначительные эволюции сопротивления могут отражать изменения процентного содержания цемента, или последовательности, характеризующиеся уменьшением размера зерен вверх по разрезу – если они не соответствуют изменениям сигналов плотностного и нейтронного каротажа и, следовательно, изменениям пористости за счет цементации.

### 6.3.3.5. Окружающие фации

Могут быть опознаны себховые отложения. Они соответствуют доломитовым или ангидритовым алевритисто-глинистым отложениям, испытывающим языковидное выклинивание. Можно также наблюдать отложения вади, которые характеризуются более крупнозернистыми плохо сортированными осадками с повышенным содержанием глинистого материала и, следовательно, несколько повышенной радиоактивностью. Они демонстрируют рассеянные наклоны (корытообразная косая слоистость) или даже отсутствие наклонов (конгломераты или глины с трещинами усыхания). Другой пример эоловой обстановки осадконакопления с междюнными и себховыми отложениями можно видеть на рис.6.3-22 – 6.3-24 (формация Minnelusa, бассейн реки Powder, США).

### 6.3.3.6. Возможность ошибочной интерпретации

Сигналы скважинных приборов, особенно наклономера, настолько характерны, что вывод о другой обстановке осадконакопления невозможен.

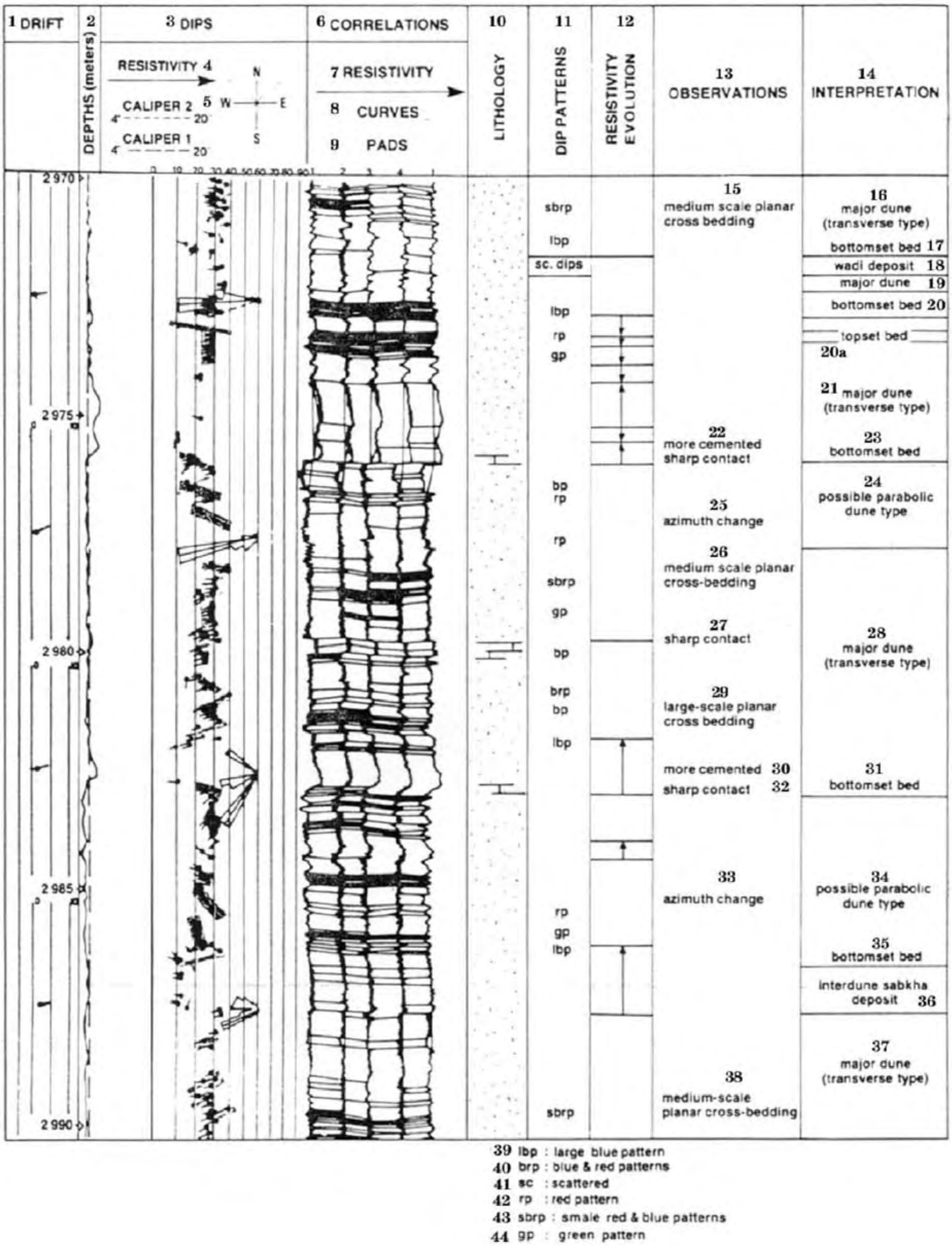



**Рис.6.3-20. Пример результатов GEODIP и их интерпретация, указывающая на эоловую обстановку осадконакопления.**

(1- отклонение скважины; 2- глубина (в метрах); 3- наклоны; 4- сопротивление; 5- каверномер 2; 6- корреляции; 7,8- кривые сопротивления; 9- прижимные башмаки; 10- литология; 11- картины наклонов; 12- эволюция сопротивления; 13- наблюдения; 14- интерпретация; 15- среднемасштабная плоскостная косая слоистость; 16,21,28,37- основная дюна поперечного типа; 17,20,23,31,35- придонный дельтовый слой; 18- отложения вади; 19- основная дюна; 20а- верхний дельтовый слой; 22- более сцементированные отложения четкий контакт; 24,34- возможный тип параболической дюны; 25,33- изменение азимута; 26,38- среднемасштабная плоскостная косая слоистость; 27,32- четкий контакт; 29- крупномасштабная плоскостная косая слоистость;30- более сцементированные отложения; 32- четкий контакт; 36- междюнные себховые отложения; 39- lbp: большая синяя картина; 40- brp: синяя и красная картины; 41: sc: рассеянный наклон; 42- rp: красная картина; 43- sbrp: небольшая синяя и красная картины; 44- gp: зеленая картина)

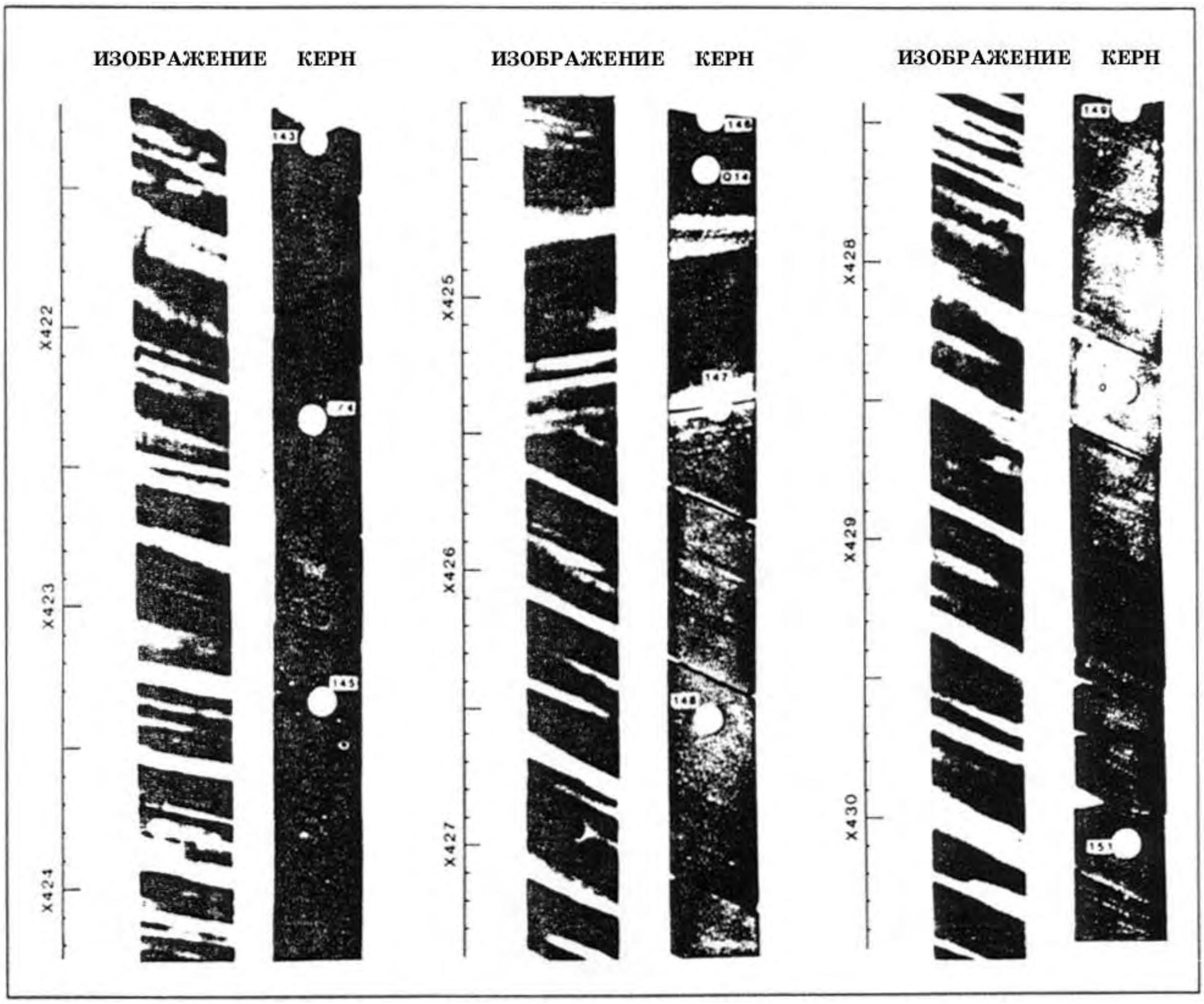



**Рис.6.3-21. Сравнение фотографий керна и изображения FMS в эоловой обстановке осадконакопления (с разрешения Шлюмберже).**

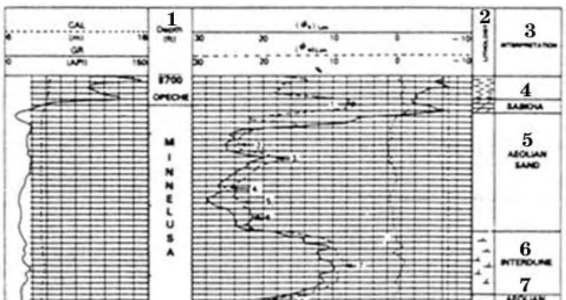



**Рис.6.3-22. Сводная диаграмма, показывающая себховые, эоловые и междюнные отложения в Minnelusa, бассейн реки Powder, США**.

(1- Глубина (в футах); 2- литология; 3- интерпретация; 4- себха; 5,7- эоловый песок; 6,8- междюнные отложения)

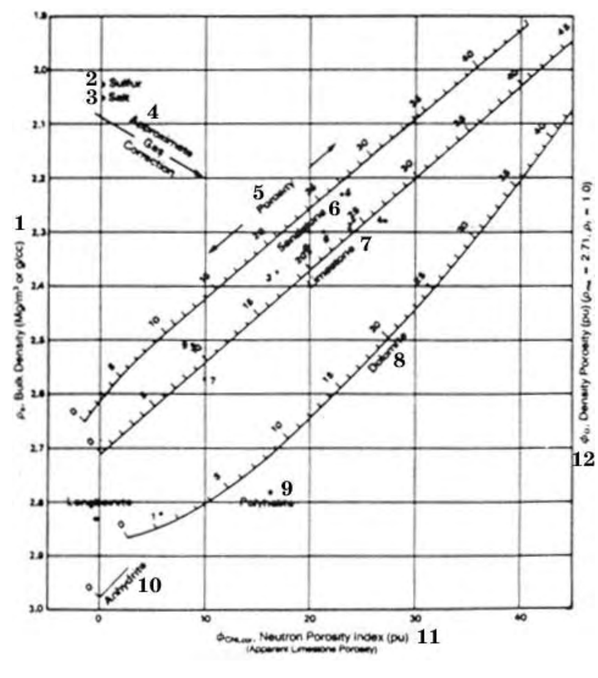
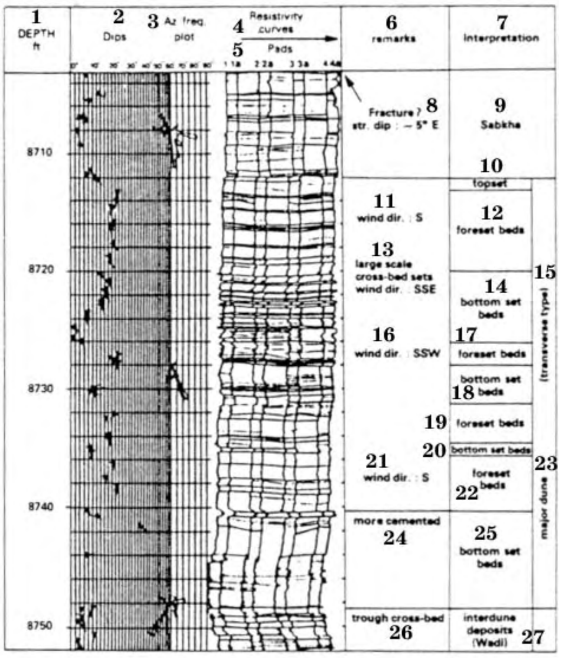



**Рис.6.3-23. Графики взаимной зависимости пористости и плотности по нейтронному каротажу, показывающие основную литологию рис.6.3-22**.

(1- Объемный вес; 2- Сера; 3- Соль; 4- Приблизи-




тельная поправка за газ; 5- Пористость; 6- Песчаник; 7- Известняк; 8- Доломит; 9- Полигалит; 10- Ангидрит; 11- Коэффициент пористости по нейтронному каротажу (ед. пористости) (Кажущаяся пористость известняка); 12- Пористость по плотностному каротажу (ед. пористости)

**Рис.6.3-24. Представление результатов LOCDIP по этому же интервалу и их интерпретация.**
(1- глубина (в футах); 2- Наклоны; 3- Частотная диаграмма азимутов; 4- Кривые сопротивления; 5- Прижимные башмаки; 6- замечания; 7- интерпретация; 8- Трещина? структурный наклон: ~5° на восток; 9- Себха; 10- верхний дельтовый слой; 11,21- направление ветра: юг; 12- передовые слои; 13- свиты с крупномасштабной косой слоистостью направление ветра: юг юго-восток; 14,18,20,25- придонные дельтовые слои; 15- (поперечный тип); 16- направление ветра: юг юго-запад; 17,19,22- передовые слои; 23- основная дюна; 24- более сцементированные отложения; 26- корытообразный косой слой; 27- междюнные отложения (вади)

## *6.4. РЕЧНАЯ ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ:* **РАЗВЕТВЛЕННАЯ СИСТЕМА**

### 6.4.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Континентальная обстановка осадконакопления, характеризуемая отложениями, возникшими в результате деятельности разветвленной речной системы с малой извилистостью русел. Вид разветвленной системы показан на рис.6.4-1, а репрезентативные вертикальные разрезы – на рис.6.4-2.

### 6.4.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ФАЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

#### 6.4.2.1. Литология

Два параметра должны быть рассмотрены по отдельности.

##### ***6.4.2.1.1.*** Состав

Отложения разветвленных рек обычно состоят из незрелых в текстурном и химическом отношениях гравия и песка, где песчано-глинистый коэффициент больше 1. Они могут быть классифицированы как *лититовые арениты до лититовых ваккитов* (Pettijohn *и др*., 1972). Алеврит присутствует лишь в незначительных количествах  (до 10%) и соответствует отложениям отмерших русел (Selley, 1976). Гравий и галька представляют собой обломки породы, состав которой зависит от источника сноса. Может присутствовать глинистый гравий и конкреции переработанного глинистого железняка. Общими минеральными составляющими являются кварц, полевые шпаты, слюды. В неморских отложениях глауконит отсутствует. Углистое органическое вещество встречается очень редко, что обусловлено окислительным характером обстановки осадконакопления (Selley, 1976). Частым является изменение железосодержащих минералов до гематита или лимонита. Урансодержащие минералы могут накапливаться вместе с золотом в виде россыпей (например, Blind River в Канаде и бассейн Witwatersand в Южной Африке). Эти минералы концентрируются в основаниях русел (Minter, 1978).

**Рис.6.4-1. Аэрофотоснимок разветвленной реки, заваленной эрозионными обломками, вблизи края тающего ледника (фото B. Washburn, в Press и Siever, 1978, рис.7-25).**

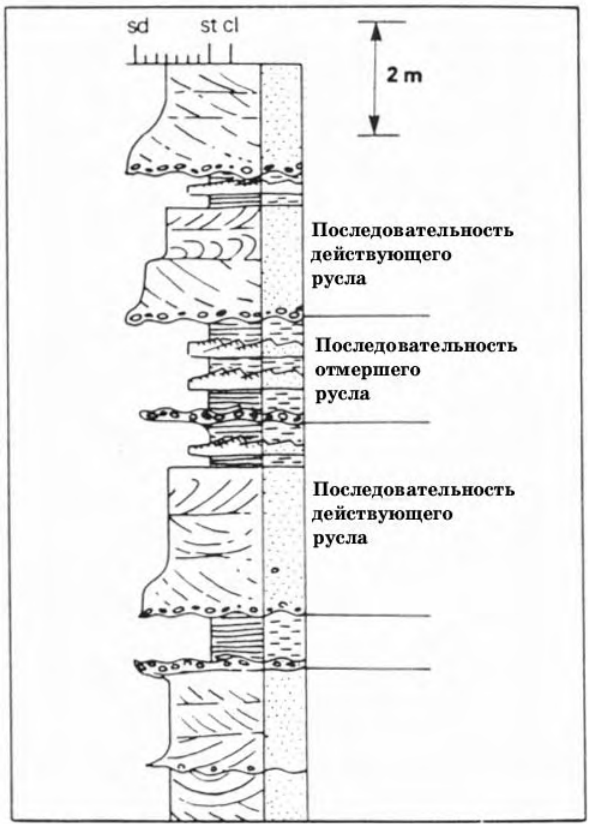



**Рис.6.4-2а. Теоретический вертикальный разрез отложений системы разветвленного речного русла. Осадконакопление происходит почти полностью в быстро смещающемся комплексе русел. Пойма отсутствует (из Selley, 1976, рис.101).**

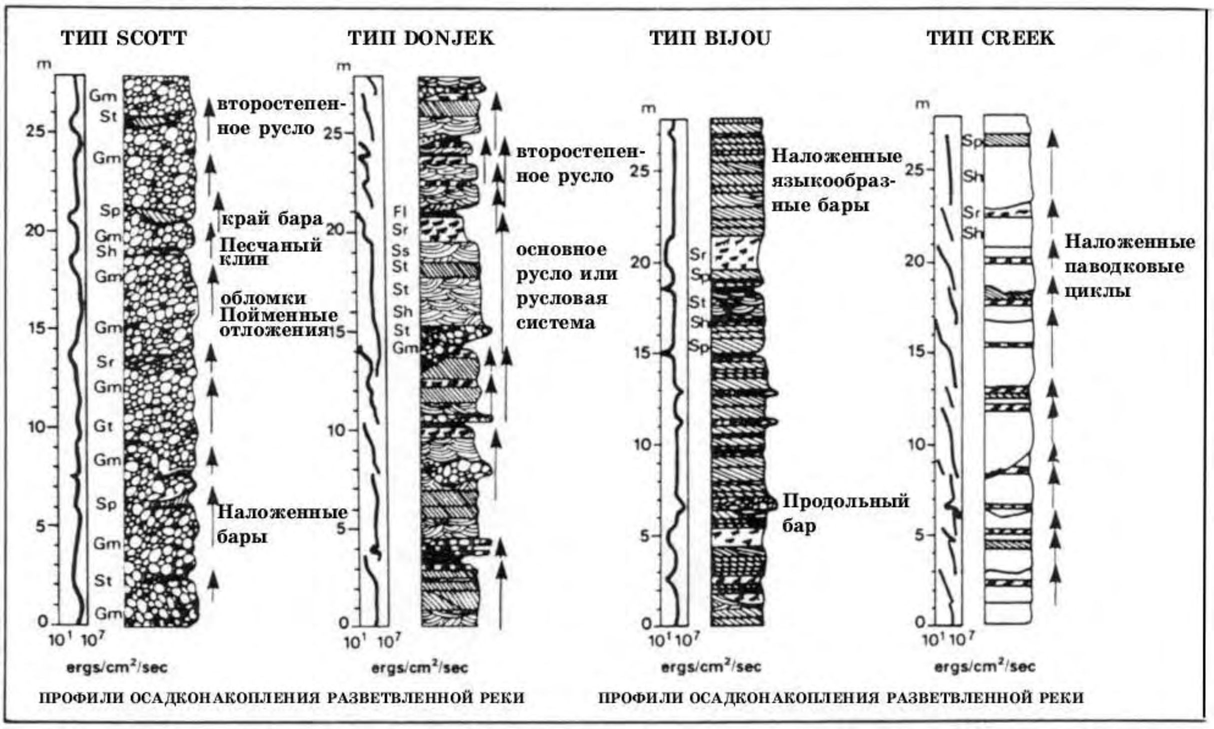


**Рис.6.4-2b. Четыре профиля осадконакопления разветвленной реки. Они представляют четыре модели систем разветвленной реки, которые связаны с энергией, имевшей место в процессе осадконакопления и, следовательно, с близостью к вершине (из Miall, 1977).**

#### *6.4.2.1.2. Текстура*

Сортировка плохая до умеренной (от гравия до песка), с низкой сферичностью, отношение зерна/матрица от умеренного до низкого; в тонком конечном хвосте (fine end tail) распространен алеврит (Pettijohn *и др*., 1972). Конгломераты изменяются от обломочных без матрицы, через обломочные с интерстициальной песчанистой матрицей, до песчанистого конгломерата с рассеянными обломками. Конгломераты без матрицы достаточно хорошо отсортированы и характеризуются унимодальным распределением. Конгломераты с песчанистой матрицей демонстрируют бимодальное распределение, а микритовые конгломераты (matrix-supported conglomerates) характеризуются унимодальным распределением и плохо отсортированы.

### 6.4.2.2. Структура

В Таблице 6.4-1 обобщены основные осадочные структуры и их распространенность в отложениях разветвленной реки. Наблюдается асимметричная мелкомасштабная рябь и распространенная хорошо ориентированная косая слоистость (обычно унимодальная), а также мелкомасштабная косая слоистость. Может иметь место как массивная, так и градационная слоистость. Отмечается тенденция к линзовидной форме пластов с эрозионным размывом; следы и следы движения встречаются нечасто. Распространены осадочные бары.

Таблица 6.4-1

*Основные осадочные структуры и их относительная распространенность*

(из Williams и Rust, 1969, Таблица 1).

| | Слоистость, косая слоистость | | | | Рябь | | | | | | | Слоистость | | Крупно-масшт. структуры | | | | Мелкомасштабные структуры | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | мелкомасштабная | | | | | крупно-масшт. | | | | Эроз. | | Осад. | | Поверхность | | | | | | | | | Разрез | | | |
| Уровень/речное русло | Параллельная | Линзовидная | Мелкомасшт.X-L | Крупномасшт.X-L | Прямая | Извилистая | Серповидная | Языковидная | Волнообразная | Серповидная | Языковидная | Массивная | Градационная | Чаши размыва | Русла | Бар - Фас лавины | Бары | Знаки промоин | Серповидные намывы | Линейность зерен | Линейность растений | Дождевые ямки | Трещины высыхания | Алеврит Volcanoes | Следы и следы движения | Слоистое органическое вещество | Слоистость цветов | Биотурбация | Черепитчатое расположение | Перемещение берега |
| 4 | O | R | | | | | | | | | | O | | R | C | | C | | | | | | | | R | A | C | A | | |
| 3 | C | O | A | O | A | | | | | O | | O | O | C | A | O | A | R | C | R | R | O | C | | C | C | C | C | O | |
| 2 | C | R | A | C | A | | | | | R | | O | O | C | A | R | A | R | A | O | R | C | O | O | C | R | | R | O | R |
| 1 | O | R | A | C | A | | | | | R | | O | R | C | A | O | A | R | A | O | R | C | O | O | R | R | | R | O | O |
| В общем (1-4) | C-O | O-R | A | C | O | A | A | A | C | R | R | O | O-R | C-R | A | O-R | A | R | A | O-R | R | C-O | C-O | O | C-R | A-R | C-R | A-R | O | O-R |

A= Распространенная; C = Общая; O = Встречается случайно; R = Редкая

## 6.4.2.3. Границы

Можно различить четыре единицы или фации. Они располагаются так, как показано на рис.6.4-3, образуя теоретические вертикальные последовательности.

*Единица 1*: крупномасштабная косая слоистость, в основном грубозернистая с галькой, с эрозионным нижним контактом. Могут присутствовать прерывистые линзы песка, алеврита и глины. Эта единица связана с перемещением перекатов в горизонтальном направлении и вниз по течению.

*Единица 2*: слоистость со следами мегаряби в среднезернистом песке; крупно- и мелкомасштабная косая слоистость и рябь. Они соответствуют миграции песчаных перекатов.

*Единица 3*: слоистость со следами мелкой ряби в тонкозернистом песке, образованном полосчатыми песками и алевритами. Рябь листоватая или массивная. Мелкомасштабная рябь, микробары и размывы. Они могут быть связаны с отложениями недавно отмершего русла.

*Единица 4*: тонкозернистый песок и ил, демонстрирующий горизонтальную или конволютную слоистость. Эта единица соответствует отмершим руслам.

Такие последовательности, характеризующиеся уменьшением размера зерен вверх по разрезу, лучше всего развиты в русловых отложениях. Зерна постепенно уменьшаются, и сортировка улучшается вверх по разрезу. Грубо- и тонкозернистые единицы могут переслаиваться. Может иметь место увеличение размера зерен вверх по разрезу. Это связано с непостоянством стадии реки (fluctuating river stages).

Что касается энергии в процессе осадконакопления, Miall (1977) предложил четыре модели отложений разветвленных рек, которые показаны на рис.6.4-2b.

## 6.4.2.5. Геометрия тела

«Системы разветвленных русел характеризуются наличием сети постоянно смещающихся течений с малой извилистостью» (Selley, 1978).

Песчаные и гравийные разветвленные реки мигрируют в латеральном направлении, оставляя отложения русел в форме покровов или клиньев и комплексы баров, где сохраняются лишь незначительные количества пойменного материала (Cant, 1982).

В деталях распознаются три основные геоморфологические тела: русла, бары и острова (Williams и Rust, 1969) (рис.6.4-5).

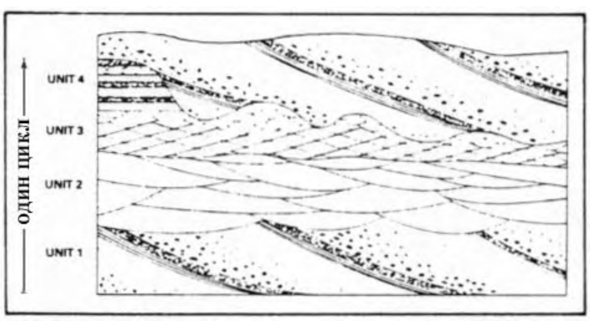



**Рис.6.4-3. Схематическая вертикальная последовательность отложений разветвленной реки. Единица 1: крупномасштабная косая слоистость с галькой. Единица 2: среднезернистый песок, слоистый со следами мегаряби. Единица 3: тонкозернистый песок, слоистый со следами мелкой ряби. Единица 4: тонкозернистый песок и ил с горизонтальной, редко с конволютной слоистостью (из Reineck и Singh, 1975, на основе данных Doeglas, 1962).**

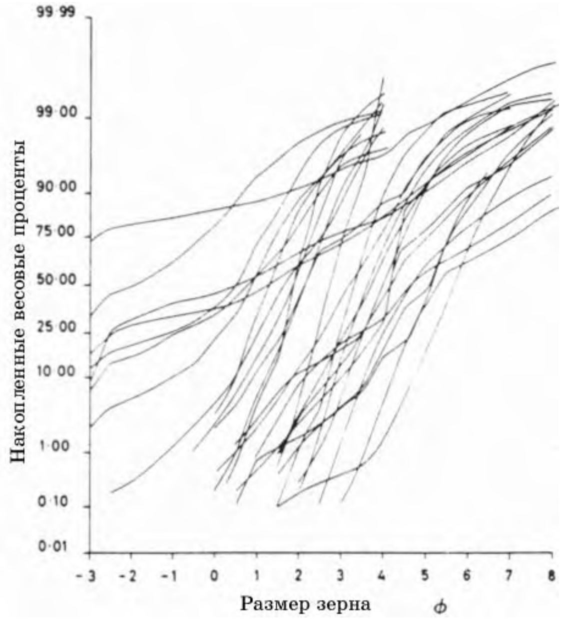



**Рис.6.4-4. Интегральные кривые распределения размера зерен для образцов, отобранных из систем разветвленных рек (из Williams и Rust, 1969, рис.4). Для данного образца, пределы изменения размера зерен отражают плохую сортировку.**

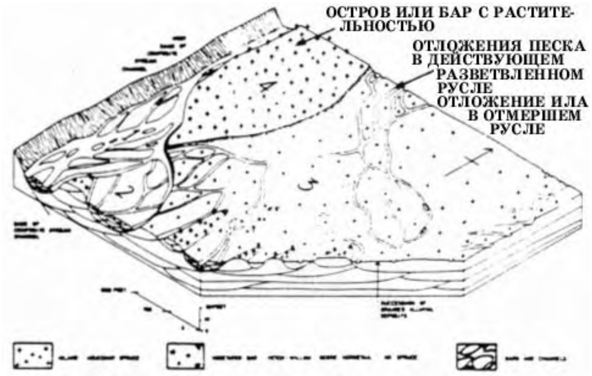



**Рис.6.4-5. Составная модель отложений разветвленной реки (из Williams и Rust, 1969, рис.27).**

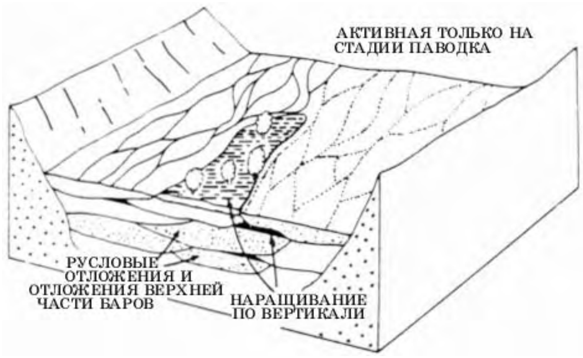



**Рис.6.4-6. Блок-диаграмма разветвленной песчаной системы с руслами, характеризующимися малой извилистостью. Наращивание по вертикали может иметь место на стадии паводка (из Walker, 1969).**

*Русла* сильно изменяются по размеру и располагаются в пяти иерархических порядках. *Русло сложной реки* прямое, со средней шириной 1 миля (1.6 км). *Русло реки* характеризуется наличием разветвленной сети из трех русел низшего порядка. Эти меньшие русла имеют ширину до сотен футов, и им обычно свойственна малая извилистость. Основные отложения русел характеризуются уменьшением размера зерен вверх по разрезу. В разрезе русла являются эрозионными, и наблюдаются в ассоциациях с очень высокой повторяемостью. Основное русло разделяется на несколько меньших русел, которые встречаются и снова расходятся (рис.6.4-5 – 6.4-7). Перекаты, которые делят реку на несколько русел при минимальном стоке, часто затопляются при максимальном стоке. Обычно они состоят из грубозернистых остаточных отложений реки (часто из гальки), которые не могут переноситься потоком. После формирования такого переката, он может перейти в устойчивое состояние за счет отложения тонкозернистого осадочного материала на вершине при максимальном стоке. В дальнейшем на перекате может появиться растительность, образуя остров.

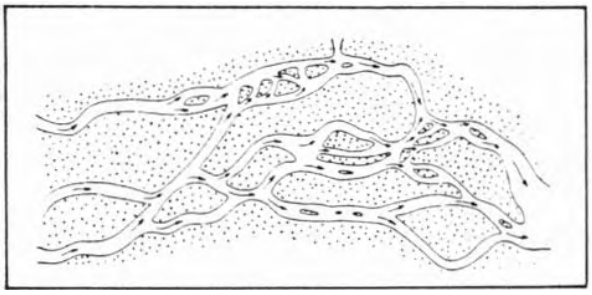


**Рис.6.4-7. Аэральное распределение системы разветвленной реки, демонстрирующее иерархическую организацию русел и баров (из Allen, 1965).**

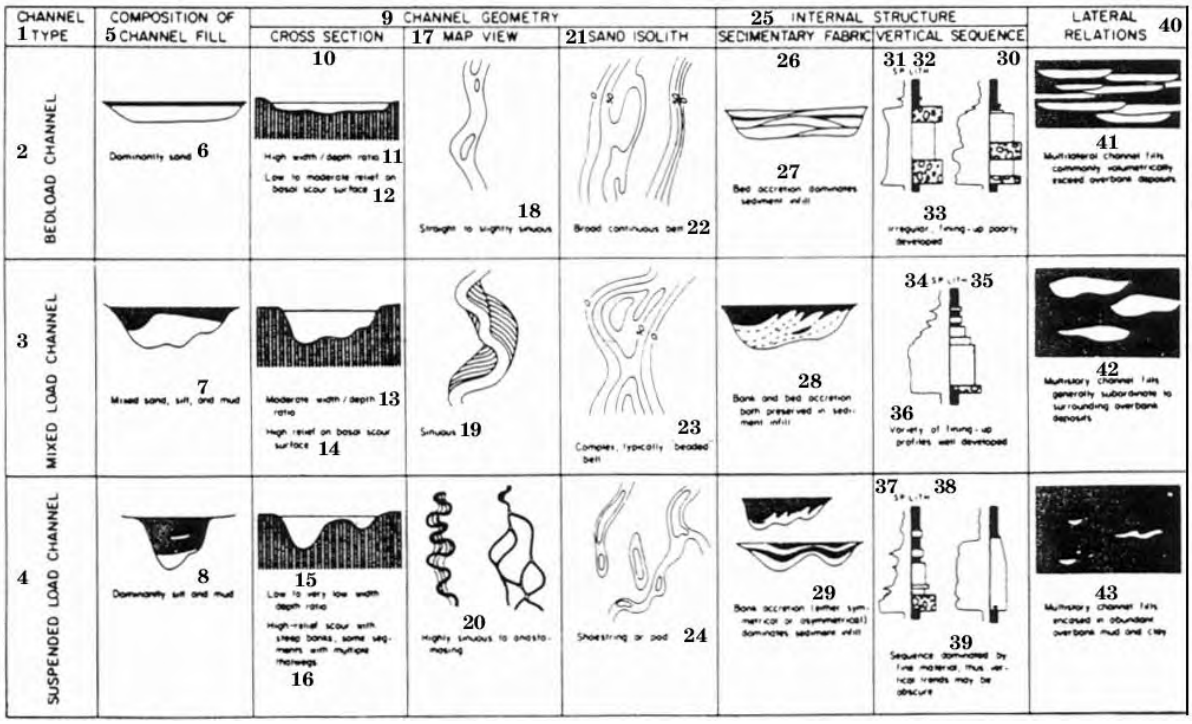



**Рис.6.4-8. Геоморфологические и осадочные характеристики участков русла реки с твердым, смешанным и взвешенным стоком (из Galloway, 1977, и у Galloway и Hobday, 1983, рис.4-13).**
(1- тип русла; 2- русло с твердым стоком; 3- русло со смешанным стоком; 4- русло с взвешенным стоком; 5- состав русловых отложений; 6- В основном песок; 7- Смесь песка, алеврита и ила; 8- В основном алеврит и ил; 9- геометрия русла; 10- разрез; 11- Большая величина отношения ширина/глубина; 12- Рельеф подошвы размыва от низкого до умеренного; 13- Умеренная величина отношения ширина/глубина; 14- Высокий рельеф подошвы размыва; 15- Величина отношения ширина/глубина от низкой до очень низкой; 16- Подошва размыва высокорельефная, с крутыми откосами, некоторые участки с многочисленными тальвегами; 17- вид в плане; 18- Русло прямое до слегка извилистого; 19- Извилистое русло; 20- Русло сильно извилистое до разветвленного; 21- изолиты песка; 22- Широкий непрерывный пояс;23- Сложный, типично «beoded» (bedded – слоистый?) пояс; 24- Рукавообразная залежь или под; 25- внутренняя структура; 26-осадочная текстура; 27- В выполнении осадочным материалом преобладает наращивание слоев; 28- В выполнении осадочным материалом сохранено наращивание откосов и слоев; 29- В выполнении осадочным материалом преобладает наращивание откоса (симметричное или асимметричное); 30- вертикальная последовательность; 31,34,37- ПС; 32,35,38- литология; 33- Неправильная, характеризующаяся уменьшением размера зерен вверх по разрезу, плохо развитая; 36- Многообразие хорошо развитых профилей, характеризующихся уменьшением размера зерен вверх по разрезу; 39- Последовательность с преобладанием тонкозернистого материала, поэтому вертикальные тренды могут быть скрыты; 40- латеральные соотношения; 41- Многосторонние русловые отложения, которое по объему обычно превышает паводковые отложения; 42- Многоярусные русловые отложения, в общем случае подчиненные окружающим паводковым отложениям; 43- Многоярусные русловые отложения, заключенные в распространенном паводковом иле и глине)

Имеются три типа *баров*: продольные, поперечные и косы. Продольные бары наиболее распространены (95%), и встречаются в виде боковых баров вдоль сторон русла и центральных баров на средних участках русла. Максимальная длина и ширина изменяются от нескольких футов до сотен футов. Поверхность бара никогда не бывает гладкой, и включает множество крупно- и мелкомасштабных структур. Они сложены гравием, песком и примесями алеврита и ила. Отмечается тенденция к боковому наращиванию баров вниз по течению. Конец бара, расположенный вверх по течению, частично эродирован.

*Острова* являются наиболее постоянными элементами долины в пределах системы разветвленной реки. Они вытянуты вниз по течению. Могут присутствовать корни или углистое вещество.

Разветвленные реки характеризуются широкими руслами, положение которых изменяется, и быстрым и непрерывным смещением осадков. Следовательно, ширина отдельной единицы может изменяться от 0.5 до 8 км, длина – от десятков до сотен километров, а мощность – от нескольких дециметров до 30 метров; большая величина отношения ширина/глубина. Разветвленные реки могут распространяться на сотни километров; в результате слияния баров и песчаных отмелей образуются обширные, выдержанные в латеральном направлении песчаные покровы, не замкнутые глинистыми сланцами (Walker, 1979).

### 6.4.2.6. Модель направленного потока

Данные о направленных потоках для иерархических порядков мелко- и крупномасштабных структур приведены в обобщенном виде на рис.6.4-9. Они демонстрируют характерное унимодальное распределение азимутов, с разбросом вниз по палеосклону от умеренного до низкого.

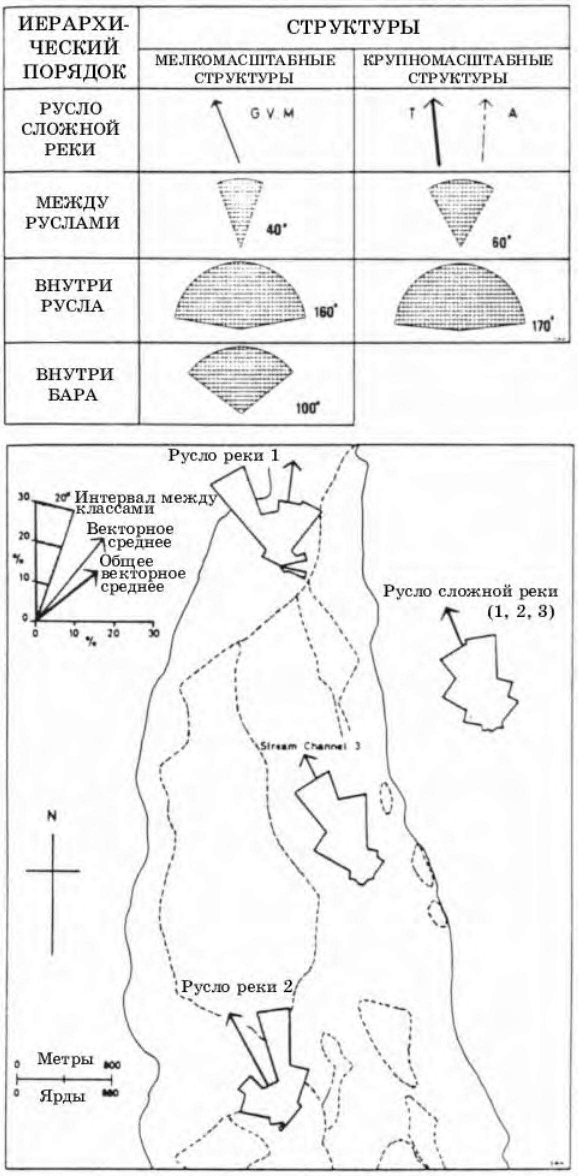



**Рис.6.4-9. Разброс азимутов направленного потока со структур (из Williams и Rust, 1969, рис.28 и 23).**

### 6.4.2.7. Характеристики коллектора

Отложения разветвленных рек могут образовывать породы с потенциально высокими коллекторскими свойствами (пористость до 30%, а проницаемость – от несколько тысяч миллидарси). Глинистые сланцы характеризуются ограниченным распространением в латеральном направлении и не играют значительной роли в блокировании миграции флюидов. Обычно они не формируют стратиграфические ловушки.

## 6.4.3. КАРОТАЖНЫЕ СИГНАЛЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Galloway и Hobday (1983) предложили обобщенную модель осадконакопления для разветвленного русла с теоретической кривой ПС (рис.6.4-10). Типичная форма кривой ПС – гладкий цилиндр. Реакции других приборов буду иллюстрированы полевым примером: формация Upper Tipam (Ассам, Индия), сводная диаграмма для которой представлена на рис.6.4-11.

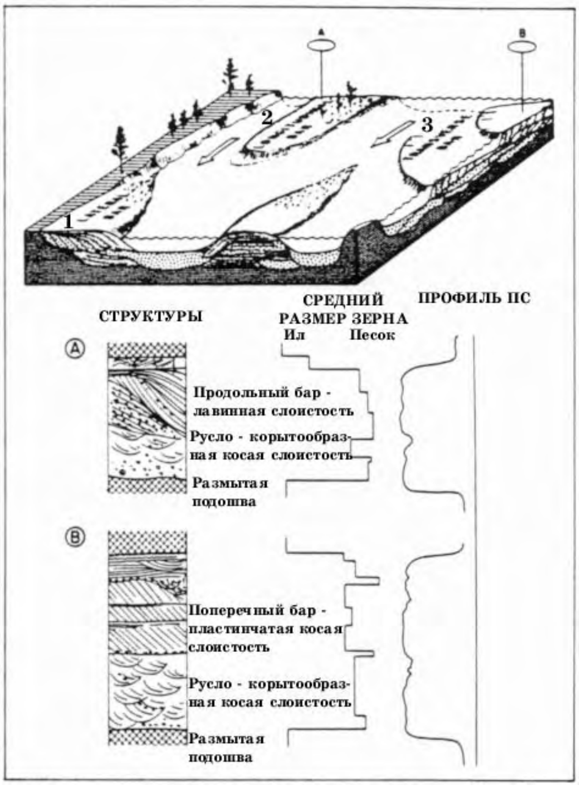



**Рис.6.4-10. Обобщенная модель осадконакопления, вертикальные последовательности размеров зерен и осадочных структур и профили ПС, сформированные разветвленным руслом с малой извилистостью. В последовательности А преобладает миграция продольного бара, сложенного гравием. В (В) отмечается отложение последовательных серий косых слоев на заполнении разветвленного русла (из Galloway и Hobday, 1983, РИС.4-4).**

(1- боковой бар; 2- продольный бар; 3- поперечный бар)

## 6.4.3.1. Электролитофации

С целью определения минералогического состава формации, было выполнено детальное исследование различных графиков взаимной зависимости.

Графики взаимной зависимости $\rho_b$ и $\text{ø}_N$ (рис.6.4-12), в которых по оси Z отложены значения ПС (рис.6.4-12b) и EATT (затухание электромагнитной волны – рис.6.4-12c) очень четко показывают изменение размера зерен в песках. Линия песчаников соответствует линии, проходящей от точки флюида ($\rho_b$ 1., $\text{ø}_N$ 100%) через самые «северо-западные» точки с низкими значениями ПС и EATT. Аналогично, линию алевролитов можно построить от точки флюида через самые нижние точки с величинами ПС и EATT от малых до умеренных. «Точка песка» соответствует $\text{ø}_N$ =0 на линии песчаников, а «точка алеврита» получается в результате пересечения линии алевролита с линией, построенной из точки песка параллельно линии равных пористостей для смеси песок-алеврит.

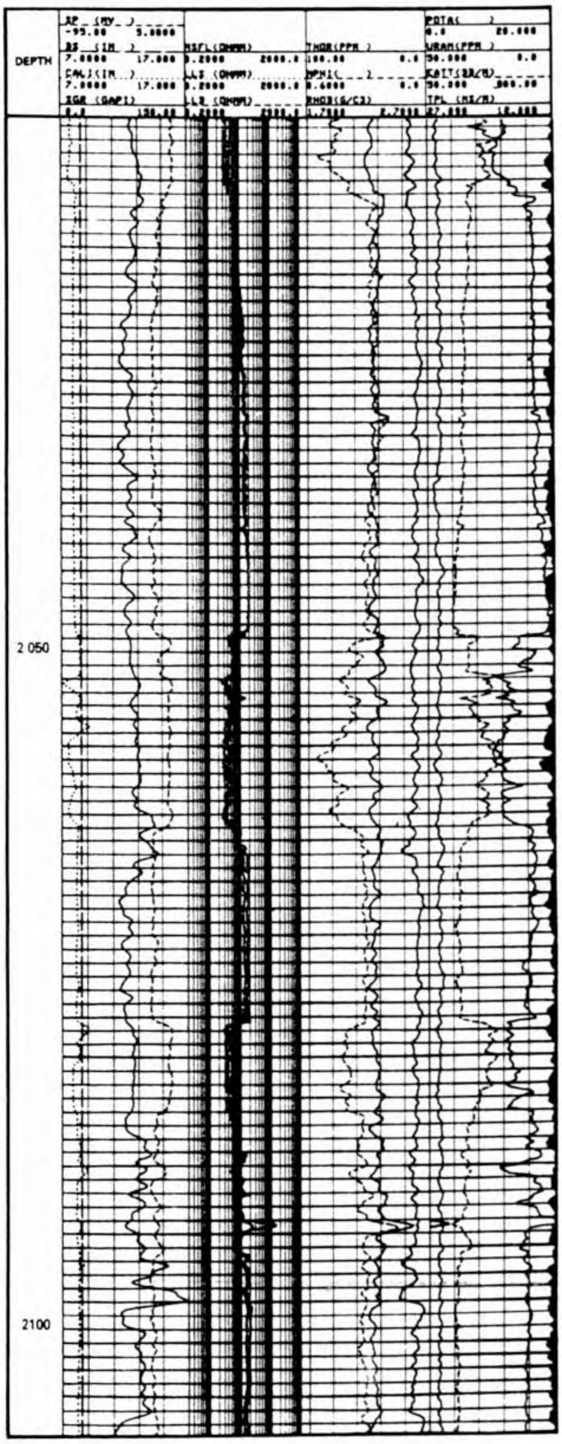



Рис.6.4-11. Типичные кривые ГИС по системе разветвленной реки (из Schlumberger, Well Evaluation Conference, Индия, 1983).

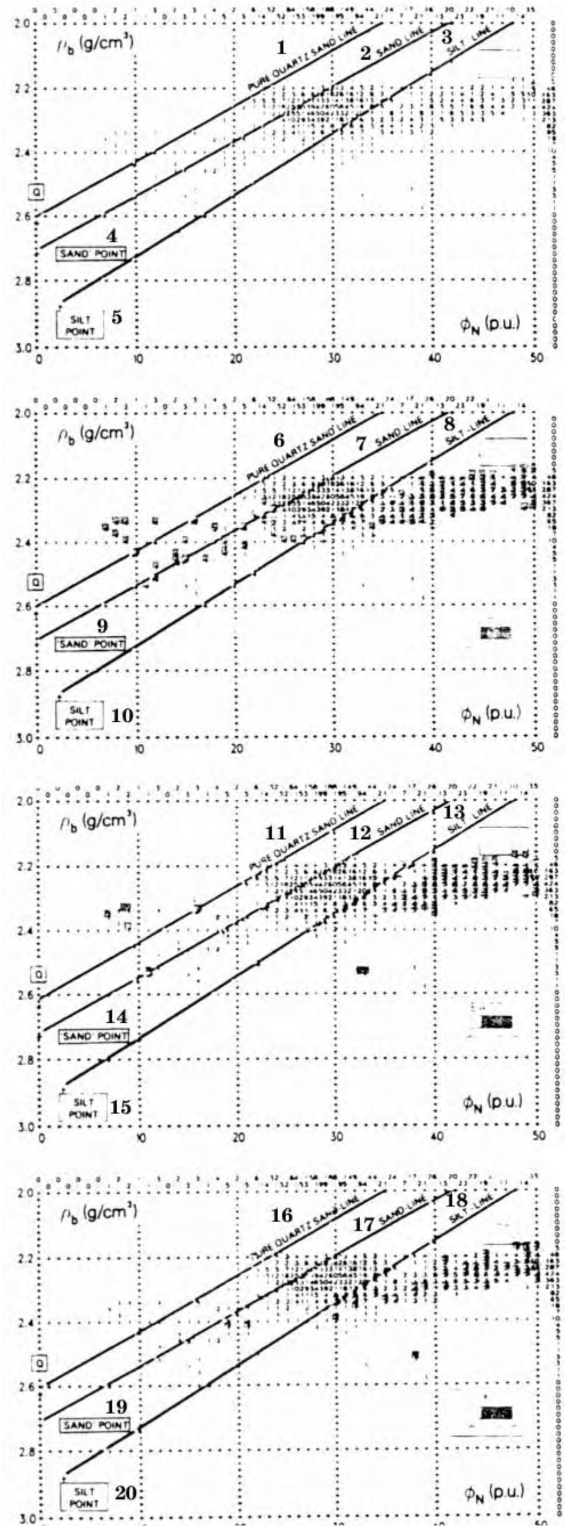



**Рис.6.4-12. Графики взаимной зависимости пористости и плотности по нейтронному каротажу, где по оси Z отложена встречаемость (a), значения ПС (b), EATT (c) и содержание калия (d). Интерпретация по Serra, в Schlumberger, Well Evaluation Conference, Индия, 1983**.

(1,6,11,16- линия чистого кварцевого песка; 2,7,12,17- линия песков; 3,8,13,18- линия алевритов; 4,9,14,19- точка «песка»; 5,10,15,20- точка алеврита)

Умеренно высокие и постоянные величины содержания калия на соответствующем кроссплоте плотность-пористость по нейтронному каротажу (рис.6.4-12d) для всех точек песка и алеврита предполагают *незрелую породу,* состоящую из кварца, полевого шпата и плагиоклаза со слюдой и тяжелыми радиоактивными минералами (например, с цирконом).

График взаимной зависимости содержания тория и калия (рис.6.4-13) подтверждает присутствие полевого шпата, а также подчеркивает высокую концентрацию тория по тяжелым радиоактивным минералам, таким как циркон.

Изменение концентрации полевого шпата и биотита в песках можно распознать, анализируя эволюцию содержания калия по отношению к плотности зерен ($(\rho_{ma})_a$) на оси Z (рис.6.4-14). Группа точек с сильным отклонением SSP соответствует песку. В пределах этой группы плагиоклазы более распространены при пониженном содержании калия (1.5-1.8%) и повышенной плотности, а концентрация калиевого полевого шпата возрастает при повышенном содержании калия (1.8-2.2%) и пониженной плотности. Тренд глин четко прослеживается в направлении низких значений ПС и высокой плотности зерен. Фактически, по исследованному интервалу можно идентифицировать два типа глинистого сланца, один из которых присутствует в мощных пластах, а второй в виде тонких включений в районе глубин 2260 и 2180 м. На этом кроссплоте можно выбрать соответствующую величину $K_{sh}$ для каждого типа глинистого сланца.

На графике взаимной зависимости SSP и содержания тория (Th) (рис.6.4-15), калиевый полевой шпат более распространен в группе песков с пониженным содержанием тория (6.5-10 миллионных частей) и пониженной плотностью (от 2 до 3 на оси Z). Увеличение содержания биотита и тяжелых радиоактивных минералов соответствует повышенному содержанию тория (10-18 миллионных частей) и более высокой плотности. Присутствие двух типов глинистого сланца подтверждается, и его общий тренд четко обозначен. Результаты анализа керна подтвердили минералогический состав, выведенный по данным исследования графиков взаимной зависимости.


**Рис.6.4-13. График взаимной зависимости содержания тория и калия с плотностью зерен по оси Z. Интерпретация по Serra, в Schlumberger, Well Evaluation Conference, Индия, 1983.**


**Рис.6.4-14. График взаимной зависимости SSP и содержания калия с плотностью зерен по оси Z. Интерпретация по Serra, в Schlumberger, Well Evaluation Conference, Индия, 1983.**


**Рис.6.4-15. График взаимной зависимости SSP и содержания тория с плотностью зерен по оси Z. Интерпретация по Serra, в Schlumberger, Well Evaluation Conference, Индия, 1983.**

## 6.4.3.2. Форма кривых наклономера и картины наклонов

В результате анализа GEODIP (рис.6.4-16) можно сделать следующие выводы:

- Каждое отложение песка начинается с резкого нижнего контакта, часто неплоскостного (на изображении GEODIP четыре расчета наклона или наклон отсутствует). Эта особенность может быть связана с возможными эрозионными размытыми поверхностями.
- Пески массивные, явно однородные, но с несколькими случайным образом распределенными максимумами сопротивления, которые присутствуют лишь на одной, двух или трех кривых. Омические интервалы характеризуются низкими значениями ГК, $t_{pl}$ и содержанием водорода, и высокой плотностью. Минералогия, ассоциированная с такими уровнями, не является очевидной, но, возможно присутствие кремня или гидратированного кремнезема (опала). Если величина $(\rho_{ma})_a$ превышает 2.65, возможно содержание позднедиагенетической кальцитовой формации.
- Внутри песков видны тонкие максимумы проводимости, которые соответствуют высоким значениям плотности, содержания водорода, EATT, $t_{pl}$ и ГК. Это может быть лимонит с концентрацией торийсодержащих минералов (циркона).
- Высокий песчано-глинистый коэффициент.
- Во всех песках отмечается тенденция к уменьшению размера зерен вверх по разрезу.
- Верхние интервалы различных песков демонстрируют тонкую слоистость.
- Можно видеть несколько синих картин, которые, в общем случае, указывают на южное (до юго-восточного) направление транспортировки.

## 6.4.3.3. Границы

Как можно видеть на кривых сопротивления наклономера, верхние и нижние границы песков резко выражены и дают общую цилиндрическую форму.

## 6.4.3.4. Электрокомплексы

Общая эволюция кривых сопротивления указывает на последовательность, характеризующуюся уменьшением размера зерен вверх по разрезу.

### 6.4.3.5. Мощность

Мощность песчаных тел переменная, но в данном примере обычно является значимой.

Другой пример из Африки (рис.6.4-17) демонстрирует весьма изменчивые мощности. Как можно наблюдать по данным анализа GEODIP, все прочие характеристики сходны с характеристиками Tipam.

### 6.4.3.6. Возможность ошибочной интерпретации

Цилиндрическую форму, свойственную разветвленным руслам, можно спутать с аналогичной особенностью, выявленной в стремнинных барах (chute-bars) (рис.6.5-11).

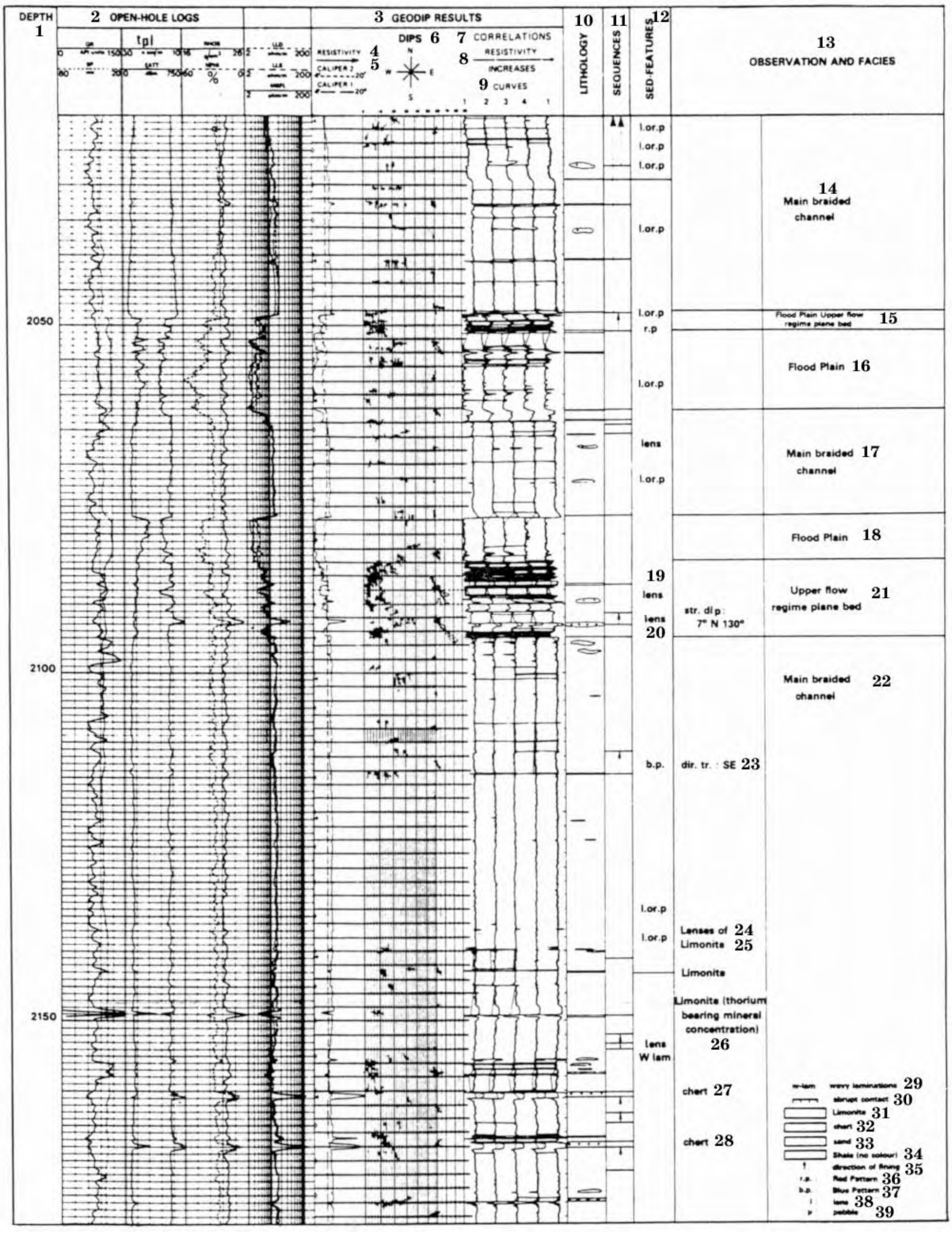


**Рис.6.4-16. Векторная диаграмма GEODIP по этой же скважине и ее интерпретация. Интерпретация по Serra, в Schlumberger, Well Evaluation Conference, Индия, 1983**.

(1- глубина; 2- каротаж в необсаженной скважине; 3- результаты GEODIP; 4- сопротивление; 5- кавернoмер 2; 6- наклоны; 7- корреляции; 8- сопротивление возрастает; 9- кривые; 10- литология; 11- последовательности; 12- особенности отложений; 13- результаты наблюдения и фации; 14- Основное разветвленное русло; 15- Пойма Верхний режим течения плоский слой; 16- Пойма; 17- Основное разветвленное русло; 18- Пойма; 19,20- линза; 21- Верхний режим потока плоский слой; 22- Основное разветвленное русло; 23- направление транспортировки: юго-восток; 24- Линзы лимонита; 25- Лимонит; 26- Лимонит (концентрация торийсодержащих минералов); 27,28- кремень; 29- w-lem волнистая тонкая слоистость; 30- резкий контакт; 31- Лимонит; 32- кремень; 33- песок; 34- Глинистый сланец (без цвета); 35- ↑ направление уменьшения размера зерен; 36- r.p.: Красная картина; 37- b.p.: Синяя картина; 38- l: линза; 39- p: гравий)

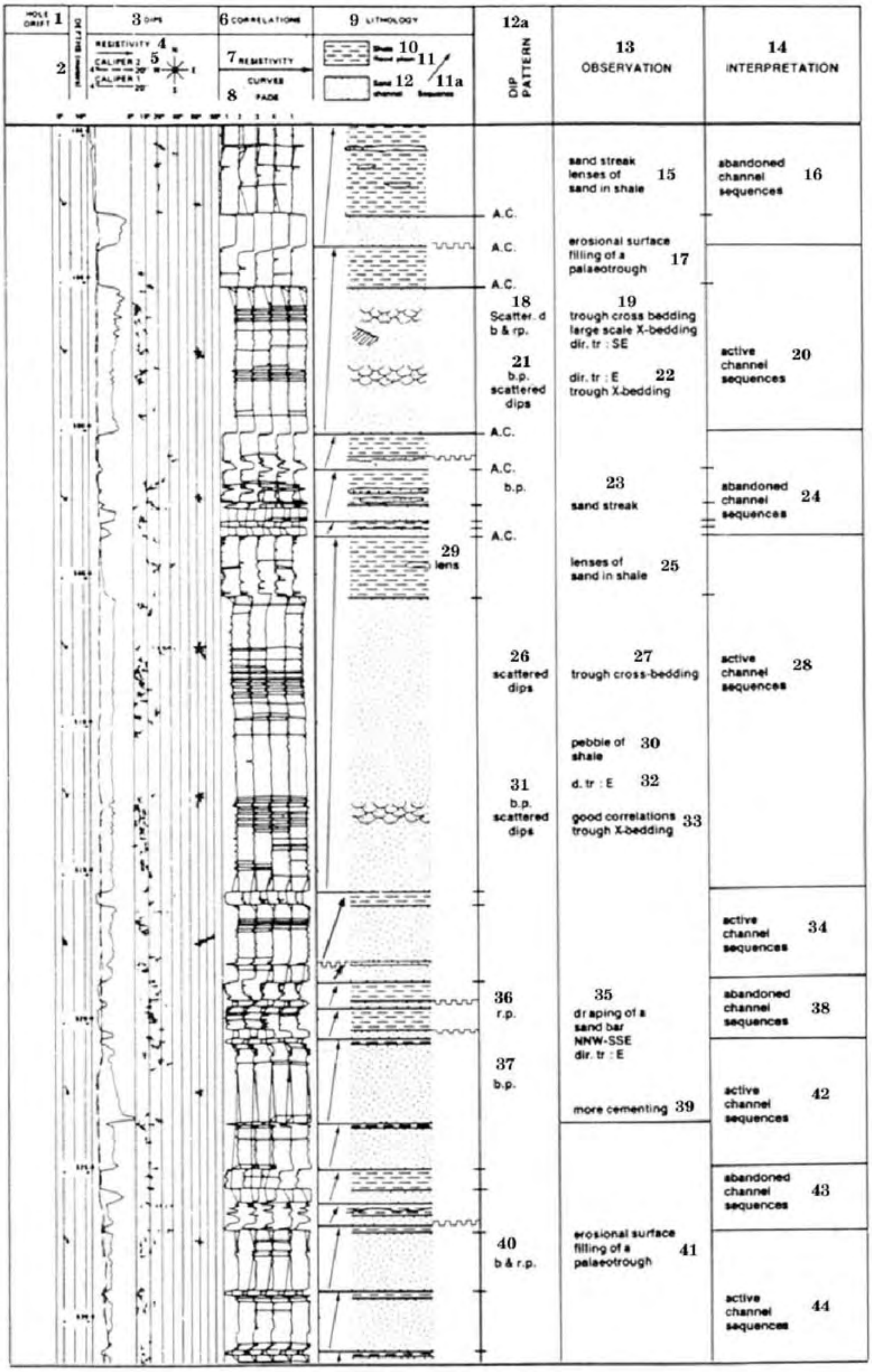


**Рис.6.4-17. Другой пример системы разветвленной реки из Африки: интерпретация GEODIP.**
(1- отклонение скважины; 2- глубина (в метрах); 3- наклоны; 4- сопротивление; 5- каверномер 2; 6- корреляции; 7- кривые сопротивления; 8- прижимные башмаки; 9- литология; 10,11- Пойма (глинистый сланец); 11a- Последовательность; 12- Песчаное русло; 12a- картина наклонов; 13- результаты наблюдения; 14- интерпретация; 15- песчаный прослоек линзы песка в глинистом сланце; 16- последовательности отмершего русла; 17,41- эрозионная поверхность выполнение палеовпадины; 18- Рассеянный наклон синяя и красная картины; 19- корытообразная косая слоистость крупномасштабная Х-слоистость направление транспортировки: юго-восток; 20- последовательности действующего русла; 21- синяя картина рассеянные наклоны; 22- направление транспортировки: восток корытообразная Х-слоистость; 23- песчаный прослоек; 24,38,43- последовательности отмершего русла; 25- линзы песка в глинистом сланце; 26- рассеянные наклоны; 27- корытообразная косая слоистость; 28,34,42,44- последовательности действующего русла; 29- линза; 30- галька из глинистого сланца; 31- синяя картина рассеянные наклоны; 32- направление транспортировки: восток; 33- хорошая корреляция корытообразная Х-слоистость; 35- облекание песчаного бара север северо-запад-юг юго-восток направление транспортировки: восток; 36- красная картина; 37- синяя картина; 39- более сцементированные отложения; 40 – синяя и красная картины)

## *6.5. РЕЧНАЯ ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ: МЕАНДРИРУЮЩАЯ СИСТЕМА*

### 6.5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Континентальная обстановка осадконакопления, характеризуемая отложениями, которые являются результатом деятельности речной системы с сильно извилистыми руслами. Эти русла сформированы рекой в стадии зрелости, отклоняющейся из стороны в сторону на пойме со слабым наклоном. Тип системы меандрирующей реки показан на рис.6.5-1, а репрезентативный вертикальный разрез – на рис.6.5-2.

### 6.5.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ФАЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

#### 6.5.2.1. Литология

Два параметра должны быть рассмотрены по отдельности.

##### *6.5.2.1.1.* Состав

Основными минералами являются кварц, более или менее измененные полевые шпаты и слюды, и песчаники – от кварцитовых до лититовых аренитов, вследствие их низкой до умеренной химической зрелости. Наиболее общие цементы – кремнистый или известковый. В твердом стоке русел может встречаться глинистая галька, которая поступает в результате оползней намывных валов. Глауконит отсутствует. Торф и уголь присутствуют в виде пластов (на пойме) и мелких обломков (в руслах). Карбонатные и железистые конкреции могут формироваться на участках с высокой скоростью испарения (на пойме). Глины в основном каолинитовые, но могут присутствовать и другие их типы, в зависимости от климатических условий и расстояния от источника сноса. В процессе диагенеза, флюиды, циркулирующие в разрезе, могут вступать в реакцию с обломочными нестабильными минералами, результатом чего является глинистая цементация. Кальцитовый цемент также может осаждаться.

**Рис.6.5-1. Аэрофотоснимок меандрирующего ложа и поймы реки Animas в нескольких милях выше Durando, Колорадо (из Shelton, 1966, в Press и Siever, 1978, рис.7-26).**


**Рис.6.5-2. Обобщенный разрез последовательности, характеризующейся уменьшением размера зерен в направлении вверх в меандрирующей системе; девонские фации Catskill, США, и южный Уэльс (из Selley, 1976, рис.99).**

### *6.5.2.1.2.* Текстура *(см. Таблицу6.5-1)*

Отложения меандрирующих рек показывают нормальную сортировку и обычно состоят из песков, алевритов и глинистых сланцев; песчано-глинистый коэффициент в общем случае меньше 1. Зона подошвы выветривания отсортирована плохо, и размер зерен изменяется от конгломератов до крупнозернистых песков. Вверх по разрезу подошва выветривания переходит в хорошо отсортированные пески, от средне- до тонкозернистых. Верхняя зона сложена в основном очень мелкими песками, алевритами и некоторым количеством глин, и может иметь сортировку от плохой до совершенной (Visher, 1965; Selley, 1972).

Таблица 6.5-1
*Физические характеристики модели аллювиальных отложений или заполнения долины. Тип линии указывает не резкость перехода между единицами* (по Visher, 1965)

| | СРЕДНИЙ РАЗМЕР ЗЕРНА | СОРТИРОВКА | ДИАПАЗОН РАЗМЕРА ЗЕРНА | ОСАДОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ | ГЕОМЕТРИЯ | Последовательность |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ЗАПОЛНЕНИЕ РУСЛА | МЕЛКИЙ | ПЛОХАЯ-СОВЕРШЕННАЯ | АЛЕВРИТ-ГЛИНА | ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СЛОИСТОСТЬ ТРЕЩИНЫ УСЫХАНИЯ КОРНИ РАСТЕНИЙ | НЕПРАВИЛЬНАЯ (Р) | |
| ПОЙМЕННОЕ БОЛОТО | ОЧЕНЬ МЕЛКИЙ | ПЛОХАЯ | АЛЕВРИТ-ГЛИНА | ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СЛОИСТОСТЬ КОРНИ РАСТЕНИЙ УГОЛЬ | НЕПРАВИЛЬНАЯ | |
| ПОЙМА | | | АЛЕВРИТ-ГЛИНА | ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СЛОИСТОСТЬ ОПОЛЗНЕВЫЕ СТРУКТУРЫ ТРЕЩИНЫ УСЫХАНИЯ ВБЛИЗИ КРОВЛИ | ДУГООБРАЗНАЯ | |
| ЕСТЕСТВЕННЫЙ ПРИРУСЛОВЫЙ ВАЛ | | | ТОНКИЙ ПЕСОК-АЛЕВРИТ | МЕЛКОМАСШТАБНЫЕ Х-ОБРАЗНЫЕ ПЛАСТЫ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СЛОИСТОСТЬЮ | КЛИНОВИДНАЯ (Р) | |
| ЗОНА Х-ОБРАЗНЫХ СЛОЕВ СО ЗНАКАМИ РЯБИ | | | ТОНКИЙ ПЕСОК-АЛЕВРИТ | РЯБЬ НАБЕГАНИЯ Х-СЛОИСТОСТЬ СО ЗНАКАМИ РЯБИ | ШИРИНА ДО 30 MI | |
| ТОНКОСЛОИСТАЯ ЗОНА | | | ПЕСОК-АЛЕВРИТ | ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СЛОИСТОСТЬ ИЛИ ТОНКАЯ СЛОИСТОСТЬ | ШИРИНА ДО 30 MI | |
| ЗОНА МЕГАРЯБИ | | ОЧЕНЬ ХОРОШАЯ | ПЕСОК | ФЕСТОНЧАТАЯ ИЛИ ПЛОСКОСТНАЯ Х-СЛОИСТОСТЬ | ШИРИНА ДО 30 MI | |
| ЗОНА ТВЕРДОГО СТОКА У ЛОЖА | КРУПНЫЙ | ПЛОХАЯ-ХОРОШАЯ | МЕЛКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ ГЛИНЫ ГАЛЬКА КРУПНЫЙ ПЕСОК | ПЛОХО ВЫРАЖЕННАЯ СЛОИСТОСТЬ | ШИРИНА ДО 30 MI | |

## 6.5.2.2. Структура

В таблице 6.5-1 перечислены основные осадочные структуры, обнаруженные в отложениях меандрирующей системы по отношению к основным фациям. Осадочные структуры связаны с режимом потока и имеют соответствующую организацию в последовательностях. Последовательность начинается с эрозионной поверхности с впадинами размыва, после которой следует среднемасштабная косая слоистость. Далее вверх по разрезу: параллельная тонкая слоистость, связанная с верхним режимом потока; дельтовая слоистость в косе или в стремнинном баре с мелкими косыми слоями (рис.6.5-3 и 6.5-4, McGowen и Garner, 1970). Отложения поймы демонстрируют горизонтальную или конволютную слоистость, обычно разрушенную биотурбацией. Могут также присутствовать остатки корней.

## 6.5.2.3. Границы

Наблюдаются резкие, четкие эрозионные нижние и боковые контакты; в направлении кровли они теряют резкость.

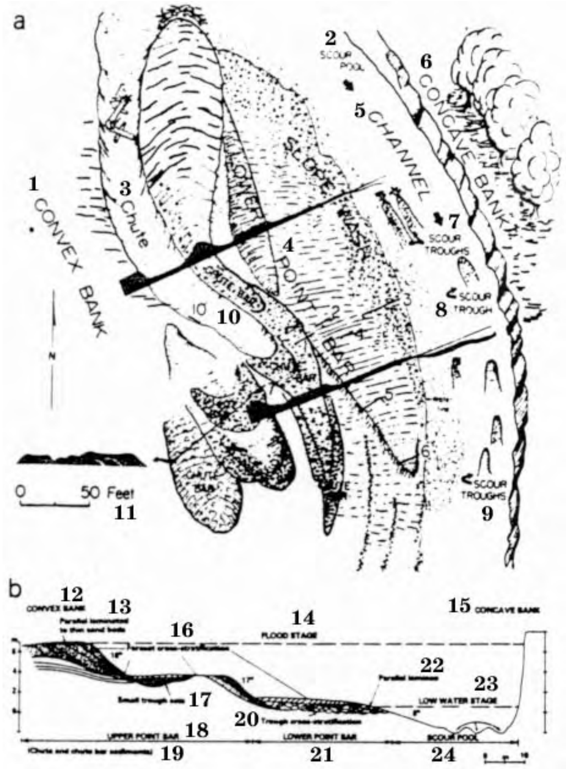



**Рис.6.5-3. Элементы рельефа и внутренняя структура крупнозернистой косы. (a) Вид в плане, (b) косая слоистость (по McGowen и Garner, 1970).**

(1- выпуклая банка; 2- плес; 3- стремнина; 4- коса; 5- русло; 6- вогнутый берег; 7,8,9- впадина размыва; 10- стремнинный бар; 11- Футы; 12- выпуклая банка; 13- Параллельная слоистость – тонкие слои песка; 14- стадия наводнения; 15- вогнутый берег; 16- Передовая косая слоистость; 17- Мелкие корытообразные слои; 18- высокая коса; 19- (Стремнина и отложения стремнинного бара); 20- Корытообразная косая слоистость; 21- низкая коса; 22- Параллельные тонкие слои; 23- стадия малой воды; 24- плес)

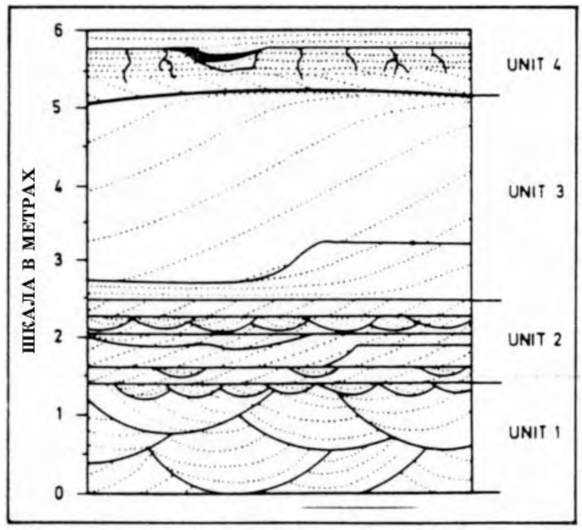



**Рис.6.5-4. Вертикальная последовательность крупнозернистых отложений косы, демонстрирующая различные особенности слоистости. Различаются четыре единицы: Единица 1 – отложения плеса; единица 2 – отложения низкой косы; единица 3 – отложения стремнинного бара; единица 4 – отложения поймы (из McGowen и Garner, 1970).**

### 6.5.2.4. Последовательности

В основном, последовательность характеризуется уменьшением размера зерен вверх по разрезу (рис.6.5-5 из Allen, 1970). Она состоит из внутрирусловых отложений (боковое наращивание), которые сопровождаются паводковыми тонкими фракциями (вертикальное наращивание). Остаточные отложения покрывают почти горизонтальную эрозионную поверхность и, в свою очередь, перекрываются песками с корытообразной слоистостью, поверх которых залегают алевриты, характеризующиеся мелкомасштабной корытообразной косой слоистостью. Местами внутри этой последовательности могут наблюдаться горизонтальные тонкие слои. После боковой миграции русла, последовательность продолжается отложениями вертикального наращивания (алевритами и илом), которые появляются на стадии наводнения. Могут наблюдаться следы корней и трещины высыхания. В некоторых районах с влажным климатом растительность может быть достаточной для образования пластов угля. В полузасушливых или в засушливых районах, колебания поверхности грунтовых вод и высыхание на поверхности благоприятствуют образованию конкреций, похожих на каличе.

### 6.5.2.5. Геометрия тел

В основном наблюдается рукавообразная геометрия, однако в зависимости от соотношения между боковым и вертикальным наращиванием, могут развиваться единицы песка в виде пластов (рис.6.5-6).

Длина меандра возрастает с расширением меандрирующей реки и увеличением длины среднего радиуса его кривизны (рис.6.5-7).

Ширина песчаных тел приблизительно в 10 раз больше ширины русла и в 200 раз превышает их мощность. Общая мощность одной генетической песчаной единицы близка к глубине воды в русле в период паводка (от 3 до 30 метров). Пласты угля прослеживаются по горизонтали на 1.5 – 8 км, и расщепляются трещинами, толщина которых увеличивается в направлении пояса меандрирования.

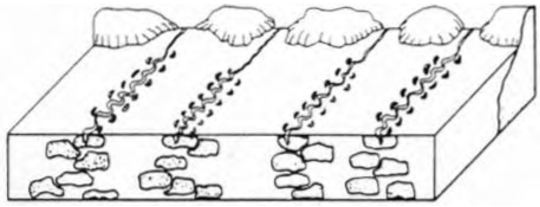


**Рис.6.5-6. Концептуальные модели геометрии речного русла (по Allen, 1965, у Visher, 1977).**

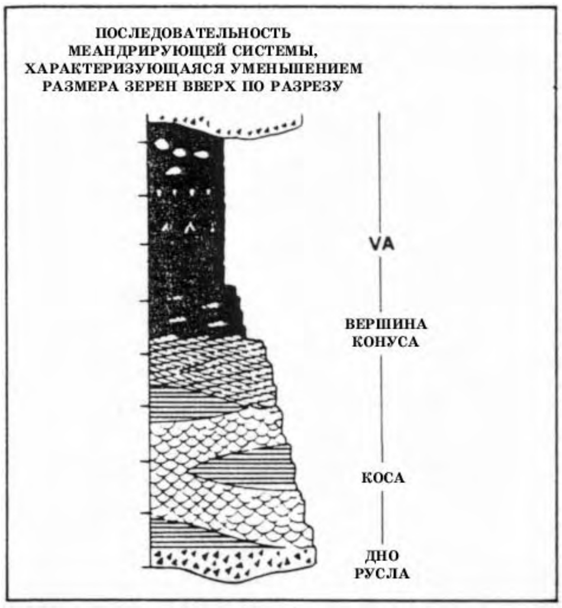



**Рис.6.5-5. Теоретическая последовательность фаций в меандрирующей системе. VA = вертикальное наращивание (из Allen, 1970).**

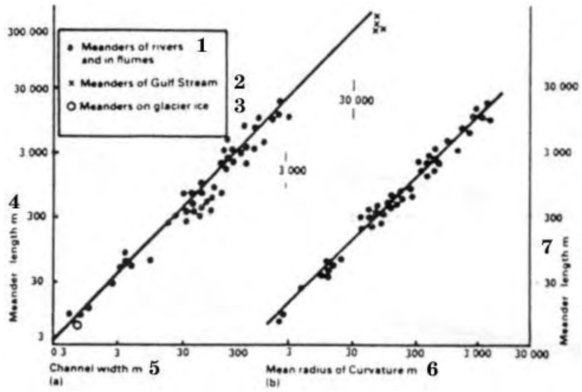



**Рис.6.5-7. Соотношение между длиной меандра, шириной русла (а) и средним радиусом кривизны (b) (из Leopold и Wolman, 1960, в Leet и др., 1978).**

(1- Меандры рек и в ущельях; 2- Меандры Gulf Stream; 3- Меандры на льде ледникового происхождения; 4,7Длина меандра (в метрах); 5- Ширина русла (в метрах) (а); 6- Средний радиус кривизны (в метрах) (b)

### 6.5.2.6. Модель направленного потока

В меандрах, спиральный или геликоидальный поток создается вследствие наваливания массы воды на внешние стороны изгибов. Этот механизм является причиной бокового наращивания кос (рис.6.5-8). Между меандрами поток прямолинейный. Размывание и заполнение в русле формирует передовые слои в направлении потока. Геликоидальный поток формирует передовые слои в косах, направление вниз по падению которых является наклонным к направлению русла. Это дает бимодальное распределение повторяемости азимутов в одной последовательности. Общее распределение повторяемости азимутов демонстрирует очень сильный разброс.

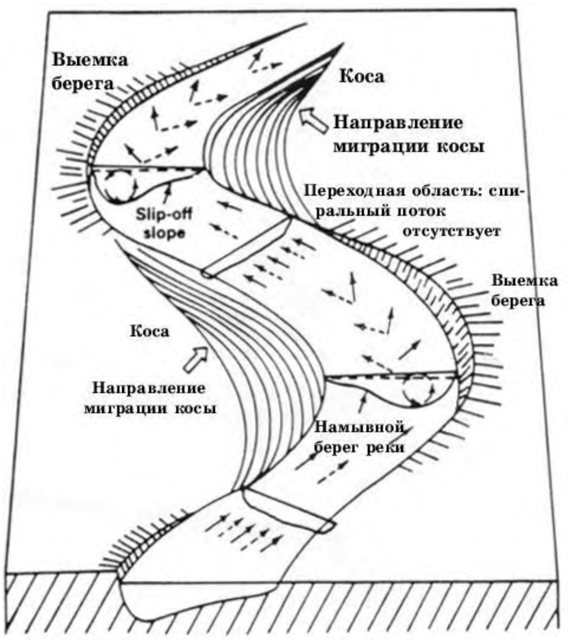



**Рис.6.5-8. Блок-диаграмма двух меандровых изгибов и переходной области. Сплошными стрелками обозначено направление поверхностного течения; штриховые стрелки показывают направление придонного течения. Стрелки, образующие окружность, показывают направление спирального потока на виде сверху поперечных разрезов (из Friedman и Sanders, 1978, на основе данных Friedkin, 1945).**

### 6.5.2.7. Характеристики коллектора

Песчаные тела способны образовывать породы с хорошими коллекторскими свойствами (пористость – до 30%, проницаемость – до нескольких тысяч миллидарси), но они ограничены в горизонтальном направлении. Пласты глинистых сланцев различной мощности могут создавать барьеры проницаемости. В таких условиях, распространенные непроницаемые пойменные глинистые сланцы могут формировать стратиграфические ловушки. Пойменные глинистые сланцы часто содержат собственные нефтематеринские породы (обломки растений и торф, лигнит или уголь) и поэтому часто считается, что они, скорее, содержат газ, нежели нефть.

## 6.5.3. КАРОТАЖНЫЕ СИГНАЛЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Galloway и Hobday (1983) предложили идеализированные профили ПС для основных подобстановок осадконакопления, выявленных в меандрирующих руслах (рис.6.5-9 – 6.5-11). Ниже приводится более полное описание каротажных сигналов и характеристик.

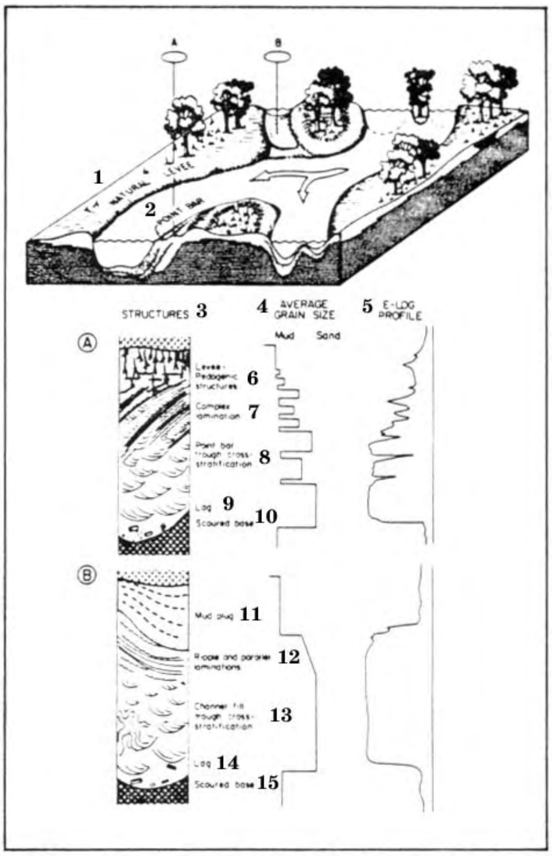



**Рис.6.5-9. Обобщенная модель осадконакопления, представляющая вертикальные последовательности, и идеализированные профили ПС в участках системы разветвленного русла, которые характеризуются боковым наращиванием (А) и симметричным заполнением (В) (из Galloway и Hobday, 1983, рис.4-5).**

(1- естественный прирусловый вал; 2- коса; 3- структуры; 4- средний размер зерен; 5- профиль ПС; 6- Намывной вал – почвенные структуры; 7- Сложная слоистость; 8- Коса – корытообразная косая слоистость; 9,14- Остаточные отложения; 10,15- Размытая подошва; 11- Грязевая пробка; 12- Рябь и параллельная слоистость; 13- Русловые отложения – корытообразная косая слоистость)

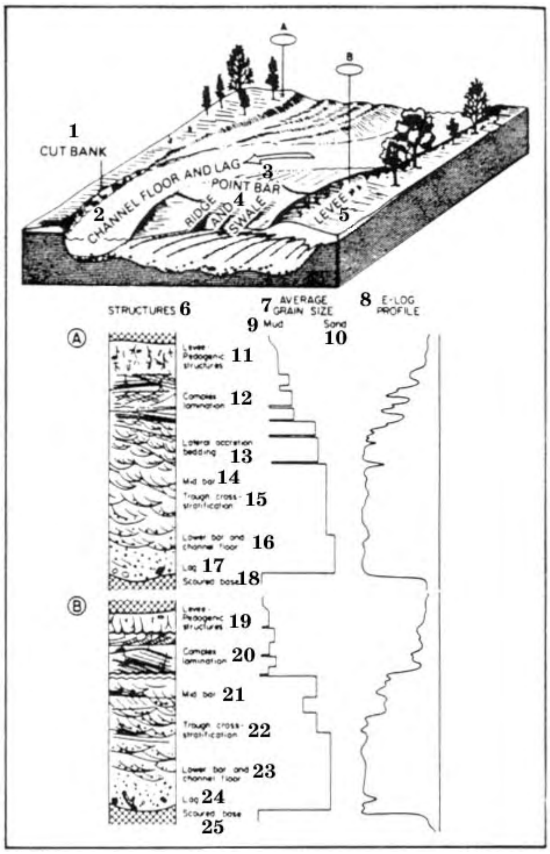



**Рис.6.5-10. Обобщенная модель осадконакопления, представляющая вертикальные последовательности и идеализированные профили ПС песчаного тела пояса меандрирования, которое сформировано сильно извилистым руслом. Разрез (А) иллюстрирует полную последовательность, характеризующуюся уменьшением размера зерен вверх по разрезу, типичную для косы в среднем или в нижнем течении. Разрез (В) иллюстрирует срезанную вертикальную последовательность, обычно свойственную косе в верхнем течении (из Galloway и Hobday, 1983, рис.4-6).**

(1- выемка берега; 2- дно русла и остаточные отложения; 3- коса; 4- гребень и впадина; 5- намывной вал; 6- структуры; 7- средний размер зерен; 8- профиль ПС; 9- Ил; 10- Песок; 11,19- Намывной вал – почвенные структуры; 12,20- Сложная слоистость; 13- Слоистость бокового наращивания; 14,21- Средняя часть бара; 15,22- Корытообразная косая слоистость; 16,23- Нижняя часть бара и дно русла; 17,24- Остаточные отложения; 18,25- Размытая подошва)

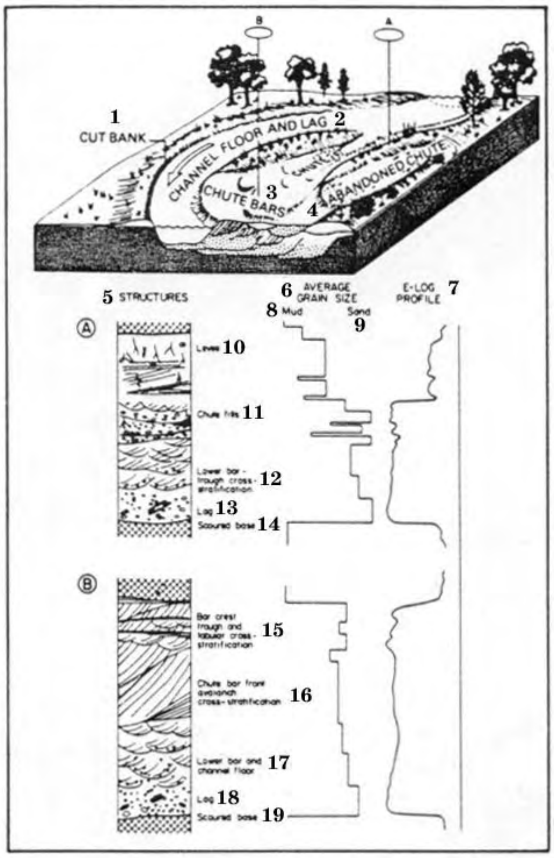



**Рис.6.5-11. Обобщенная модель осадконакопления, представляющая вертикальные последовательности, и идеализированный профиль ПС косы, измененной стремниной. Участки косы, расположенные вверх по течению, перекрываются стремнинно-русловыми (chute-channel) отложениями. (А). Вниз по течению, отложения русла и нижней части бара перекрываются осадочным материалом стремнинного бара (chute-bar) (из Galloway и Hobday, 1983, рис.4-7).**

(1- выемка берега; 2- дно русла и остаточные отложения; 3- стремнинные бары; 4- отмершая стремнина; 5- структуры; 6- средний размер зерен; 7- профиль ПС; 8- Ил; 9- Песок; 10- Намывной вал; 11- Стремнинные отложения; 12- Нижняя часть бара – корытообразная косая слоистость; 13,18- Остаточные отложения; 14,19- Размытая подошва; 15- Гребень бара – корытообразная и пластинчатая косая слоистость; 16- Передняя часть стремнинного бара – лавинная косая слоистость; 17- Нижняя часть бара и дно русла)

## 6.5.3.1. Электролитофации

Радиоактивность от средней до высокой, в зависимости от химической зрелости. Процентное содержание калия в основном ниже 1%, если порода относительно зрелая, или от 1 до 2%, если порода незрелая (с полевыми шпатами, слюдами). Отношение Th/K стремится к величине, превышающей 10. Содержание урана часто очень низкое (окислительная среда); исключение представляют отложения поймы, характеризующиеся высоким содержанием органического вещества. На графике взаимной зависимости $\rho_b$ – $\varnothing_N$, фигуративные точки ложатся между областями песчаника и глинистого сланца. Незначительное количество точек может указывать на карбонаты, похожие на каличе. Точки с высокой плотностью и большим значением Pe могут соответствовать наличию латерита или лимонита. Величина Pe обычно не превышает 3, за исключением случая, когда тяжелые минералы (лимонит, пирит) являются распространенными. Песчано-глинистый коэффициент в общем случае меньше 1. Пласты угля хорошо идентифицируются по данным ГИС. Два примера меандрирующих русел показаны на рис.6.5-12 и 6.5-14.

## 6.5.3.2. Рисунки наклонов

Чаще всего, изображения результатов GEODIP или LOCDIP (рис.6.5-13 и 6.5-15) показывают отсутствие наклонов или рассеянные наклоны (корытообразную косую слоистость). Могут присутствовать синие и красные картины, иногда с одним и тем же азимутом (рис.6ю5-15, единица 3), указывая на передовые слои, иногда разделенные азимутом 90˚. Этот последний тип красных картин соответствует отложениям русла; картины, перпендикулярные оси русла, показывают направление самых мощных отложений песка.

## 6.5.3.3. Границы

В общем случае, можно наблюдать четкий контакт на подошве песчаного пласта (рис.6.5-12 и 6.5-14), который лучше виден на кривых микрозондов (микрокаротажа) или на кривых наклономера (рис.6.5-13 и 6.5-15). Эрозия может быть выявлена по различной мощности подстилающей единицы на каждом прижимном башмаке. В направлении кровли наблюдается постепенный контакт.

## 6.5.3.4. Электрокомплексы

Для каждой отдельной последовательности отложений, обычно наблюдается колоколообразная форма кривых (рис.6.5-12 и 6.5-14; см. также рис.4-2), которая отражает общее уменьшение размера зерен вверх по разрезу. Последовательность «колоколообразных» элементов с переменной мощностью является правилом.

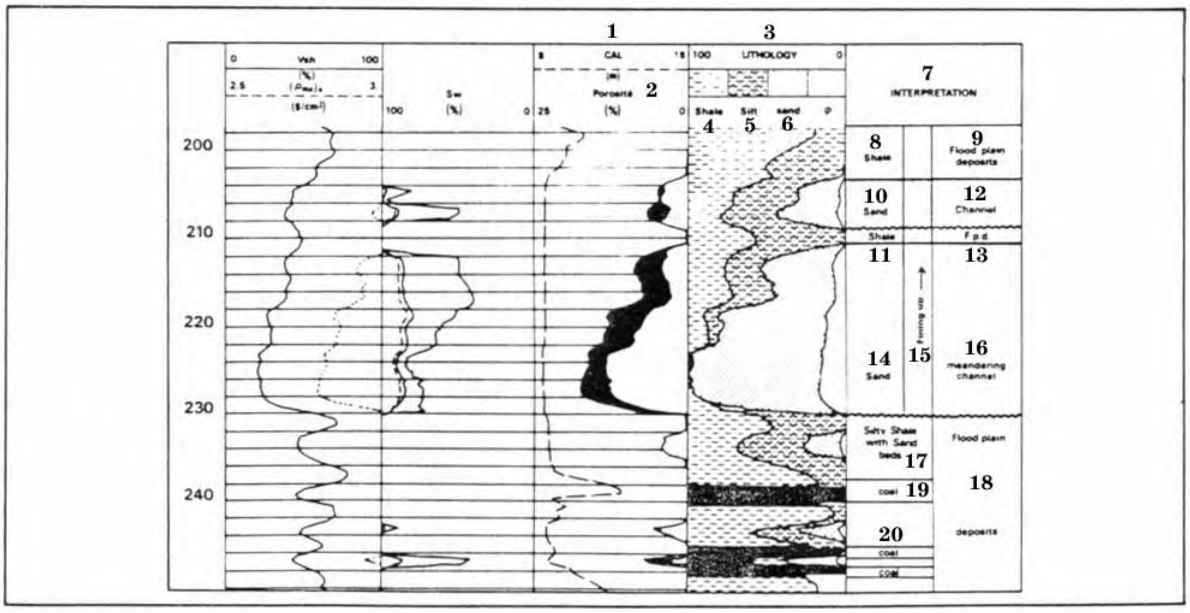



**Рис.6.5-12. Одно меандрирующее русло на изображении результатов SARABAND.**
(1- каверномер; 2- Пористость (%); 3- литология; 4- Глинистый сланец; 5- Алеврит; 6- песок; 7- интерпретация; 8,11- Глинистый сланец; 9,13,18- Отложения поймы; 10,14- песок, 15- Уменьшение размера зерен; 16- меандрирующее русло; 17- Алевритистый глинистый сланец с пластами песка; 19,20- уголь)

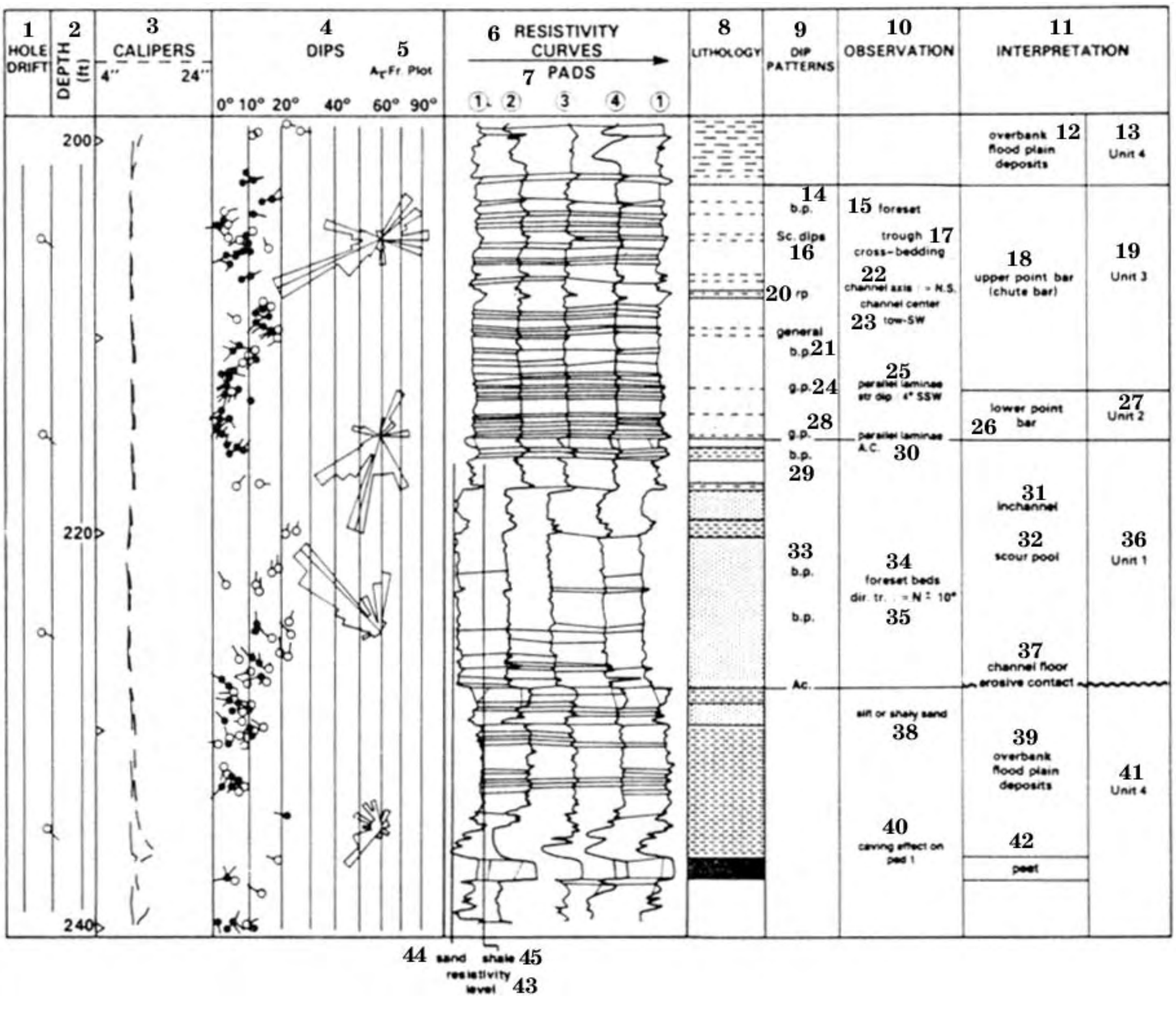



**Рис.6.5-13. Изображение результатов GEODIP в том же интервале, что и на рис.6.5-12, и их интерпретация в терминах фаций.**

(1- отклонение скважины; 2- глубина (в метрах); 3- каверномеры; 4- наклоны; 5- Частотная диаграмма азимутов; 6- кривые сопротивления; 7- прижимные башмаки; 8- литология; 9- картины наклонов; 10- результаты наблюдения; 11- интерпретация; 12,39- паводковые отложения поймы; 13- Единица 3; 14,21,29,33- синяя картина; 15,34- передовые слои; 16- рассеянные наклоны; 17- корытообразная косая слоистость; 18- верхняя часть косы (стремнинный бар); 19- Единица 2; 20- красная картина; 21- общая синяя картина; 22- ось русла = север – юг; 23- направление центральной части русла – юго-запад; 24,28- зеленая картина; 25- параллельные слои простирание и падение: 4˚, юг юго-запад; 26- нижняя часть косы; 27- единица 2; 30- параллельные слои резкий контакт; 31- русловые отложения; 32- плес; 35- направление транспортировки: север ± 10°; 36- Единица 1; 37- дно русла эрозионный контакт; 38- алеврит или глинистый песок; 40- влияние каверны на прижимной башмак 1; 41- Единица 4; 42- торф; 43- уровень сопротивления; 44- песок; 45- глинистый сланец)

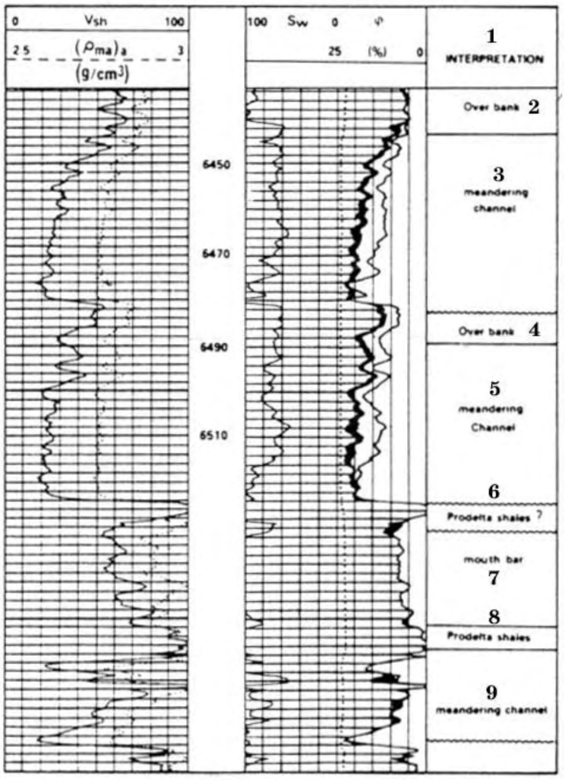



**Рис.6.5-14.Три меандрирующих русла – как они могут быть опознаны на изображении результатов SRABAND.**

(1- Интерпретация; 2,4- Паводковые отложения; 3,5,9- Меандрирующее русло; 6- Глинистые сланцы продельты?; 7- устьевый бар; 8- Глинистые сланцы продельты)

## 6.5.3.5. Мощность

Для одной последовательности, мощность изменятся от нескольких дециметров до нескольких метров. Пласты глинистых сланцев также имеют различную мощность.

## 6.5.3.6. Возможность ошибочной интерпретации

В некоторых случаях, аллювиальные отложения можно принять за турбидитовые отложения, которые образуются путем суммирования нескольких неполных циклов Боума (единиц A, B и C). Цилиндрическую форму, соответствующую стремнинным барам, также можно ошибочно интерпретировать как разветвленные русла.

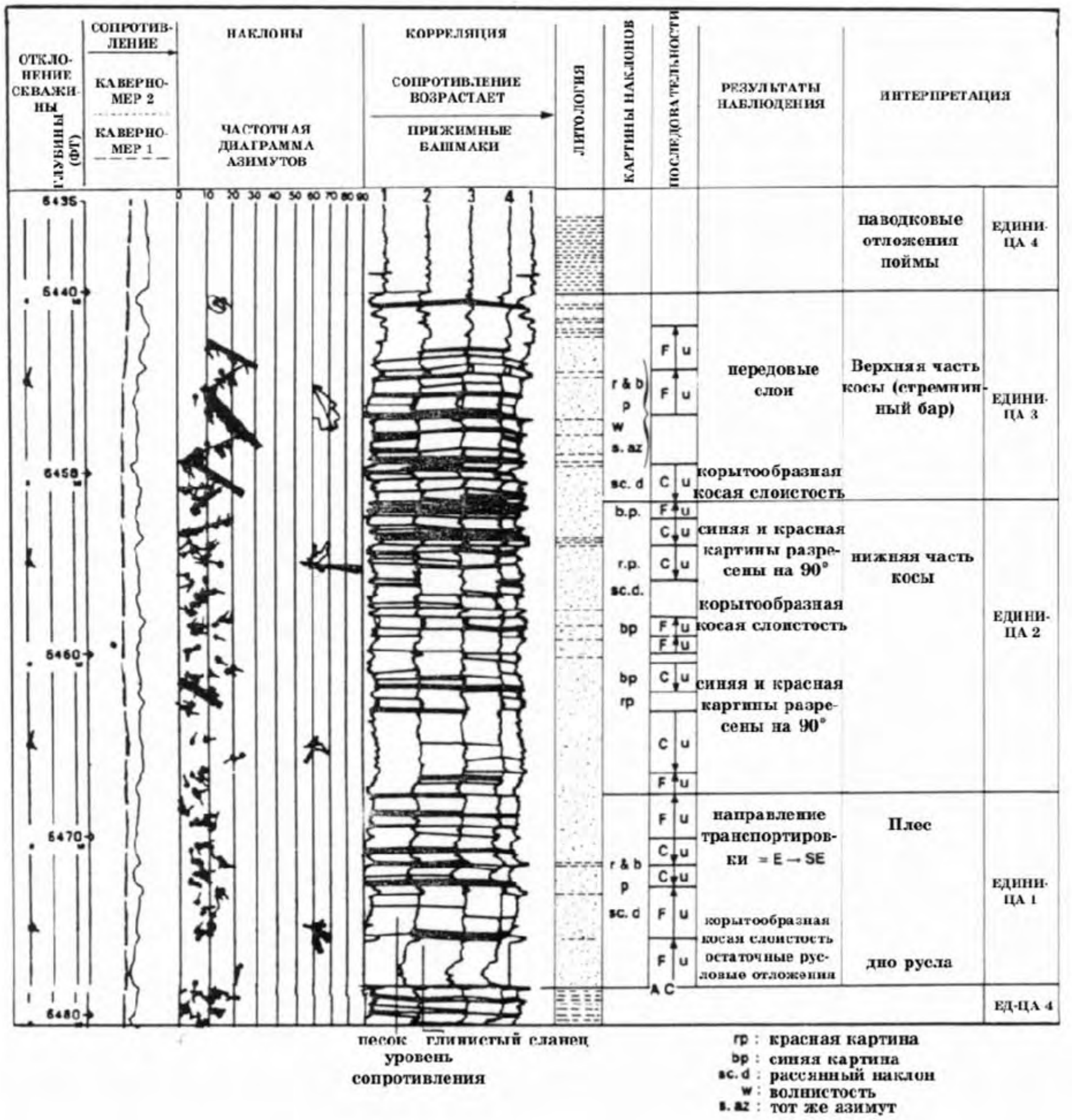



**Рис.6.5-15. Изображение GEODIP для верхнего меандрирующего русла, показанного на рис.6.5-14, и его интерпретация в терминах фаций**.

## *6.6. ДЕЛЬТОВАЯ ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ*

### 6.6.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Переходная обстановка осадконакопления, характеризующаяся «осадками, перенесенными к концу русла (или к множеству раздвоенных русел) течением континентальной воды, и отложенными преимущественно в субаквальной среде (частично в субаэральной среде) на краю стоячей воды, куда русло (русла) разгружалось или продолжает разгружаться (озеро, море, океан)» (Friedman и Sanders, 1978). Космический снимок современной дельты Миссисипи показан на рис.6.6-1, а теоретические вертикальные разрезы трех типов дельт приведены на рис.6.6-2.

Рис.6.6-1. Космический снимок современной дельты Миссисипи. (Фотография NASA, взята у Friedman и Sanders, 1978).


Рис.6.6-2. Теоретические вертикальные разрезы трех типов дельт (из Walker, 1979).

## 6.6.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ФАЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

Дельтовая обстановка осадконакопления характеризуется разнообразием отдельных осадочных фаций. Такая сложность обусловлена несколькими факторами: дельтовая обстановка существует в различных географических условиях; она формируется в зонах взаимодействия между пресноводными и морскими процессами, характеризуется переносом значительных объемов осадочного материала; скорость отложения часто увеличивается, что приводит к образованию весьма слабого основания, где имеют место различные процессы движения масс. Таким образом, эти отложения отражают разнообразие геометрии и характеристик вертикальных последовательностей (Coleman и Prior, 1982).

### 6.6.2.1. Подобстановки осадконакопления

Если говорить в общем, дельта может быть подразделена на несколько подобстановок осадконакопления.

#### *6.6.2.1.1.* Дельтовая равнина

Это субаэральная равнинная часть дельты, которая включает действующие и отмершие русла, разделенные мелководными условиями осадконакопления и выступающими или почти выступающими поверхностями. В состав дельтовой равнины входят:

- *Верхняя дельтовая равнина*, или часть дельты, расположенная выше зоны значительного влияния приливов и отливов или моря. Ее отложения представлены:
    - a) отложениями мигрирующих дельтовых рукавов (разветвленных или меандрирующих; отложениями естественных прирусловых валов и кос);
    - b) озерными дельтовыми отложениями, внутридельтовыми пойменными отложениями.
- Нижняя дельтовая равнина, которая расположена внутри зоны взаимодействия реки и моря, и распространяется в сторону суши от отметки малой воды до границы влияния приливов и отливов. Отложения включают:
    - c) отложения заливов (внутридельтовых заливов, естественных прирусловых валов, маршей, расщелинных конусов);
    - a) отложения отмерших дельтовых рукавов.

### ***6.6.2.1.2.*** Субаквальная дельтовая равнина

Это часть дельтовой равнины, расположенная ниже уровня малой воды и распространяющаяся в направлении моря до области, которая активно принимает речной осадочный материал. Глубина воды в этой области изменяется от 10 до 300 м, и ее можно разделить на две части.

- *Фронт дельты*

Подобстановка осадконакопления с высоким энергетическим уровнем, где осадочный материал постоянно перерабатывается приливно-отливными течениями, морскими вдольбереговыми течениями и волнами (глубина воды не более 10 м). Она включает покровные пески фронта дельты, устьевый бар дельтового рукава, приливно-отливные отложения устья реки, отложения прибрежного и берегового вала и устьевого бара потока. Фронт дельты представлен относительно крупномасштабной последовательностью, характеризующейся увеличением размера зерен вверх по разрезу. Она регистрирует изменение фаций от тонкозернистых дальних или продельтовых до фации береговой линии, где обычно преобладает песчаник. Эти последовательности являются результатом латерального наращивания фронта дельты, и могут быть срезаны последовательностями дельтового рукава или разветвленного приливно-отливного канала стока по мере продолжения наращивания.

- *Продельта*

Переходная подобстановка осадконакопления между фронтом дельты и морским шельфом. Она представляет часть дельты, которая расположена ниже эффективной глубины морской абразии, за пределами фронта дельты и несколько наклонена к дну бассейна, в который продвигается дельта. Осадки в этой части дельты состоят из самого тонкого материала, отложенного из взвеси.

## 6.6.2.2. Литология

Два параметра должны быть рассмотрены по отдельности.

### *6.6.2.2.1.* Состав

Преобладающими литофациями являются кремнисто-обломочные отложения, с относительно хорошей химической и текстурной зрелостью. Часто описываются слюда и линзы тяжелых минералов. Распространены пласты и обломки угля. Могут присутствовать глауконит и фосфаты, в зависимости от влияния моря. Имеются обломки раковин и тонкие известняки. В небольших количествах присутствуют сидерит, пирит, лимонит и другие железосодержа- щие минералы. Должны быть тонкие слои эвапоритов, если этому благоприят- ствуют климатические условия.

### *6.6.2.2.2.* Текстура

Размер зерен обычно соответствует среднезернистому песку до глины. Конгломераты и крупнозернистые пески встречаются редко, за исключением внутриформационных типов (мягких обломков (soft-clasts), оползневых глыб или окатышей), или дельт, являющихся результатом проникновения аллювиальных конусов выноса через массу воды (рис.6.6-3). Сортировка от средней до хорошей. Отмечается тенденция к изменению размера зерен в циклических последовательностях. Окатанность от умеренной до хорошей. Каждая из альтернативных субмоделей оставит свой отпечаток на текстурных параметрах.

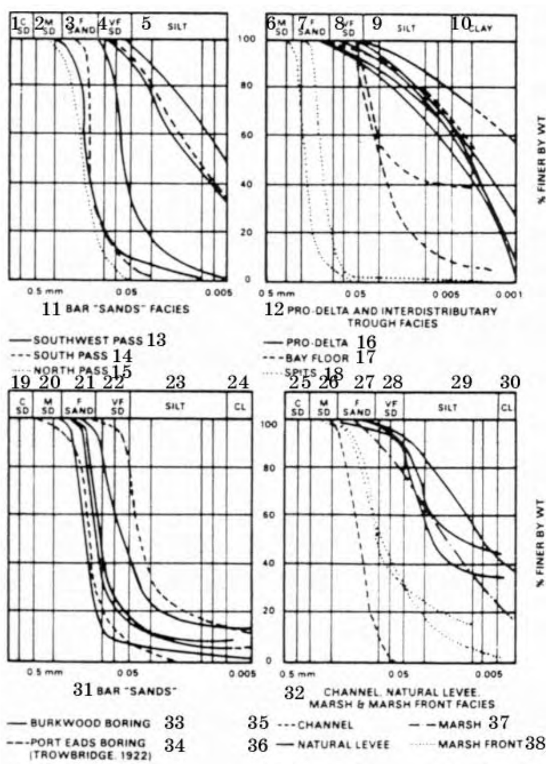



**Рис.6.6-3. Интегральные кривые распределения образцов, отобранных с поверхности и с глуби- ны, которые представляют различные осадоч- ные фации из пальцеобразной дельты (из Fisk и др., 1977).**

(1,19,25- крупнозернистый песок; 2,20,26- среднезернистый песок; 3,7,21,27- тонкозернистый песок; 4,8,22,28- очень мелкий песок; 5,9,23,29- алеврит; 10,24,30-глина; 11- «песчаная» фация бара; 12- фации продельты и внутридельтовых русел; 13- распространение на юго-запад; 14- распростране- ние на юг; 15- распространение на север; 16- про- дельта; 17- дно залива; 18- намывные косы; 31- «пески» бара; 32- фации русла, естественного прируслового вала, марша и фронта марша; 33- фитоморфозы burkwood; 34- фитоморфозы port eads (Trowbridge); 35- русло; 36- естественный прирусловый вал; 37- марш; 38- фронт марша)

### 6.6.2.3. Классификация

Распределение, ориентация и внутренняя геометрия дельтовых отложений контролируются рядом факторов (Таблица 6.6-1 и рис.6.6-4), в число которых входят климат, морфология, растительность, расход воды, твердый сток, процессы, происходящие в устье, волны, приливы и отливы, ветры, течения, склон шельфа, а также тектоника и геометрия принимающего бассейна (Wright *и др.*, 1974).

Таблица 6.6-1

*Факторы, влияющие на дельтовое осадконакопление*

(из Morgan, 1970).

| | | | |
|---|---|---|---|
| РЕЖИМ РЕКИ<br>Изменения, влияющие на твердый сток и транспортирующую способность | Паводковая стадия | Твердый сток | Количество взвешенных наносов и твердого стока у ложа (т.е. транспортирующая способность русла) возрастает в период паводка |
| | | Размер частиц | Размер частиц взвешенных наносов и твердого стока у ложа (т.е. несущая способность русла) возрастает в период паводка |
| | Меженный период | Твердый сток | Транспортирующая способность русла уменьшается в меженный период |
| | | Размер частиц | Несущая способность потока уменьшается в меженный период |
| ПРИБРЕЖНЫЕ ПРОЦЕССЫ | Энергия волн | | Высокая энергия волн с переработкой, эрозией и отсеиванием дельтового осадочного материала турбулентными потоками и течениями |
| | Амплитуда прилива | | При высокой амплитуде прилива, энергия волн распределяется по обширной литоральной зоне и создает приливно-отливные течения |
| | Сила течения | | Сильные прибрежные течения, формируемые волнами и приливами, переносят осадочный материал вдоль берега, от берега и к берегу |
| ПОВЕДЕНИЕ СТРУКТРР (По отношению к среднему многолетнему уровню моря) | Устойчивая зона | | Жесткий фундамент препятствует погружению дельты и обуславливает вертикальное наращивание дельтовой равнины по мере ее проградации |
| | Погружающаяся зона | | Погружение за счет прогибания, связанного с уплотнением осадков, позволяет дельте создавать перекрывающиеся лопасти по мере ее проградации |
| | Поднимающаяся зона | | Поднятие суши или понижение уровня моря обуславливает врезание дельтовых рукавов и переработку их отложений |
| КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ | Влажная зона | Жаркая или теплая | Высокая температура и влажность дают плотный растительный покров, который улавливает осадочный материал, перенесенный речными или приливно-отливными течениями |
| | | Прохладная или холодная | Сезонный характер роста растительности является причиной ее меньшей эффективности при улавливании осадочного материала; низкая зимняя температура обуславливает формирование на дельтовой равнине торфа из сезонных скоплений обломков растений |

| | | |
|---|---|---|
| Сухая зона | Жаркая или теплая | Редкий растительный покров играет воторстепенную роль в улавливании осадочного материала, и допускает значительные эоловые процессы в дельтовой равнине |
| | Прохладная или холодная | Редкий растительный покров играет второстепенную роль в улавливании осадочного материала; зимний лед прерывает речные процессы; сезонные таяния и эоловые процессы влияют на транспортировку и отложение осадочного материала |

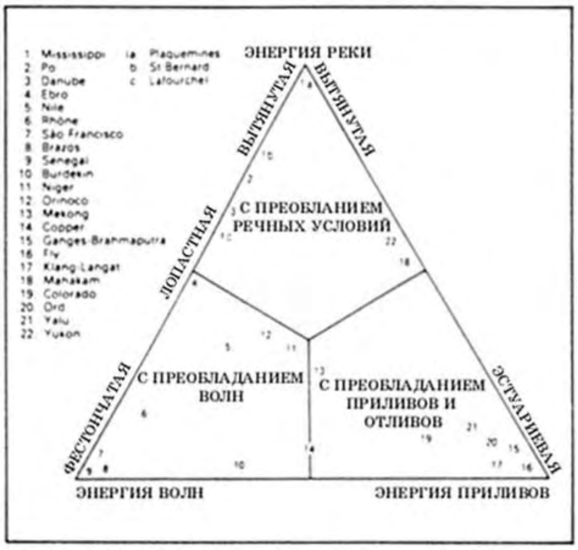




**Рис.6.6-5. Треугольная диаграмма классификации дельтовых осадочных последовательностей (из Galloway, 1975).**

**Рис.6.6-4. Основные процессы, контролирующие речные системы (из Coleman и Prior, 1980).**

Для завершения этого сложного набора переменных, дельты будут классифицированы согласно Galloway, 1975 (Таблица 6.6-2 и рис.6.6-5).

Таблица 6.6-2

*Характеристики дельтовых осадочных последовательностей*

(из Galloway, 1975)

| | ПРЕОБЛАДАНИЕ РЕЧНЫХ УСЛОВИЙ | ПРЕОБЛАДАНИЕ ВОЛН | ПРЕОБЛАДАНИЕ ПРИЛИВОВ И ОТЛИВОВ |
|---|---|---|---|
| ГЕОМЕТРИЯ | ОТ ВЫТЯНУТОЙ ДО ЛОПАСТНОЙ | ДУГООБРАЗНАЯ | ОТ ЭСТУАРИЕВОЙ ДО НЕПРАВИЛЬНОЙ |
| ТИП РУСЛА | ДЕЛЬТОВЫЕ РУКАВА, ОТ ПРЯМЫХ ДО ИЗВИЛИСТЫХ | МЕАНДРИРУЮЩИЕ ДЕЛЬТОВЫЕ РУКАВА | ДЕЛЬТОВЫЕ РУКАВА, ОТ ПРЯМЫХ ДО ИЗВИЛИСТЫХ |
| ВАЛОВОЙ СОСТАВ | ОТ ИЛИСТОГО ДО СМЕШАННОГО | ПЕСЧАНИСТЫЙ | ПЕРЕМЕННЫЙ |
| ФАЦИИ СТРУКТУРЫ | ПЕСКИ УСТЬЕВЫХ БАРОВ РУСЛА И ДЕЛЬТОВЫХ РУКАВОВ, ПЕСЧАНЫЙ ПОКРОВ | ПЕСКИ ПРИБРЕЖНОГО БАРЬЕРА И БЕРЕГОВОГО ВАЛА | ЭСТУАРИЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ И ПРИЛИВНЫЕ ПЕСЧАНЫЕ ВАЛЫ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | КРАЯ ДЕЛЬТЫ | | |
| ОРИЕНТАЦИЯ СТРУКТУРЫ | ПАРАЛЛЕЛЬНО СКЛОНУ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ | ПАРАЛЛЕЛЬНО СКЛОНУ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ | ПАРАЛЛЕЛЬНО СКЛОНУ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ |

В литературе, дельты с преобладанием речных условий упоминаются как «высококонструктивные» (high-constructive), а дельты с преобладанием волн и приливов и отливов – как «высокодеструктивные» (high-destructive) (например, Fisher и др., 1969).

Структура, границы, геометрия и модели направленного потока будут представлены согласно классификации.

## 6.6.2.4. Дельты с преобладанием речных условий

Если волны, приливные и вдольбереговые течения слабы, а река переносит значительный объем осадочного материала, имеет место быстрое наращивание в направлении моря, и развивается разнообразные обстановки осадконакопления с преобладанием речных условий. В устье каждого дельтового рукава, при вхождении струи речной воды в море, могут формироваться *подводные намывные валы* (subaqueous levees). Основной твердый сток откладывается в *устьевом баре дельтового рукава*, где размер зерен уменьшается в сторону моря. По мере проградации, склон реки сглаживается, и несущая способность потока снижается. На этой стадии, в период высокого расхода, в подводном намывном валу вверх по течению может возникнуть прорезание, называемое *расщелиной* (crevasse). Укороченный путь, предоставляемый расщелиной через *внутридельтовый залив* к морю, обычно является причиной отклонения потока, и возможно быстрое развитие отложений *расщелинного конуса* субдельты (subdelta crevasse splay). В конечном счете, может стать главным дельтовым рукавом, и процесс повторяется.

Таковы, в общих чертах, основные механизмы, возникающие в дельте с преобладанием речных условий и сформировавшихся подобстановках осадконакопления.

В этой категории дельты имеются два основных подтипа.

- Расход реки может быть установившимся, обычно с большим количеством взвешенных наносов. При этом формируются *пальцеобразные, удлиненные дельты* с небольшим количеством рукавов, шнурковыми залежами песка и прерывистыми отложениями устьевых баров (рис.6.6-6 – 6.6-8).
- Расход реки может колебаться; при этом типичным является повышенное содержание твердого стока у ложа в перенесенном осадочном материале. Это способствует формированию *лопастной* формы; имеется множество дельтовых рукавов, каждый из которых проявляет тенденцию к кратковременному существованию, осадочный материал является крупнозернистым, и отложения устьевых баров сливаются, образуя покровные пески.

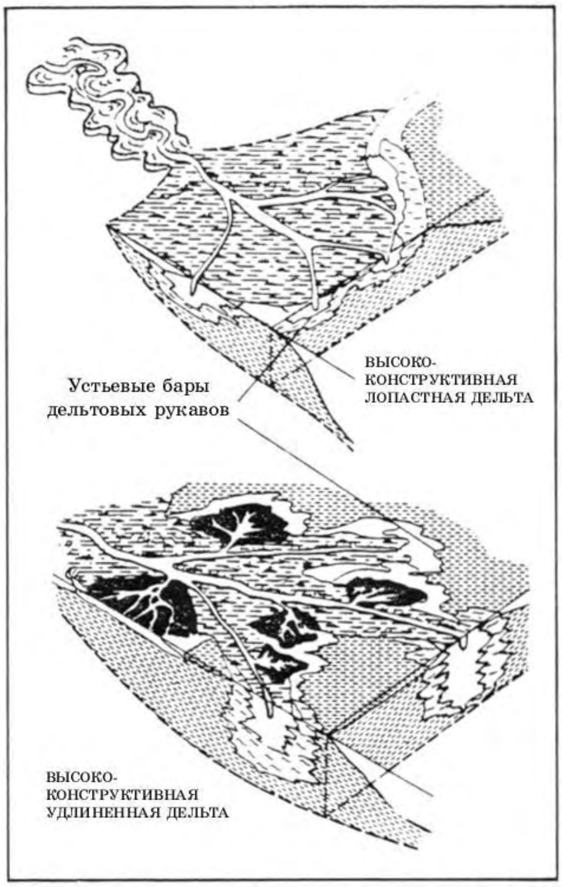



**Рис.6.6-6. Блок-диаграммы двух типов дельт с преобладанием речных условий (из Fisher *и др.*, 1969).**

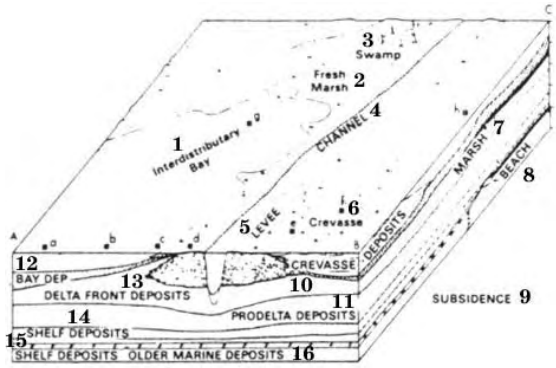



**Рис.6.6-7. Блок-диаграмма, показывающая подобстановки осадконакопления и соотношения фаций в удлиненной дельте с преобладанием речных условий (из Coleman и Prior, 1980).**

(1- Внутридельтовый залив; 2- Пресноводный марш; 3- Болото; 4- русло; 5- намывной вал; 6- Расселина; 7- марш; 8- отмель; 9- погружение; 10- отложения расселины; 11- отложения продельты; 12- отложения залива; 13- отложения фронта дельты; 14,15- отложения шельфа; 16- более древние морские отложения)

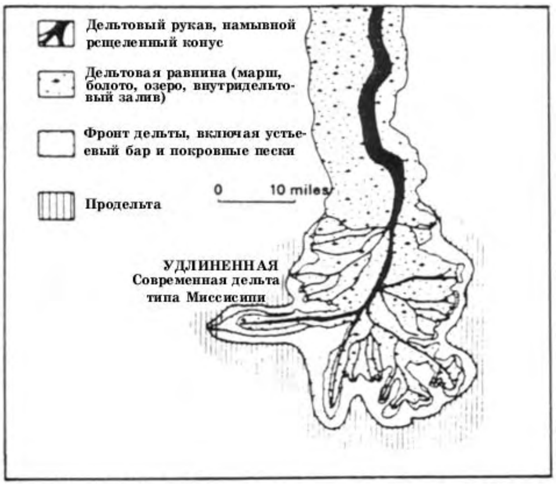



**Рис.6.6-8. Поверхностное распределение фаций в дельте пальцеобразного типа с преобладанием речных условий (из Fisher *и др.*, 1969).**

### *6.6.2.4.1.* Структура

Массивная слоистость с общей эрозионной поверхностью; линзы, тонкая слоистость (до ламинации) глины, параллельная или волнистая, или переслаивание алеврита и глины; симметричная и асимметричная рябь, мелкая до крупной, распространенные плоскостные и корытообразные слои, в общем случае, с большим углом наклона с унимодальным распределением течения. Имеет место деформация слоев – от знаков нагрузки до глиняных бугров, диапиров и оползней (конседиментационных разломов), которые в основном связаны с глинами продельты. Биотурбация от умеренной до сильной, и включает флору и связанную фауну. Могут присутствовать ракушечные слои. Распространены также конкреции железосодержащих минералов, размывы, врезание и заполнение, и остаточные отложения (рис.6.6-9).

### ***6.6.2.4.2.*** Границы

Крупные единицы демонстрируют подошвенные постепенные контакты с резкими кровлями. Внутренние контакты (постепенные или резкие) распределены случайным образом; отмечается тенденция к сходству с крупными единицами (рис.6.6-10).

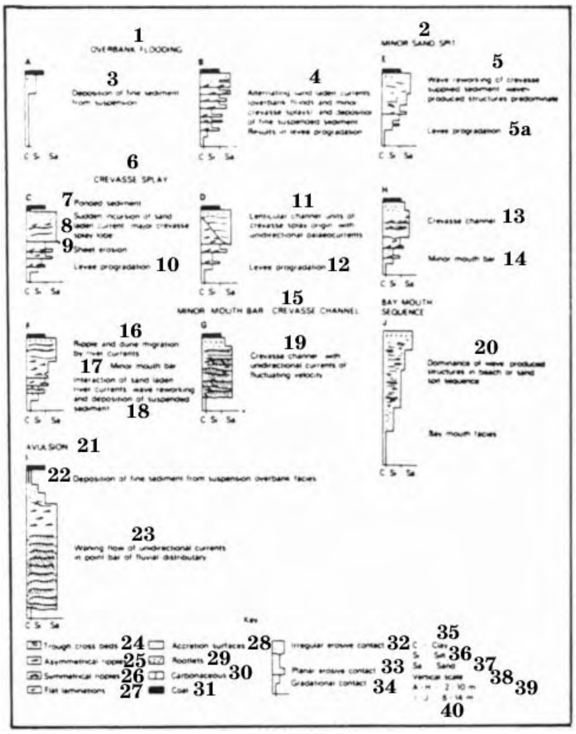
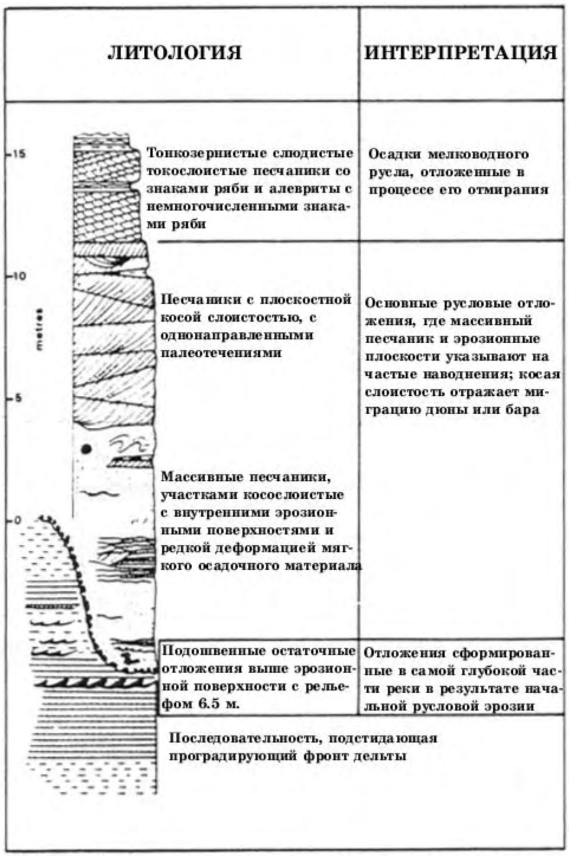


**Рис.6.6-9. Вертикальные последовательности осадочных структур на внутридельтовых площадях с преобладанием речных условий (из Elliot, 1974, в Reading, 1978).**

(1- паводковое осадконакопление; 2- песчаная коса; 3- Отложение тонкого осадочного материала из взвеси; 4- Чередование течений, нагруженных песком (паводковые отложения и второстепенные расщелинные конусы) и отложение тонких взвешенных осадков. Результатом является боковое наращивание (проградация) намывного вала; 5- Переработка волнами осадочного материала, поступающего из расщелины; преобладают структуры, сформированные волнами; 5a- Проградация намывного вала; 6- расщелинный конус; 7- Затопленный (? – ponded) осадочный материал; 8- Внезапное вторжение течения, нагруженного песком – лопасть основного расщелинного конуса; 9- Эрозия покрова; 10,12- Проградация намывного вала; 11- Линзовидные русловые единицы расщелинного конуса берут начало от однонаправленных палеотечений; 13- Расщелинное русло; 14- Второстепенный устьевый бар; 15- второстепенный устьевый бар – расщелинное русло; 15a- последовательность устья бухты; 16- Рябь и миграция дюн под действием течения реки; 17- Второстепенный устьевый бар; 18- Взаимодействие течений рек, нагруженных песком, переработки волнами и отложения взвешенного осадочного материала; 19- Расщелинное русло с однонаправленными течениями, характеризующимися колеблющейся скоростью; 20- Преобладание структур, сформированных волнами, в последовательностях отмели или песчаной косы; 21- авульсия; 22- Отложение тонкого осадочного материала из взвеси – паводковая фация; 23- Поток однонаправленных течений в косе дельтового рукава; 24- Корытообразные косые слои; 25- Асимметричная рябь; 26- Симметричная рябь; 27- Плоская тонкая слоистость; 28- Поверхности наращивания; 29- Мелкие корни; 30- Углистые отложения; 31- Уголь; 32- Неправильный эрозионный контакт; 33- Плоскостной эрозионный контакт; 34- Постепенный контакт; 35- C – Глина; 36- Si – Алеврит; 37- Sa – песок; 38- Вертикальный масштаб; 39- A-H – 2-10 м; 40- I-J – 5-14 м)

**Рис.6.6-10. Границы и осадочные структуры дельтового рукава (из Reading, 1978, по Kel-**




**ling и George, 1971).**

### *6.6.2.4.3.* Последовательности

Дельты с преобладанием речных условий формируют крупные циклические отложения (рис.6.6-11). Литология, мощность и эволюция размера зерен показаны на рис.6.6-12.

Быстрая проградация этих дельт в направлении моря дает начало наиболее характерной особенности дельтовых отложений: последовательности, где размер зерен увеличивается вверх по разрезу. Полный цикл лопасти дельты (типичная мощность – от 50 до 100 м), а

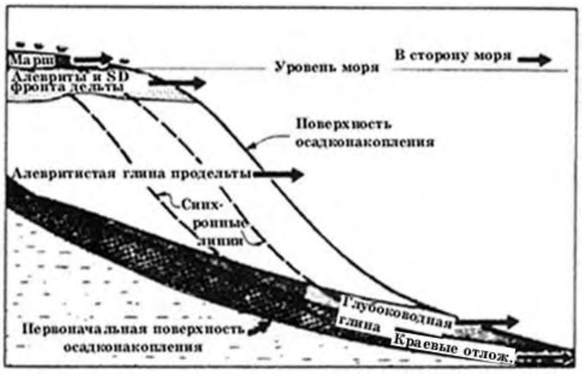



**Рис.6.6-11. «Конструктивная» фаза цикла дельты (из Scurton, 1960).**

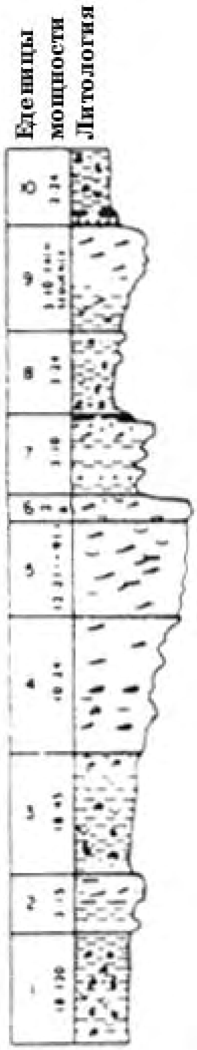
также циклы дельтового рукава и расщелины показаны в обобщенном виде на рис.6.6-13.

Согласно Scurton (1960), рост дельты является циклическим. Он распознает две фазы:

- *Конструктивную фазу*: активная проградация в сторону моря обуславливает перекрывание илов продельты алевритами и песками фронта дельты. В свою очередь, они перекрываются отложениями устьевых баров дельтовых рукавов (в основном песками) и, наконец, поверхностными дельтовыми отложениями маршей, которые, вероятно, включают слои торфа (рис.6.6-11).
- *Деструктивную фазу*: лопасть дельты, в конечном счете, отмирает, если в результате образования расщелины формируется более короткий путь к морю. Затем самые верхние слои подвергаются воздействию волн и течений, и могут быть полностью переработаны. Уплотнение может привести к локальной трансгрессии.

Конечно, это идеализированный цикл. Полный цикл дельты, иногда называемый мегациклом, может формировать стратиграфическую последовательность мощностью от 50 до 150 м или более, которая может содержать в многочисленные меньшие циклы, представляющие проградацию дельтовых рукавов или расщелинных конусов (или переходить по горизонтали в такие циклы) (рис.6.6-14).


**Рис.6.6-12. Вертикальная эволюция в дельте с преобладанием речных условий (из Walker, 1979).**




Глинистые сланцы – алевриты с большим количеством фукоидов; распространенная линзовидная слоистость; рассеянная макро- и микрофауна солоноватой воды.

Последовательность, характеризующаяся увеличением размера зерен вверх по разрезу, от глинистого сланца до песка; фукоиды вблизи подошвы; пески обычно плохо отсортированы; эта последовательность может многократно повторяться.

Глинистые сланцы, выклинивающиеся песчано-алевритовые слойки, имеющие четкие границы, с многочисленными фитоморфозами; рассеянные обломки раковин: возможные ракушечные рифы в солоноватой воде.

Тонкие пласты угля с корнями.

Чередующиеся тонкие слои песка, алеврита, глинистого сланца, песков - алевритов, плохо выдержанные по горизонтали; распространены структуры с корнями (root structures); подошва песков обычно носит постепенный характер; распространены знаки ряби набегания.

Чистый песок со средней степенью сортировки, с концентрациями перенесенного органического вещества. Слои песка и алеврита, с мелкомасштабной косой слоистостью, высоким содержанием слюды, вблизи подошвы сортировка обычно плохая и улучшается вверх по разрезу; возможны небольшие эрозионные русла, впоследствии заполненные осадочным материалом. Мощность песчаного разреза могла быстро увеличиваться за счет конседиментационных разломов; участками на кровле песка наблюдаются крупные русловые размывы (channel scours), иногда присутствуют очень тонкие слои глинистого сланца; вблизи кровли присутствуют мощные карманы перенесенного органического вещества.

Чередование тонких слоев песка, алеврита, глинистого сланца; вблизи кровли более распространенным становится песок - алеврит, а также знаки ряби набегания; общими являются знаки ряби волнения и течения; возможные оползневые глыбы и структуры течения; вероятность небольших эрозионных русел, впоследствии заполненных осадочным материалом; вниз по разрезу содержание фауны уменьшается.

Глинистые сланцы тонкослоистые, рассеянные раковины; содержание микрофауны уменьшается вверх по разрезу, и в этом же направлении возрастает размер зерен, а слои песчаного алеврита утолщаются.

Оползневые глыбы алеврита - песка со структурами течения, многочисленные мелкие разломы и трещины, распространенная Х-образная слоистость.

Глинистые сланцы морские, тонкослоистые вблизи кровли и с многочисленными фитоморфозами вблизи подошвы.

**Рис.6.6-13. Сводная стратиграфическая последовательность обстановок осадконакопления в дельте Миссисипи (из Coleman и Prior, 1980).**

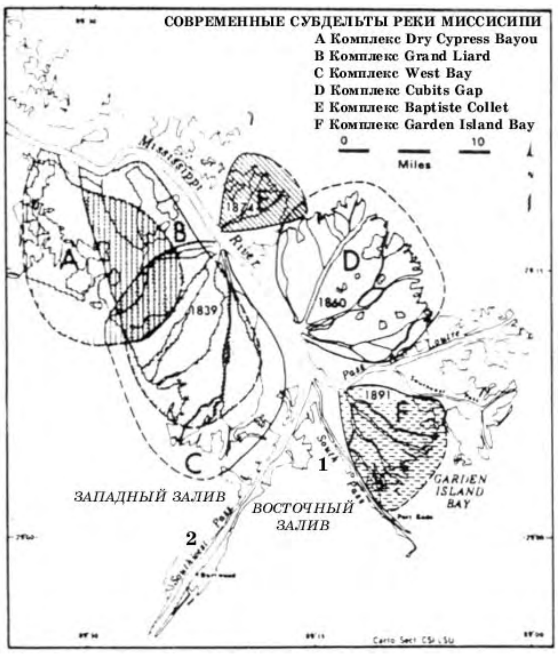



**Рис.6.6-14. Субдельты, заполняющие внутридельтовые заливы современной дельты Миссисипи (из Coleman и Gagliano, 1964).**
(1- Южный фарватер; 2- Юго-западный фарватер)

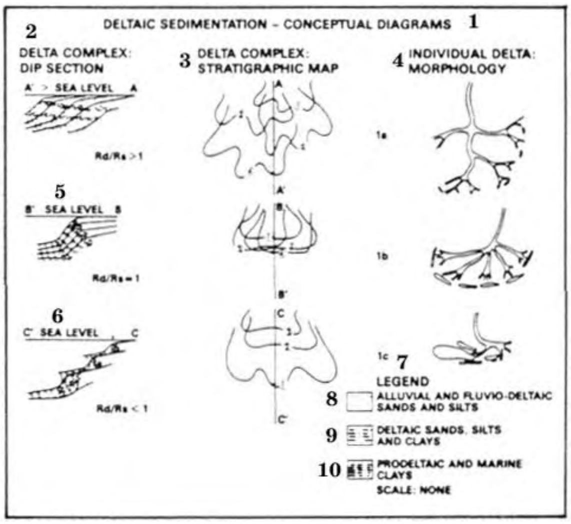



**Рис.6.6-15. Концептуальные схемы изменений характеристик дельты вследствие непостоянства соотношения между скоростью отложения и скоростью погружения (Rd/Rs) (из Curtis, 1970).**
(1- дельтовое осадконакопление – концептуальные схемы; 2- дельтовый комплекс: разрез по падению; 3- дельтовый комплекс: стратиграфическая карта; 4- отдельная дельта: морфология; 5- уровень моря; 6- уровень моря; 7- легенда; 8- аллювиальные и аллювиально-дельтовые пески и алевриты; 9- дельтовые пески, алевриты и глины; 10- продельтовые и морские глины; 11- масштаб: отсутствует)

Как показывают Coleman и Gagliano (1964), и Elliot (1974), эти меньшие циклы изменяются от 2 до 14 м. В них, как и в более крупных циклах, отмечается тенденция к увеличению размера зерен вверх по разрезу. Характер наложения дельтовых последовательностей одна на другую зависит от относительных скоростей осадконакопления и погружения, включая уплотнение. Если между двумя скоростями существует приблизительное равновесие, дельта стремится к вертикальному наращиванию; если скорость погружения больше, дельта будет наращиваться в сторону моря, и, по мере заполнения каждой части осадочного бассейна, последовательные эпизоды наращивания будут происходить в латеральном направлении. Механизмы описаны у Curtis (1970) (рис.6.6-15).

**Таблица 6.6-3**

Геометрические и другие геологические параметры, позволяющие идентифицировать дельтовые условия осадконакопления.

| | ОТЛОЖЕНИЯ ЗАЛИВА | МАРШ, БОЛОТО | УСТЬЕВЫЙ БАР РУСЛОВОГО РУКАВА | КОСА | РУСЛО | ПАВОДКОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ТИП ОТЛОЖЕНИЙ | ОБЛОМОЧНЫЙ | ХИМИЧЕСКИЙ | ОБЛОМОЧНЫЙ | ОБЛОМОЧНЫЙ | ОБЛОМОЧНЫЙ | ОБЛОМОЧНЫЙ |
| ПРЕОБЛАДАЮЩИЙ ТИП ПОРОДЫ | Глинистый сланец и алевритистый глинистый сланец. | Подстилающий слой, глина, уголь. | Песчаник среднезернистый до мелкозернистого, с линзами глинистого сланца. | Песчаник крупнозернистый до среднезернистого. | Среднезернистый песчаник, редкие конгломераты. Прослои глинистого сланца. | Алевритистый глинистый сланец, алевролит. |
| ТРЕНД РАЗМЕРА ЗЕРЕН | В общем случае, увеличение вверх по разрезу. | Определенного тренда нет. | Увеличение вверх по разрезу. | Уменьшение вверх по разрезу. | Сильная изменчивость в середине. В общем случае, уменьшение вверх по разрезу. | Циклический; каждый цикл характеризуется уменьшением размера зерен вверх по разрезу. |
| ХАРАКТЕР ПОДОШВЕННОГО КОНТАКТА | Обычно не виден. | От постепенного до резкого. | От постепенного до резкого. | Сильно размытый, волнистый. | Резкое срезание. В значительной степени эрозионный. | Постепенный. |
| ВЕРТИКАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ | 1.5-15 футов | 0.3-1.8 м | 1.5-4.5 м | 6-14 м | 3-4.5 м | 0.9-4.5.м |
| ПРОТЯЖЕННОСТЬ ПО ГОРИЗОНТАЛИ | 60 м-73.2 км | Километры | 0.4 м-4.8 км | 90 м-0.4 км | 19 м (или менее)-120 м | Весьма изменчивая |
| ФОРМА ЕДИНИЦЫ | Прямоугольная в разрезе. | Удлиненная. | В форме покрова. | Линзообразная, в форме изгороди (hedge shapped lenticular) | Двояковыпуклая, плосковыпуклая. | Тонкий покров. |
| МОЩНОСТЬ СЛОЕВ | Тонкослоистые, пластинчатые. | | Среднеслоистые, 0.3-9 м | Толстослоистые, 1.5-2.0 м | От срднеслоистых до тонкослоистых. | Тонкослоистые, пластинчатые. |
| ОСАДОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ | Параллельная и волнистая слоистость | | Плоскостные косые слои. Распространенные сложные серии. Рябь набегания на горизонтальных оконечностях. | Многонаправленная корытообразная косая слоистость. Распространены одиночные косые слои. | Мелкомасштабный размыв и заполнение. | Параллельная тонкая слоистость. рябь течения. Мелкомасштабные косые слои. |
| ХАРАКТЕР И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТКОВ ОРГАНИКИ | Мелкие листья и прутья вдоль плоскостей напластования. Брахиоподы. | Мацерированный (Macerated) растительный материал. | Небольшие окатанные остатки органики, распределенные случайным образом. | Крупные листья и стебли на плоскостях напластования. Наползшие линзы | Ориентированные крупные стебли в подошве. | Мелкие листья и прутья вдоль плоскостей напластования |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | угля в подошве. | | |
| СЛЮДИСТЫЙ МИНЕРАЛ | Крупные чешуйки слюды вдоль плоскостей напластования. | | В общем случае распределение носит случайный характер. Некоторые слои демонстрируют необычно высокую концентрацию. | Слюда распределена случайным образом. Сегрегация крупных чешуек вдоль плоскостей напластования. | Распределение носит случайный характер. | Сегрегация вдоль плоскостей напластования. |
| ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ МОДИФИКАЦИИ | Наличие корней только в кровле. Фитоморфозы, текстура «конус в конус». | Наличие корней. | Газовое пучение. Структура. | Конволютная слоистость. | Характерные черты оползней. | Наличие корней. |
| КОНКРЕЦИИ | Присутствие конкреций сидерита. | | Не наблюдаются. | Присутствие крупных конкреций в форме диска. | Не наблюдаются. | Не наблюдаются. |
| ПЕРВИЧНЫЕ ЦВЕТА | Темно-сероватый, черный. | Черно-сероватый, черный. | Светло-беловатый, серый. | Темно-серый. | Светло-серый. | Темно-зеленоватый, серый, серовато-черный |

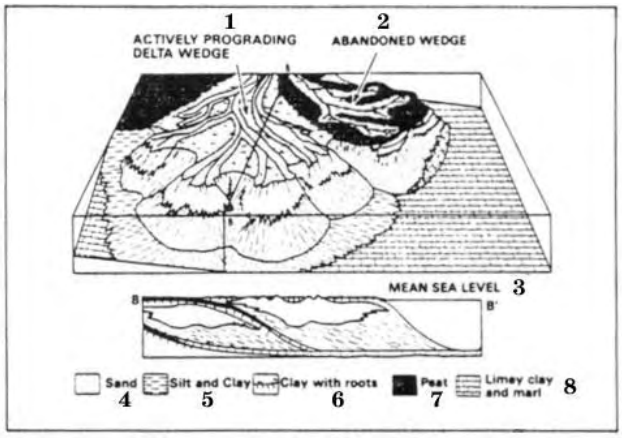



**Рис.6.6-16. Циклическая активная эволюция и эволюция отмирания каменноугольных дельт в США (из Ferm, 1970).**
(1- активно проградирующий клин дельты; 2- отмерший клин; 3- средний уровень моря; 4- Песок; 5- Алеврит и глина; 6- Глина с корнями; 7- Торф; 8- Известковая глина и мергель)

**ТИП 1**

Условия: низкая энергия волн, амплитуда прилива и прибрежные наносы, малый дальний склон, тонкозернистый твердый сток.
Характеристики: болото или мелкий водоем, возникший в результате расширения реки перед естественной преградой, пальцеобразные русловые пески, ориентированные нормально к береговой линии.
Пример: современная дельта Миссисипи.

**Рис.6.6-17. Картина распределения песка (модификация по Coleman и Wright, 1975).**

## *6.6.2.4.4.* Геометрия тел

Основные тела представляют собой лопастеобразные элементы с сильным механизмом бокового наращивания, который формирует единицы в форме линзы (рис.6.6-16). Форма песчаниковых тел линзообразная до пластинчатой для устьевых баров дельтовых рукавов, и переходит в песчаные покровы. Вблизи кровли, описаны пальцеобразные или шнурковые формы. Геометрия дельт с преобладанием речных условий может быть картирована более надежно на глубине, путем измерения общего содержания песка или песчано-глинистого коэффициента в данной стратиграфической единице. Зоны высокого содержания песка могут оконтуривать лопастеобразные участки, перпендикулярные к краю бассейна и соответствующим основным путям распространения дельты.

На рис.6.6-17 показан этот подход, коррелированный с современной моделью.

В Таблице 6.6-3 приведены геометрические критерии для этого вида дельт.

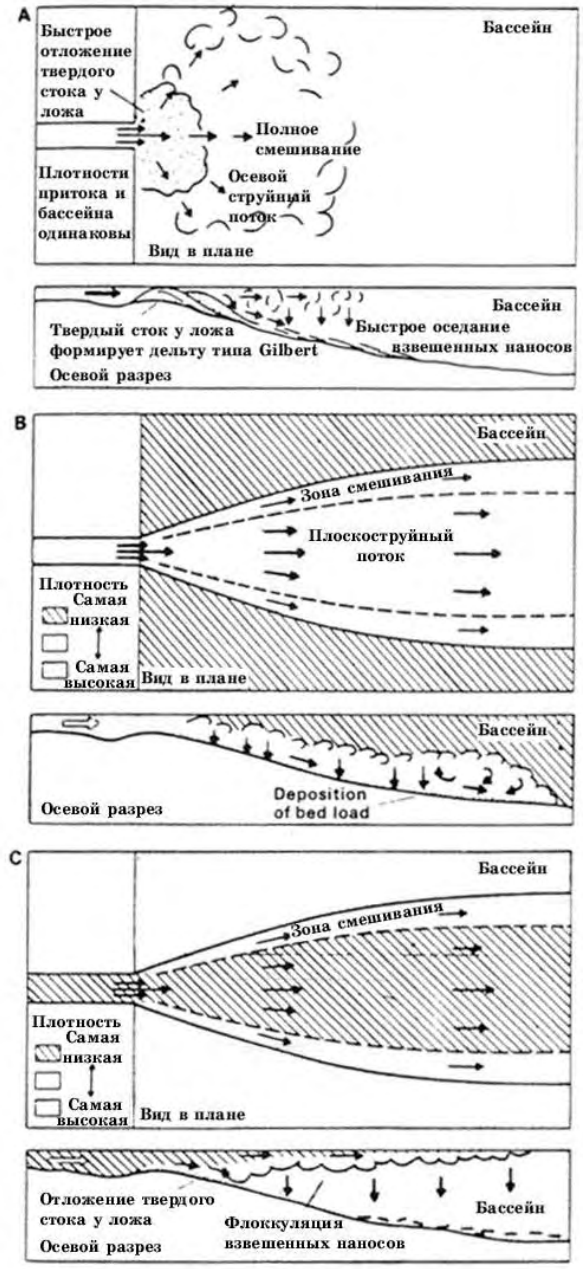



**Рис.6.6-18. Различные виды взаимодействия между водами реки, нагруженными осадочным материалом, и водами бассейна, определенные по относительной плотности водных тел. (A) Гомопикнальный поток; (B) гиперпикнальный поток; (C) гипопикнальный поток (из Fisher и др., 1969; первоначально у Bates, 1953).**

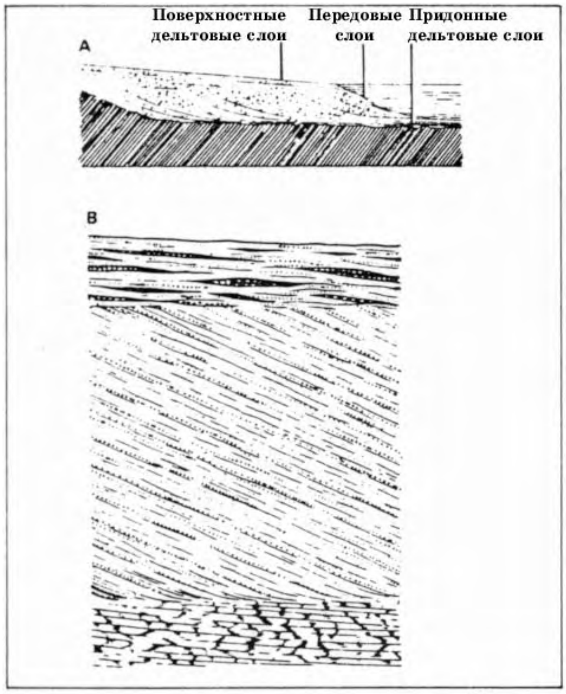



**Рис.6.6-19. Горизонтальный и вертикальный разрезы дельты, на которых можно видеть развитие поверхностных, передовых и придонных дельтовых слоев по мере роста дельты (из Reineck и Singh, 1975, и из Reading, 1978).**

### *6.6.2.4.5.* Модель направленного потока

Изменение в радиальном направлении гидравлических условий в устье дельтового рукава является причиной расширения и замедления истекающей воды, что приводит к снижению его несущей способности и отложению твердого стока. Процессы, происходящие в бассейне, способствуют рассеянию и, в конечном счете, отложению осадочного материала, или переработке и перераспределению материала, осажденного непосредственно в результате рассеяния истекающей воды.

Первоочередное значение в этой части дельты имеет характер смешивания истекающей воды и воды бассейна в устье дельтового рукава. В раннем примере применения принципов гидродинамики к проблемам, в сущности, геологическим, Bates (1953) рассмотрел ситуации, в которых речные воды имеют одинаковую плотность с водами бассейна, большую и меньшую плотность (соответственно гомопикнальный, гиперпикнальный и гипопикнальный поток, рис.6.6-18). Если плотность речной воды равны плотности воды в бассейне, в устье пеки немедленно возникает трехмерное смешивание, которое вызывает заметное осаждение в этом месте. Истекающие воды с более высокой плотностью стремятся течь ниже вод бассейна в виде плотностного течения. В результате осадочный материал не откладывается на береговой линии, что ограничивает развитие дельты. Если истекающие воды имеют плотность меньше, чем воды бассейна, они впадают в воды бассейна по поверхности, в виде струи или плюмажа. Эта последняя ситуация наблюдалась для дельт Миссисипи и По (Scruton, 1956; Nelson, 1970). Считается, что она имеет место там, где речные воды впадают в морской бассейн, поскольку морская вода несколько плотнее пресной воды. К другим важным факторам относятся процессы инерции, связанные со скоростью истекающей воды, и процессы трения, которые являются результатом взаимодействия истекающей воды с поверхностью осажденного материала в устье дельтового рукава (Wright и Coleman, 1974).

В связи с основными проградационными процессами, устьевые бары развивают передовые слои, падающие в основном вниз по склону (как и поток), который изменяется от 10 до 25 град. (рис.6.6-19). Азимуты наклонов показывают унимодальное распределение с умеренным рассеянием около 90 град. (Coleman и Prior, 1980).

## 6.6.2.5. Дельты с преобладанием волн

В обстановке высокой волновой активности, отложения устьевого бара постоянно перерабатываются в последовательность наложенных береговых баров. Они могут полностью доминировать над окончательной осадочной последовательностью, и внутренняя геометрия отложений будет совершенно различной. Для песчаных тел будут демонстрировать параллельность береговой линии – в отличие от песчаных тел, развивавшихся в дельтах с преобладанием речных условий, и почти перпендикулярных к берегу (рис.6.6-20).

Распределение фаций на поверхности показывает значительную переработку песка, создающую субаэральные формы, близкие к фестончатым (рис.6.6-21).


**Рис.6.6-20. Блок-диаграмма дельт с преобладанием волн (из Fisher *и др.*, 1969).**

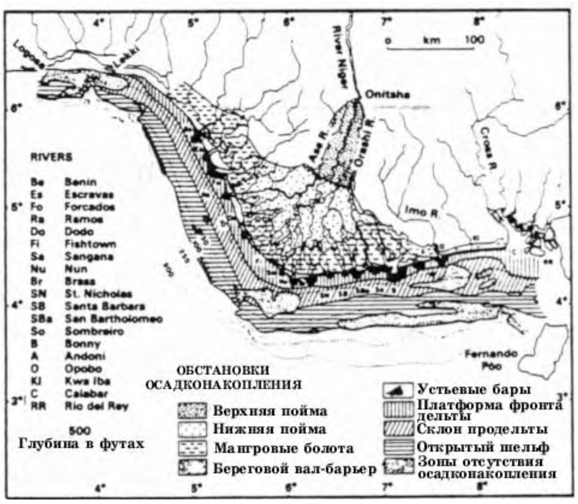



**Рис.6.6-21. Основные обстановки осадконакопления дельты реки Нигер (из Allen, 1970).**

### *6.6.2.5.1*. Структура

Крупно- и мелкомасштабная тонкая слоистость, параллельная слоистость, пологая и крутопадающая косая слоистость – отличительные особенности слоистости этой дельты. Пески бара и предфронтальной зоны пляжа обычно характеризуются пологой косой слоистостью, которая представляет поверхности волнового наращивания (wave accretion). Распределение палеотечений является бимодальным или случайным (рис.6.6-22).

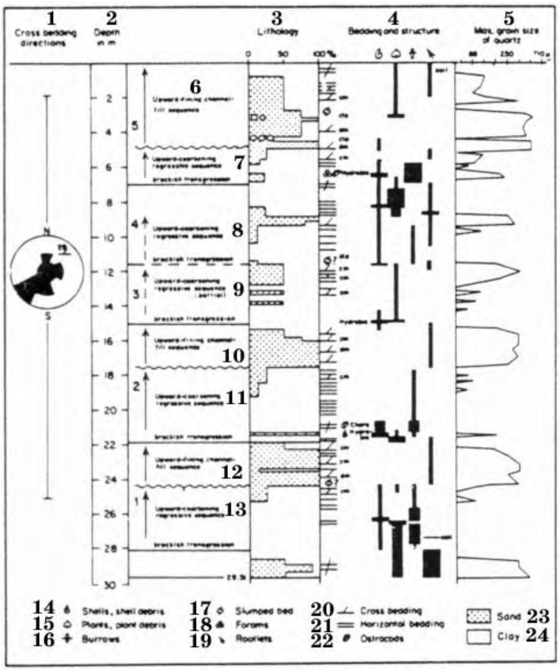


**Рис.6.6-22. Типичный пример осадконакопления на дельтовой прибрежной равнине, дельта реки Rhone. На этих керновых данных распознаются пять последовательностей, характеризующихся увеличением размера зерен вверх по разрезу, три из которых (1,2,5) перекрываются русловыми отложениями, характеризующимися уменьшением размера зерен вверх по разрезу (из Oomkens, 1970).**

(1- Направления косой слоистости; 2- Глубина (в метрах); 3- Литология; 4- Слоистость и структура; 5- Максимальный размер зерен кварца; 6,10,12- Последовательности русловых отложений, характеризующиеся уменьшением размера зерен вверх по разрезу; 7,8,9,11,13- регрессивная последовательность, характеризующаяся увеличением размера зерен вверх по разрезу; 14- Раковины, обломки раковин; 15- Растения, обломки растений; 16- Фитоморфозы; 17- Слоистость оползания; 18- Фораминиферы; 19- Мелкие корни; 20- Косая слоистость; 21- Горизонтальная слоистость; 22- Остракоды; 23- Песок; 24- Глина)

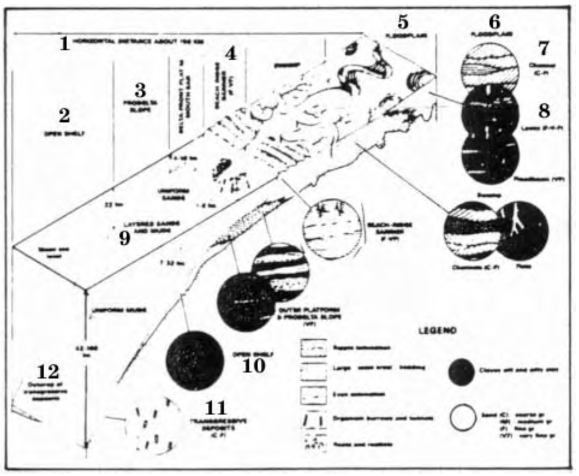


**Рис.6.6-23. схематическая иллюстрация свойств и соотношений основных осадочных фаций современной дельты реки Нигер (из Allen, 1970).**

(1- горизонтальное расстояние около 100 км; 2- внешний шельф; 3- склон продельты; 4- береговой вал; 5,6- пойма; 7- Русло (С-Р); 8- Намывной вал; 9- слоистые пески и илы; 10- открытый шельф; 11- трансгрессивные отложения; 12- Выход трансгрессивных отложений)

Могут присутствовать слойки и отдельности песка, глинистого сланца, угля, эвапоритов, ракушечные слои и тяжелые минералы. В песках и глинистых сланцах наблюдаются фитоморфозы и корни (последние – вблизи кровли банок). Глины продельты характеризуются высоким содержанием глинистых пеллетов. На рис.6.6-23 обобщены структуры и подобстановки осадконакопления в одной из этих дельт.

***6.6.2.5.2.*** Границы

Подошва мегапоследовательностей демонстрирует постепенные контакты. Парал- лельные границы доминируют во внешних и во внутренних единицах. Дельтовые рукава секут дельтовые марши, показывая небольшие размывы в подошве (рис.6.6-22 и Таблица 6.6-4).

Таблица 6.6-4.
*Характеристики осадочного материала дельты Guadalupe и ее равнины берегового вала*
(из Donaldson *и др.*, 1970)

| ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ | | | подошвенный контакт | | средний размер зерен | | | | | вертикальная текстурная градация | | геометрия | | | | | преобладающий тренд (в случае удли- нения) | | осадочные структуры | | | окаменелости | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | резкий | постепенный | песок | песчанистый алеврит | песок, алеврит, глина | глинистый алеврит | алевритистая глина | от грубозернистых до мелкозер- нистых вверх по разрезу | от мелкозернистых до крупнозер- нистых вверх по разрезу | покровная | пластинчатая | рукавообразная | линзообразная | клиновидная | параллельно региональному склону | параллельно береговой линии | коса | дюны и/или рябь | фукоиды | обломки растений | остракоды и фораминиферы | моллюски, характерные для со- лоноватой воды |
| МЕАНДРИРУЮЩАЯ РЕКА | | | X | | X | | | | | X | | | X | X | x | | X | | X | X | | X | | |
| ДЕЛЬТОВЫЙ РУКАВ (не мигрирующий) | рост влияния моря → | рост влияния реки ← | X | | действ. X | X | | отмер- шее x | X | X | | | | X | x | | X | | | X | | X | x | |
| УСТЬЕВЫЙ БАР ДЕЛЬТОВОГО РУКАВА | | | | X | X | X | | | | | X | X | X | X | X | | X | | | X | x | x | x | X |
| ЕСТЕСТВЕННЫЙ ПРИРУСЛО- ВЫЙ ВАЛ И РАСЩЕЛИНА | | | | X | | | | x | X | | | x | X | X | x | X | X | | | | X | X | | |
| МАРШ И ОЗЕРО | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X | X | X | | | | x | X | x | |
| ПРОДЕЛЬТА | | | | X | | | | x | X | | | X | | | | X | | X | | x | | x | | |
| ВНУТРИДЕЛЬТОВЫЙ ЗАЛИВ | | | | X | | | | | X | | | | | | | X | X | | | | X | x | x | x |
| ПЛОХО РАЗВИТЫЕ НАМЫВНЫЕ КОСЫ И БЕРЕГОВОЙ ВАЛ ВНУТРИДЕЛЬТОВОГО ЗАЛИВА | | | | X | | | | X | x | | | | | X | X | | | X | | | X | x | | x |
| ПРИЛИВНО-ОТЛИВНЫЙ КАНАЛ СТОКА, СОЕДИНЯЮЩИЙ ОЗЕ- РО С ЗАЛИВОМ | | | X | | | | X | X | x | X | | | | x | X | | X | | | x | X | x | x | x |
| ПРИЛИВНО-ОТЛИВНАЯ ОТМЕЛЬ | | | | X | | | | | X | | | X | X | | | X | | X | | | X | | x | x |
| БЕРЕГОВОЙ ВАЛ НА РАВНИНЕ БЕРЕГОВОГО ВАЛА | | | | X | X | X | | | | | X | | | X | X | | | X | | | X | | | X |

### ***6.6.2.5.3.*** Последовательности

Хорошо развиты мега- и микропоследовательности, характеризующиеся увеличением размера зерен вверх по разрезу. Это позволяет видеть размер зерен, сортировка, мощность слоев и состав окаменелостей (рис.6.6-24). Наложенные один на другой береговые валы скрывают эффект (рис.6.6-25).


Чередующиеся пески, алевриты, глинистые сланцы и угли с тонкими слоями эвапоритов; слои угля имеют малую выдержанность по горизонтали; слои песка демонстрируют постепенную и размытую подошву; в целом последовательность характеризуется многочисленными фукоидами.

Хорошо отсортированные чистые пески, демонстрирующие крупномасштабную пологую косую слоистость; х-образная слоистость; некоторое количество мелкомасштабной тангенциальной косой слоистости; многочисленные корни в кровле песка.

Хорошо отсортированные чистые пески, демонстрирующие пологие параллельные слои; локальная концентрация раковин; вблизи подошвы распространена мелкомасштабная х-образная слоистость; в тонких слоях – локальные концентрации тяжелых металлов.

Чередующиеся слои песка, алеврита, глинистого сланца и угля; песок чаще встречается вблизи подошвы; подошва песчаных слоев демонстрирует размывы; распространены следы корней и фукоиды, особенно вблизи кровли зоны.
Пески со средней сортировкой и алевриты; распространенная мелкомасштабная х-образная слоистость; слои песка демонстрируют увеличение размера зерен вверх по разрезу; вблизи кровля зоны распространена пологая тонкая слоистость; тонкие слои глинистых сланцев имеют локальное распространение.

Чередование слоев песка, алеврита и глины; содержание песка возрастает вверх по разрезу; в этом же направлении уменьшается мощность слоев глинистого сланца и содержание фауны; в верхней части зоны распространена мелкомасштабная х-образная выраженная слоистость.

Морской глинистый сланец со слоями алеврита; значительное количество фитоморфоз; слои с рассеянными раковинами; мелкомасштабная х-образная слоистость становится более распространенной вверх по разрезу.

**Рис.6.6-24. Сводная стратиграфическая последовательность обстановок осадконакопления в дельте реки Сенегал (из Coleman и Prior, 1980).**

Последовательности берегового вала могут развиваться в не дельтовых условиях осадконакопления как результат прибрежных наносов; следовательно, чтобы идентифицировать определенную последовательность как дельтовую по происхождению, необходимы дополнительные критерии. Бары, формирующиеся на не дельтовых береговых линиях, обычно граничат с лагунами, осадочный материал которых может перекрывать последовательность баров, тогда как в дельтовых условиях, бары развиваются перед болотами и комплексами речных русел, отложения которых должны быть хорошо различимыми. Уголь может быть важной составляющей.


**Рис.6.6-25. Распределение последовательностей по вертикали в дельте с преобладанием волн (из Walker, 1979).**

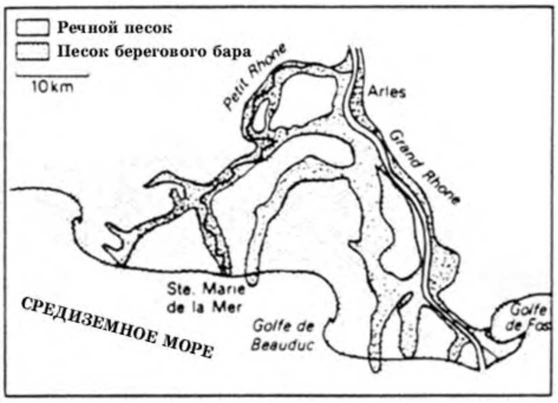



**Рис.6.6-26. Распределение песчаных тел по их происхождению в дельте Rhone (из Oomkens, 1970).**

***6.6.2.5.4.*** Геометрия тел

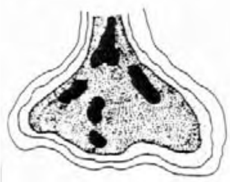
Геометрия отложений дельты с преобладанием волн отличается от геометрии тел, где влияние волн незначительно. Пески берегового вала образуют линейные массы, приблизительно параллельные краю бассейна, и в идеальном случае формируют выпуклое к морю, дугообразное или шевронное тело (рис.6.6-26). Ассоциированные речные пески стремятся занять положение, приблизительно перпендикулярное краю бассейна. Хорошим примером тира дельты с преобладанием волн является классическая дельта – дельта Нила.

Геометрия песчаных тел сильно зависит от соотношений река–волны (рис.6.6-27), давая дельты от фестончатых до дугообразных.

ТИП 3
Условия: промежуточная энергия волн, высокие приливы, малое количество прибрежных наносов, мелководный стабильный бассейн.
Характеристики: русловые пески, нормальные к береговой линии, связанные в горизонтальном направлении песками береговых баров.
Примеры: дельты Burdekin, Irrawaddy и Меконга.

ТИП 4
Условия: промежуточная энергия волн, незначительный дальний склон, малый выход осадочного материала.
Характеристики: разросшиеся пески русла и устьевого бара; с фронта – дальние барьерные острова.
Примеры: дельты Apalachicola и Brazos.

ТИП 5
Условия: постоянная высокая энергия волн, малое количество прибрежных наносов, крутой дальний склон.
Характеристики: покровные пески береговых баров, выдержанные в горизонтальном направлении; вверх по восстанию – русловые пески.
Примеры: дельты Sao Francisco и Grijalva



ТИП 6
Условия: высокая энергия волн, значительное количество прибрежных наносов, крутой дальний склон.
Характеристики: многочисленные пески удлиненных береговых баров, параллельных береговой линии со сглаженными русловыми песками.
Пример: дельта Сенегала

**Рис.6.6-27. Песчаные тела в современных дельтах с преобладанием волн (из Coleman и Wright, 1975).**

### ***6.6.2.5.5.*** Модель направленного потока

Вследствие волновой активности, характеристика потока является, скорее, бимодальной со значительным рассеянием. Характеристика азимутов может быть изменена вследствие деятельности прибрежного течения, что сказывается на геометрии песчаных тел (рис.6.6-27).

## 6.6.2.6. Дельты с преобладанием приливов

При высокой амплитуде прилива, обратный поток, который возникает в дельтовых рукавах в процессе наводнения и отлива, становится основным источником энергии, рассеивающий осадочный материал. Внутри устьев дельтовых рукавов и в направлении моря от них, осадочный материал может быть переработан в серию параллельных, линейных или пальцеобразных валов, параллельных направлению приливно-отливных течений (рис.6.6-28 и 6.6-29).

Дельты этого типа может быть трудно распознать в древних осадочных отложениях. Грубозернистый осадочный материал сносятся приливно-отливными течениями в дальние песчаные гряды, параллельные направлению течения с малым количеством прибрежных наносов. В случае большого количества прибрежных наносов, линейные приливно-отливные гребни стремятся занять положение, параллельное береговой линии (Coleman и Prior, 1980). Субаэральная часть дельты состоит преимущественно из приливно-отливных отмелей, представленных в основном тонкозернистыми отложениями. Дельтовые рукава могут содержать хорошо отсортированные пески, а значительные количества глины и алеврита будут подниматься в дельтовые марши во время высоких приливов. Типичной современной дельтой с преобладанием приливов и отливов является дельта Klang-Langat в Малайзии (Coleman *и др*., 1970).

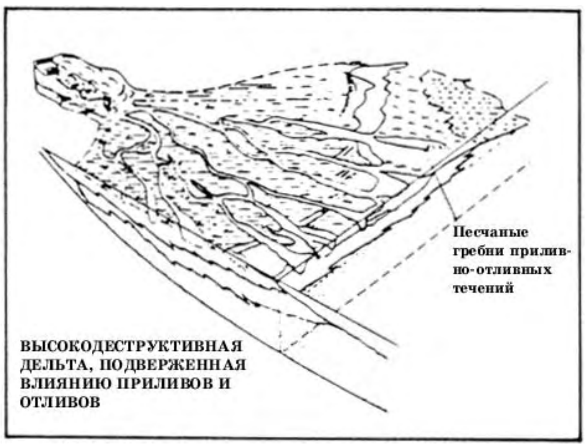



**Рис.6.6-28. Блок-диаграмма дельты с преобладанием приливов и отливов (из Fisher *и др*., 1969).**

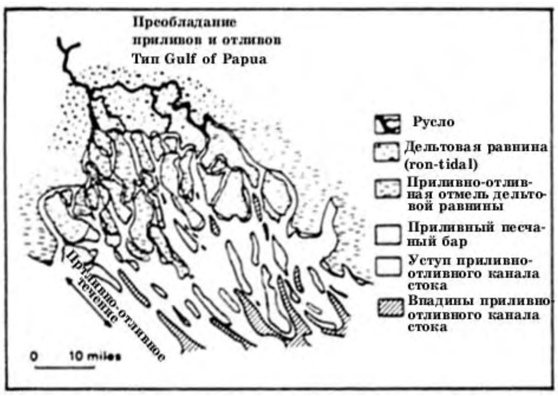
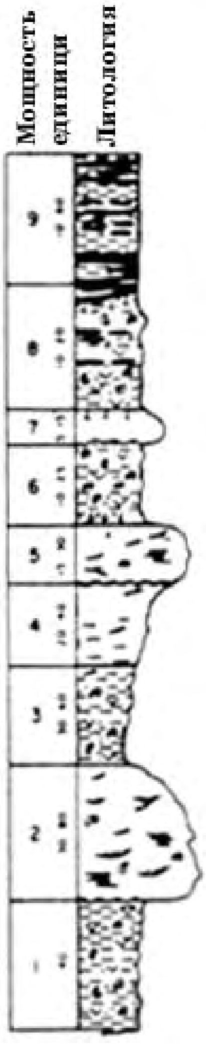



**Рис.6.6-29. Распределение на поверхности фаций и подобстановок осадконакопления в современной дельте с преобладанием приливов и отливов: Gulf of Papua (из Fisher *и др*., 1969).**

### *6.6.2.6.1.* Структура

Тонкая слоистость, параллельная до наклонной, мелкая и крупная двунаправленная (шевронная) и однонаправленная корытообразная косая слоистость; мелкие размывы и размывы и заполнения; оползни; водорослевые структуры; интенсивная биотурбация глинистых сланцев и кровли песков; трещины усыхания в глинистых сланцах – основные особенности этих дельт (рис.6.6-30).




Древесный уголь in situ; слойки глинистого сланца

Глинистые сланцы с высоким содержанием органики и уголь с многочисленными корнями и рассеянными фукоидами; небольшие размывы приливно-отливных каналов стока, заполненные песком и алевритом

Хорошо отсортированные пески, обычно с резко выраженной подошвой, но не обязательно размытой; зоны концентрации тяжелых минералов; параллельная и слегка наклонная слоистость; многочисленные корни в кровле

Чередование песков, алевритов и глин; распространена полосчатая структура; зоны многочисленных фитоморфоз; иногда присутствуют серпулидные банки; мелкомасштабная косая слоистость; распространены зоны водорослей; многочисленные концентрации раковин; вблизи кровли возможны корненосные зоны или тонкие слои угля.

Чистый песок, обычно с размытой подошвой; распространена двунаправленная косая слоистость; высокое содержание слюды; локальное увеличение и уменьшение мощности; в кровле песка распространены фукоиды.

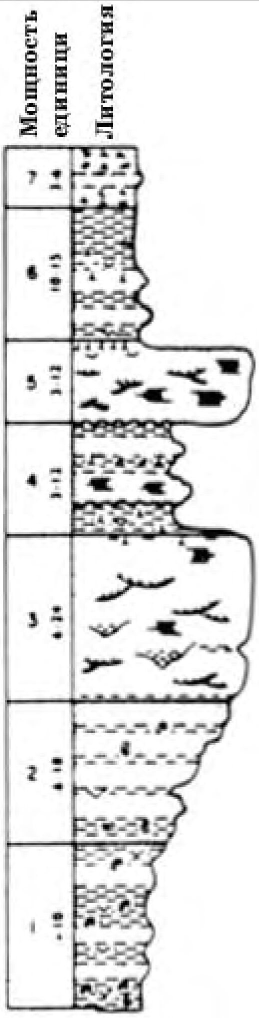
Чередование песков, алевритов и глинистых сланцев; мелкомасштабная косая слоистость; возможны небольшие оползневые структуры; содержание фауны уменьшается вверх по разрезу; возможно удаление всей последовательности за счет размыва приливно-отливного канала стока.

Морские глинистые сланцы; рассеянные остатки фауны; слойки алеврита; распространены разбитые раковины и перенесенное органическое вещество

Чистые, хорошо сортированные пески; крупномасштабная косая слоистость; подошва, размытая, фестончатая, возможны русла размыва и заполнения песком, характеризующимся уменьшением размера зерен вверх по разрезу.

Морской глинистый сланец и алеврит; высокое содержание фауны; тонкие косые слои с большим количеством фукоидов; слойки алеврита.

**Рис.6.6-30. Сводная стратиграфическая последовательность условий осадконакопления в дельте Klang-Langat (из Coleman и Prior, 1980).**




Отложения эвапоритов и переслаивающиеся пласты алеврита и глинистого сланца; глинистые сланцы с трещинами усыхания.

Чередование слоев песка, алеврита и глинистого сланца; многочисленные фитоморфозы и трещины усыхания; тонкие слои песка демонстрируют размытую подошву.

Песок со средней степенью сортировки, демонстрирующий размытую подошву; распространена двунаправленная х-образная слоистость; локальные слои глинистого сланца; многочисленные следы корней в кровле.

Чередующиеся слои глинистого сланца, алеврита и песка; локальные отложения эвапоритов; в глинистых сланцах многочисленные следы корней и фитоморфозы, распространены трещины усыхания.

Хорошо сортированные косослоистые пески; многочисленные русла размыва и заполнения; хорошо развита фестончатая х-образная слоистость; вблизи кровли песка многочисленные корни.

Чередующиеся алевриты и глинистые сланцы; вблизи кровли мощность глинистых сланцев уменьшается; рассеянные раковины; вблизи подошвы увеличивается количество фитоморфоз; распространены мелкомасштабные косые слои

Морской глинистый сланец, тонкослоистый; слойки алеврита и песка с многочисленными фитоморфозами вблизи подошвы; рассеянный глинистый сланец

**Рис.6.6-31. Сводная стратиграфическая последовательность условий осадконакопления в дельте реки Ord, Австралия (из Coleman и Prior, 1980).**

## ***6.6.2.6.2.*** Границы

Благодаря долговременному двунаправленному потоку, в последовательностях преобладают резкие, плоскостные до размытых контакты (рис.6.6-31).

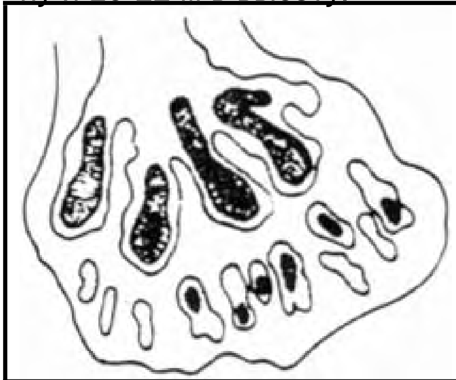
## ***6.6.2.6.3.*** Последовательности

Отмечается тенденция к определенному уменьшению размера зерен вверх по разрезу, без хорошо обозначенных границ, в зависимости от положения в дельте (рис.6.6-31).

### *6.6.2.6.4.* Геометрия тел

Относительно мощные, удлиненные песчаные тела в направлении прилива, сформированные песчаными гребнями и отмелями приливно-отливных течений, которые образуют комплекс второстепенных русел и пески с о знаками мегаряби (рис.6.6-32), представляют собой основные геометрические элементы, наблюдаемые в этом тире дельты.

Средние размеры гребней Ord составляют 2 км в длину, 300 м в ширину и 10-22 м в высоту.



ТИП 2
Условия: низкая энергия волн, высокая амплитуда прилива, обычно незначительное количество прибрежных наносов, узкий бассейн.
Характеристики: пальцеобразные русловые пески, переходящие в направлении от берега в удлиненные песчаные гребни приливно-отливных течений.
Пример: дельты рек Ord, Инд, Колорадо, Ганг, Брахмапутра

**Рис.6.6-32. Распределение песка в дельте с преобладанием приливов и отливов (из Coleman и Wright, 1975).**

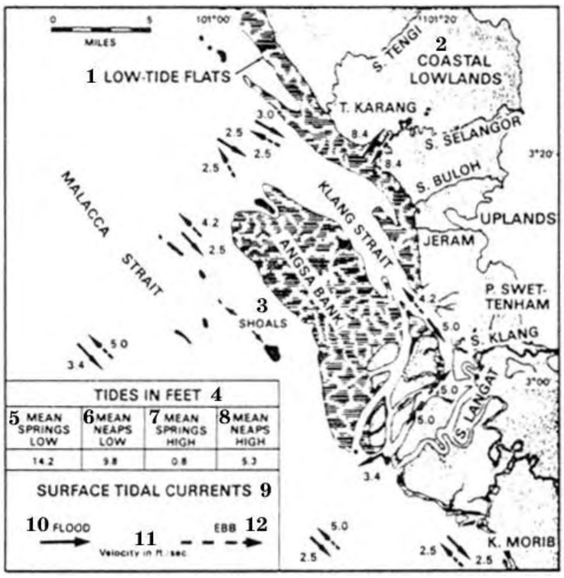



**Рис.6.6-33. Основные физиографические области, приливы и приливно-отливные течения дельты реки Klang-Langat. Цифры, касающиеся приливов, взяты из данных Британского Адмиралтейства для Малаккского пролива (из Coleman *и др.*, 1970).**

(1- отливные отмели; 2- прибрежная равнина; 3- отмели; 4- приливы в футах; 5- средний сизигийный отлив; 6- средний квадратурный отлив; 7- средний сизигийный прилив; 8- средний квадратурный прилив; 9- поверхностные приливно-отливные течения; 10- прилив; 11- Скорость в фут/с; 12- отлив)

### *6.6.2.6.5.* Картина направленного потока

Приливно-отливные реки играют двоякую роль: приливные и отливные течения стремятся сформировать бимодальное распределение. Но влияние рек, которое усиливает действие приливов и отливов, склонно к образованию отливных течений, более сильных, нежели приливные течения, нарушая равновесие в распределении и позволяя системе продвигаться в сторону моря (рис.6.6-33).

## 6.6.2.7. Характеристики коллектора

В общем случае, дельтовые пески обладают высокими коллекторскими свойствами: пористость до 35%, проницаемость – тысячи миллидарси в отложениях устьевых баров с хорошей сортировкой. В сторону моря эти свойства ухудшаются. В пес- ках дельтовых рукавов,пористость снижается вследствие ухудшения сортировки, но проницаемость остается высокой, бла- годаря увеличению размеров зерен. Поскольку последовательность характе- ризуется общим увеличением размера зерен вверх по разрезу, коллекторские свойства (пористость и проницаемость) лучше развиты в направлении кровли каждого из коллекторов, отложенных в морских условиях. Напротив, в аллюви- альных отложениях, коллекторские свойства лучше развиты вблизи подошвы каждой из последовательности, характеризующейся уменьшением размера зерен вверх по разрезу. Они образуют множество коллекторов с ограниченным распространением по вертикали и горизонтали, и обладают тем преимущест- вом, что расположены ближе к потенциальным нефтематеринским породам. В такой обстановке является обычным образование конседиментационных раз- ломов, и распространены тектонические и стратиграфические ловушки.

## 6.6.3. КАРОТАЖНЫЕ СИГНАЛЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

На протяжении более чем тридцати лет, для распознания осадочных фаций в дельтовых отложениях интенсивно использовалась форма кривых ПС и сопротивления (колокол, воронка, цилиндр). Обобщив диаграммы, в т.ч. ПС и сопротивления, Coleman и Prior (1982) представили главные характеристики основных отложений (рис.6.6-34 – 6.6-41). Сочетая форму кривой и мощность, можно получить приблизительное представление о фации. Другие попытки были предприняты Fisher (1969) и Galloway и Hobday (1983). Далее приводится подробное описание каротажных сигналов и характеристик, наблюденных в древних дельтах по всему миру.

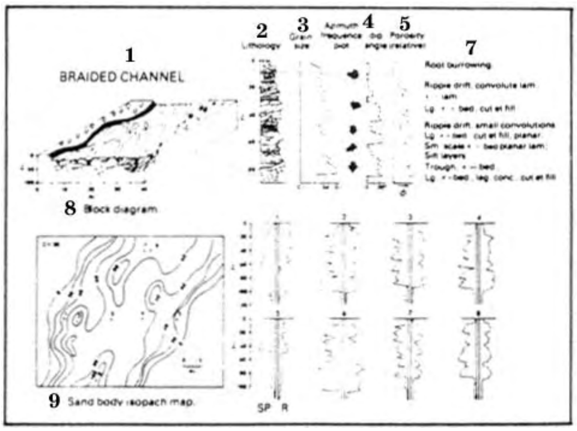



**Рис.6.6-34: Обобщающие диаграммы, иллюст- рирующие основные характеристики отложе- ний разветвленных русел (из Coleman и Prior, 1982).**

(1- разветвленное русло; 2- Литология; 3- Размер зерен; 4- Частотная диаграмма азимутов; 5- угол падения; 6- Пористость (относительная); 7↓

Следы корней

Мелкомасштабная система косой слойчатости, образующейся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби, конволютная слои- стость

х-образная слоистость

Крупномасштабная х-образная слоистость, вреза-

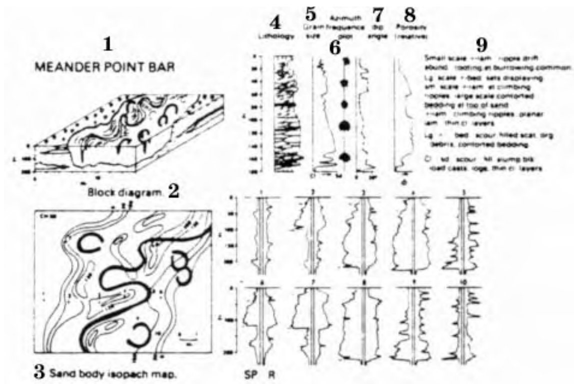



**Рис.6.6-35. Обобщающие диаграммы, иллю- стрирующие основные характеристики отло- жений меандрирующих кос (из Coleman и Prior, 1982).**

(1- меандрирующая коса; 2- Блок-диаграмма; 3- Карта изопахит песчаного тела; 4- Литология; 5- Размер зерен; 6- Частотная диаграмма азимутов; 7- угол падения; 8- Пористость (относительная); 9↓

Мелкомасштабная х-образная слоистость, обра- зующаяся при отложении осадка по обеим сто- ронам мигрирующей ряби, многочисленные кор- ни и фукоиды

Серии крупномасштабных х-образных слоев, демонстрирующие мелкомасштабные х-

ние и заполнение
Мелкомасштабная система косой слойчатости, образующейся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби, мелкая конволюция
Крупномасштабная х-образная слоистость, врезание и заполнение, плоскостное расположение
Мелкомасштабная х-образная слоистость с плоскостным расположением
Слои алеврита
Корытообразная х-образная слоистость
Крупномасштабная х-образная слоистость, lag. conc., врезание и заполнение
8- Блок-диаграмма; 9- Карта изопахит песчаного тела)

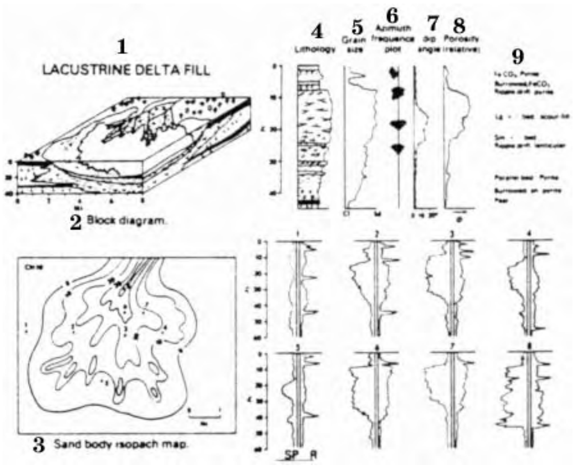



**Рис.6.6-36. Обобщающие диаграммы, иллюстрирующие основные характеристики озерных дельтовых отложений (из Coleman и Prior, 1982).**

(1- озерные дельтовые отложения; 2- Блок-диаграмма; 3- Карта изопахит песчаного тела; 4- Литология; 5- Размер зерен; 6- Частотная диаграмма азимутов; 7- угол падения; 8- Пористость (относительная); 9↓
$FeCO_3$, пирит
Фитоморфозы, $FeCO_3$
Мелкомасштабная косая слоистость, образующаяся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби, пирит
Крупномасштабная х-образная слоистость, размыв и заполнение
Мелкомасштабная х-образная слоистость
Мелкомасштабная косая слоистость, образующаяся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби, линзообразная форма
Параллельная слоистость. Пирит
Глинистый сланец с фитоморфозами, пирит
Торф)

образные слои и рябь набегания; в кровле песка слоистость смятая
х-образная тонкая слоистость, рябь набегания, плоскостная слоистость, тонкие слои глины
Крупномасштабная х-образная слоистость, размыв и заполнение, рассеянные обломки органики, смятая слоистость
Глинистый осадочный материал, размыв и заполнение, оползни, следы нагрузки, logs, тонкие слои глины)

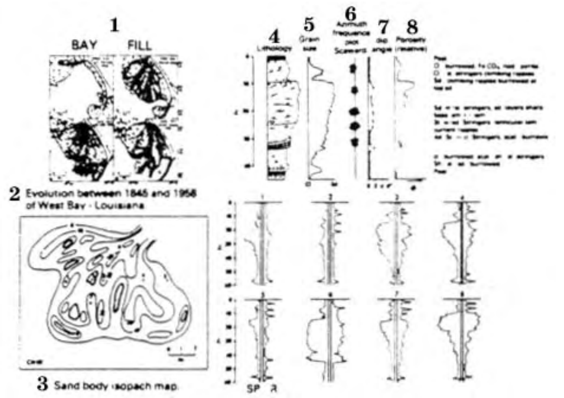



**Рис.6.6-37. Обобщающие диаграммы, иллюстрирующие основные характеристики отложений залива (из Coleman и Prior, 1982).**

(1- отложения залива; 2- Эволюция West Bay (Луизиана) между 1845 и 1958 гг., 3- Карта изопахит песчаного тела; 4- Литология; 5- Размер зерен; 6- Частотная диаграмма азимутов Scaword (Seaward – в сторону моря?); 7- угол падения; 8- Пористость (относительная)

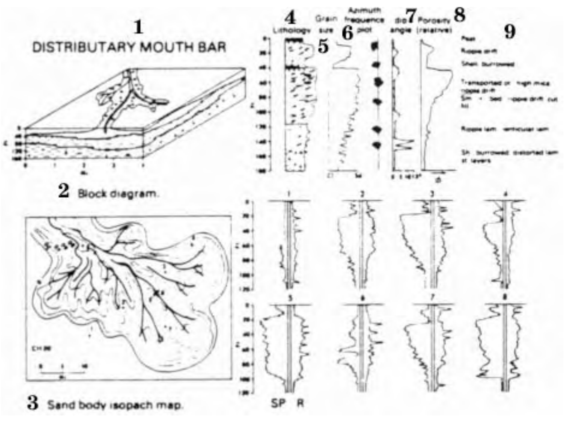



**Рис.6.6-39. Обобщающие диаграммы, иллюстрирующие основные характеристики отложений устьевых баров дельтовых рукавов (из Coleman и Prior, 1982).**

(1- устьевый бар дельтового рукава; 2- Блок-диаграмма; 3- Карта изопахит песчаного тела; 4- Литология; 5- Размер зерен; 6- Частотная диаграмма азимутов; 7- угол падения; 8- Пористость (относительная); 9↓
Торф
Мелкомасштабная косая слоистость, образую-

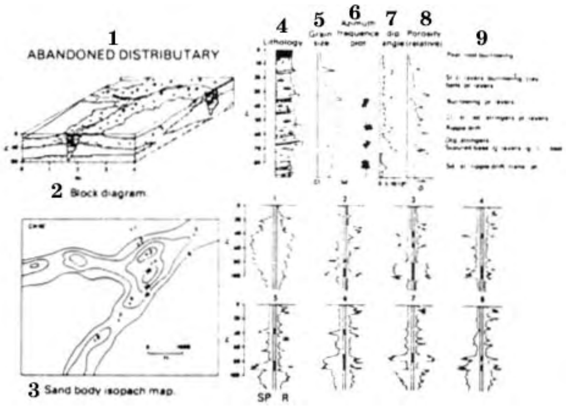



**Рис.6.6-38. Обобщающие диаграммы, иллюстрирующие основные характеристики отложений отмерших дельтовых рукавов (из Coleman и Prior, 1982).**

(1- отмерший дельтовый рукав; 2- Блок-диаграмма; 3- Карта изопахит песчаного тела; 4- Литология; 5- Размер зерен; 6- Частотная диаграмма азимутов; 7- угол падения; 8- Пористость (относительная); 9↓
Торф со следами корней
Слои глины с фитоморфозами, глиняные шары, слои торфа
Слои торфа с фитоморфозами
Слойки торфа
Мелкомасштабная косая слоистость, образующаяся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби
Слойки органики
Слои глины с размытой подошвой, крупномасштабная х-образная слоистость
Мелкомасштабная косая слоистость, образующаяся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби, перенесенный торф)

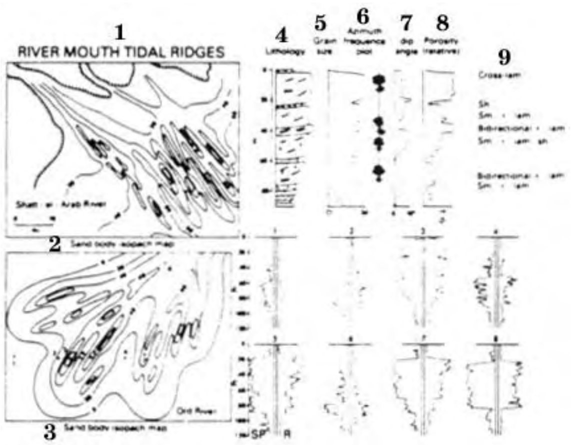



**Рис.6.6-40. Обобщающие диаграммы, иллюстрирующие основные характеристики отложений приливных гребней устьев рек (из Coleman и Prior, 1982).**

(1- приливные гребни устьев рек; 2,3- Карта изопахит песчаного тела; 4- Литология; 5- Размер зерен; 6- Частотная диаграмма азимутов; 7- угол падения; 8- Пористость (относительная); 9↓
Косая слоистость
Глинистый сланец
Мелкомасштабная х-образная слоистость
Плоскостная х-образная слоистость
щаяся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби
Раковины, фукоиды
Перенесенный торф, высокое содержание слюды, мелкомасштабная косая слоистость, образующаяся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби
Мелкомасштабная х-образная слоистость, мелкомасштабная косая слоистость, образующаяся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби, врезание и заполнение
Слойчатость ряби, линзообразные тонкие слои
Глинистый сланец в фитоморфозами, деформированные тонкие слои)

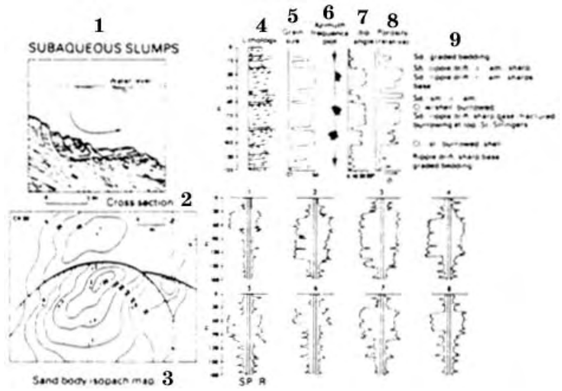



**Рис.6.6-41**. **Обобщающие диаграммы, иллюстрирующие основные характеристики оползневых отложений (из Coleman и Prior, 1982).**

(1- субаквальные оползни; 2- разрез; 3- - Карта изопахит песчаного тела; 4- Литология; 5- Размер зерен; 6- Частотная диаграмма азимутов; 7- угол падения; 8- Пористость (относительная); 9↓
Песок с градационной слоистостью
Глинистый сланец, мелкомасштабная косая слоистость, образующаяся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби, х-образная слоистость, резко выраженная подошва
Песок, мелкомасштабная косая слоистость, образующаяся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби, х-образная слоистость, резко выраженная подошва
Песок, х-образная слоистость
Глина с раковинами и фитоморфозами
Песок, мелкомасштабная косая слоистость, образующаяся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби, резко выраженная трещиноватая подошва, фитоморфозы в кровле
Глина, фитоморфозы, раковины
Мелкомасштабная косая слоистость, образующаяся при отложении осадка по обеим сторонам мигрирующей ряби, резко выраженная подошва, градационная слоистость)

Мелкомасштабная х-образная слоистость, глинистый сланец
Плоскостная х-образная слоистость
Мелкомасштабная х-образная слоистость)

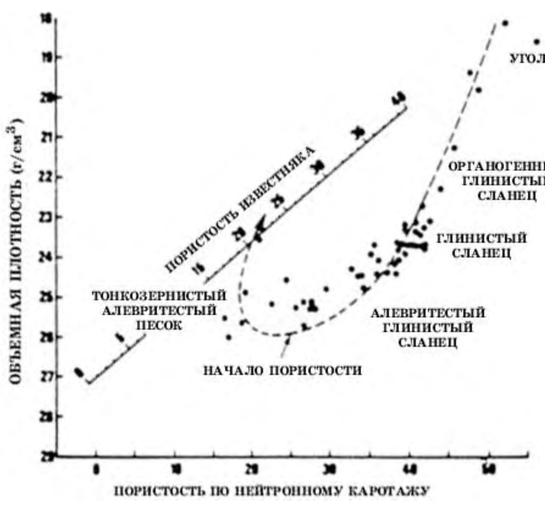
## 6.3.3.1. Электролитофации

Минералогический состав получен по результатам анализа данных ГИС и графиков взаимной зависимости. Например, интервалы очень низкой радиоактивности могут соответствовать: (а) грубозернистым или хорошо отмытым пескам, (b) углю (торфу или лигниту), (с) слоям известняка (скоплению обломков раковин). Эти фации можно разделить, используя график взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$, или величины Pe или $(U_{ma})_a$ (рис.6.6-42).

Интервалы с радиоактивностью от низкой до умеренной представлены средне- или тонкозернистыми песками.

Радиоактивные интервалы могут соответствовать: (а) отложениям алеврита с высоким содержанием торийсодержащих минералов (т.е. циркона), и, часто, тяжелых минералов (т.е. сидерита, пирита, слюд) или (b) глинистым сланцам. Литофации будут распознаваться на основе графиков взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$ с показаниями ПС, Pe, тория (Th) и калия (K) на оси Z. В примере на рис.6.6-43, алевритистые слои, хорошо различаемые на кривых ПС и нейтронного каротажа (уровень с), являются более радиоактивными, чем окружающие глинистые сланцы. Торий и калий помогают определить преобладающий тип глинистого минерала, а уран коррелируется с процентным содержанием органического вещества.

Информацию о текстуре можно выделить из уровня пористости и ее эволюции, в сочетании с анализом ГК и ПС (рис.6.6-44). Высокая пористость (от 30 до 40%) предполагает хорошо сортированный песок, уровень радиоактивности и положение на графике взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$ показывает средний размер зерен (зерна меньше, если повышена радиоактивность и плотность). Средняя плотность (15-25%) может соответствовать песку с сортировкой от плохой до умеренной, или песку, сцементированному кварцем, если фигуративные точки на графике взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$ попадают на линию песчаника или алевролита без изменения Pe, или же песку с известковым цементом, если фигуративные точки перемещаются в сторону линии известняка, а величина Pe возрастает.



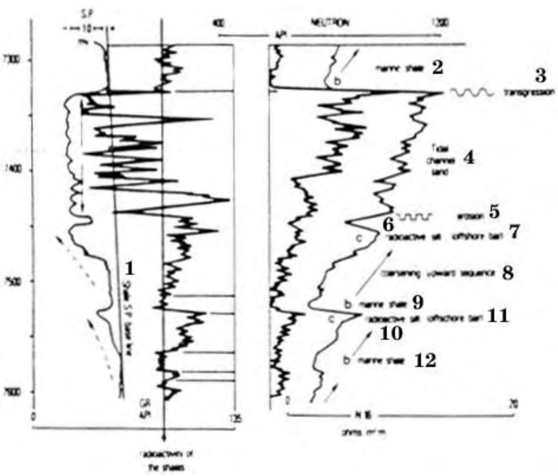



**Рис.6.6-42. Положение фаций на графике взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$ (из Rider и Laurier, 1979).**

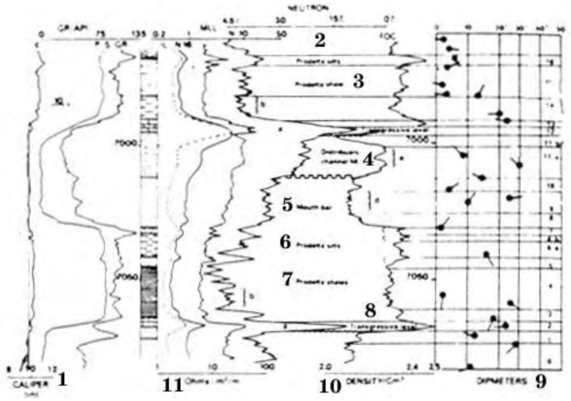



**Рис.6.6-44. Анализ данных ГК, нейтронного, плотностного каротажа и каротажа сопротивления позволяет четко выделить два типа песка: самый глубокий песок (d) тонкозернистый, с незначительной радиоактивностью вследствие малого количества алеврита, и хорошо отсортированный (высокая пористость – 35%). Песок, расположенный выше по разрезу (e) крупнозернистый, с низкой радиоактивностью, умеренно сортированный ($\varnothing_{CP}$=22%). На этом рисунке в увеличенном виде представлен интервал, показанный на рис.6.6-49 (см. ниже).**

(1- каверномер (в дюймах); 2,6- алевриты продельты; 3,7- глинистые сланцы продельты; 4- отложения дельтового рукава; 5- устьевый бар; 8- уровень трансгрессии; 9- наклономеры; 10- плотность; 11- Омметры)

**Рис.6.6-43. Пример алеврита, более радиоактивного, чем глина. Слои алеврита легко устанавливаются на кривых ПС и нейтронного каротажа (уровни с) (из Serra и Sulpice, 1975).**

(1- базисная линия ПС для глинистого сланца; 2,9,12- морской глинистый сланец; 3- трансгрессия; 4- песок приливно-отливного канала стока; 5- эрозия; 6,10- радиоактивный алеврит; 7,11- береговой бар; 6,8- последовательность, характеризующаяся увеличением размера зерен вверх по разрезу)

## 6.6.3.2. Картины наклонов

В интервале глинистых сланцев можно наблюдать следующие особенности: незначительные наклоны или их отсутствие отражает однородные или неоднородные отложения, или отложения, подвергшиеся биотурбации (рис.6.6-46b, между 1362 и 1372 м), тогда как многочисленные наклоны, характеризующиеся приблизительно одинаковыми азимутами и незначительными изменениями по величине (рис.6.6-46b, между 1301 и 1317 м), соответствуют тонкослоистым алевритистым глинистым сланцам без сильной биотурбации, иногда с мелкомасштабными знаками ряби.

Синие картины характеризуют передовые слои, и могут быть использованы для определения направления транспортировки. Они указывают на процессы проградации. Изолированные красные картины выше песчаного слоя соответствуют облеканию предшествующих отложений (т.е. береговому бару).

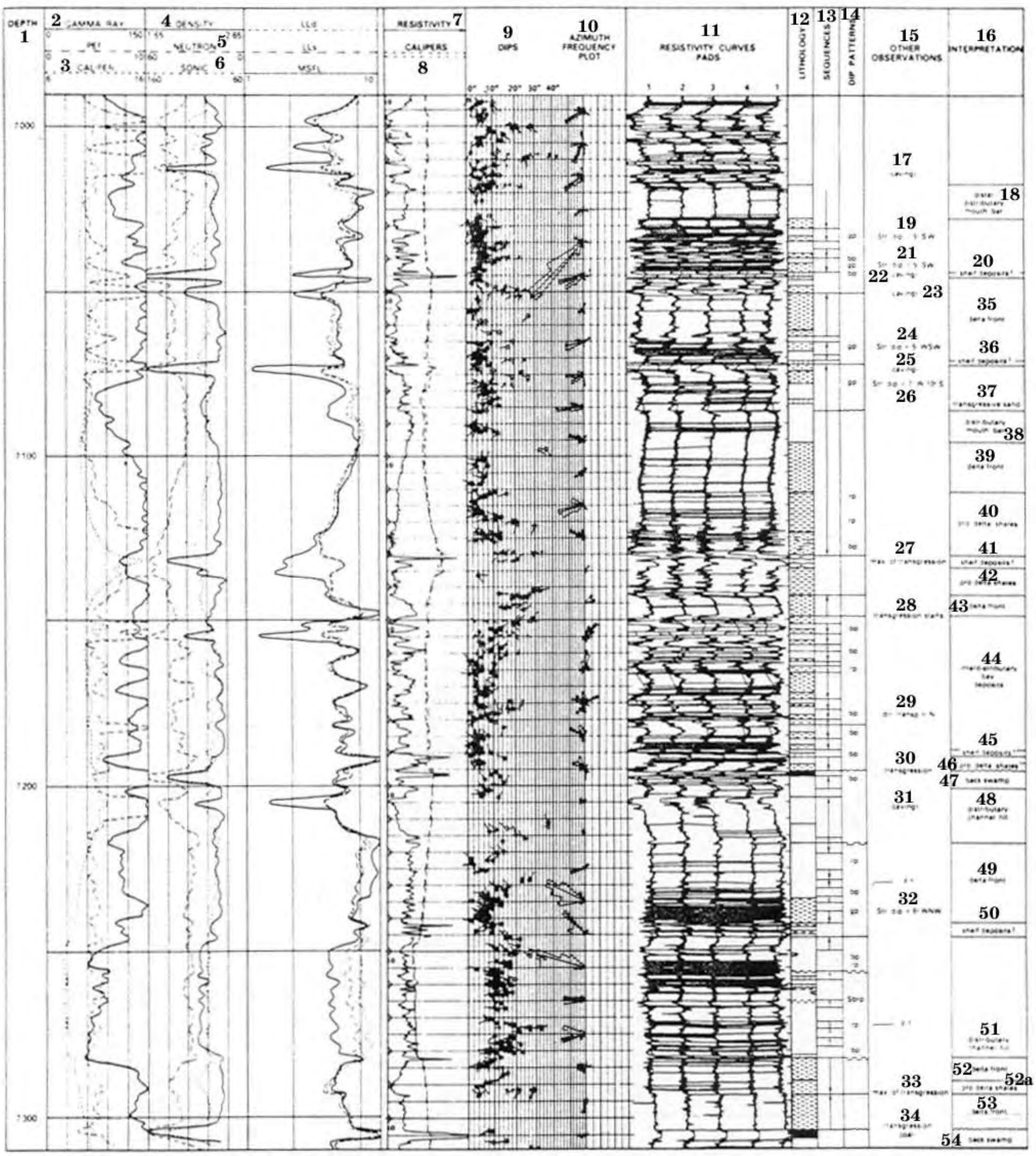



**Рис.6.6-45. Сводная диаграмма с результатами GEODIP и результатами их интерпретации, которые иллюстрируют дельтовую обстановку осадконакопления.**
(1- глубина; 2- ГК; 3- каверномер; 4- диаграмма плотностного каротажа; 5- диаграмма нейтронного каротажа; 6- диаграмма АК; 7- сопротивление; 8- каверномеры; 9- наклоны; 10- частотная диаграмма азимутов; 11- кривые сопротивления; 12- литология; 13- последовательности; 14- картины наклонов; 15- другие наблюдения; 16- интерпретация; 17,22,23,25,31- обрушение; 18- дальний устьевый бар дельтового рукава; 19,21- структурный наклон = 5° юго-запад; 20,36,41,45,50- отложения шельфа?; 24- структурный наклон = 5° запад юго-запад; 26- структурный наклон = 7° запад, 10° юг; 27,33- максимум трансгрессии; 28- трансгрессия начинается; 29- направление транспортировки = север; 30- трансгрессия; 32- структурный наклон = 6° запад северо-запад; 34- уголь; 35- фронт дельты; 37- трансгрессивный песок; 38- устьевый бар дельтового рукава; 39- фронт дельты; 40,42,46,52а- глинистые сланцы продельты; 43- фронт дельты; 44- отложения внутридельтового залива; 47,54- пойменное болото; 48,51- отложения дельтового рукава; 49- фронт дельты; 52- фронт дельты; 53- фронт дельты)

В песчанистых интервалах распознаются несколько картин наклонов. Рассеянные наклоны или их отсутствие отражают биотурбацию или косую слоистость. Синие картины соответствуют передовым слоям (рис.6.6-46b, от 1276 м до 1278 м). Красные картины могут отражать отложения русла (рис.6.6-45, от 7248 м до 7273 м). Многочисленные наклоны, характеризующиеся более или менее одинаковыми азимутами и незначительными изменениями угла наклона, могут соответствовать знакам ряби (рис.6.6-46b, от 1296 м до 1301 м).

Изображения FMS могут оказаться полезными для распознавания типичных элементов отложений, таких как передовые слои, полосчатая и волнистая слоистость, оползни, фитоморфозы.... Эти элементы проиллюстрированы в главе о структуре. Шевронная косая слоистость, которая может означать влияние приливов и отливов, также может быть выявлена с помощью изображений FMS, как показано на рис.6.6-47.

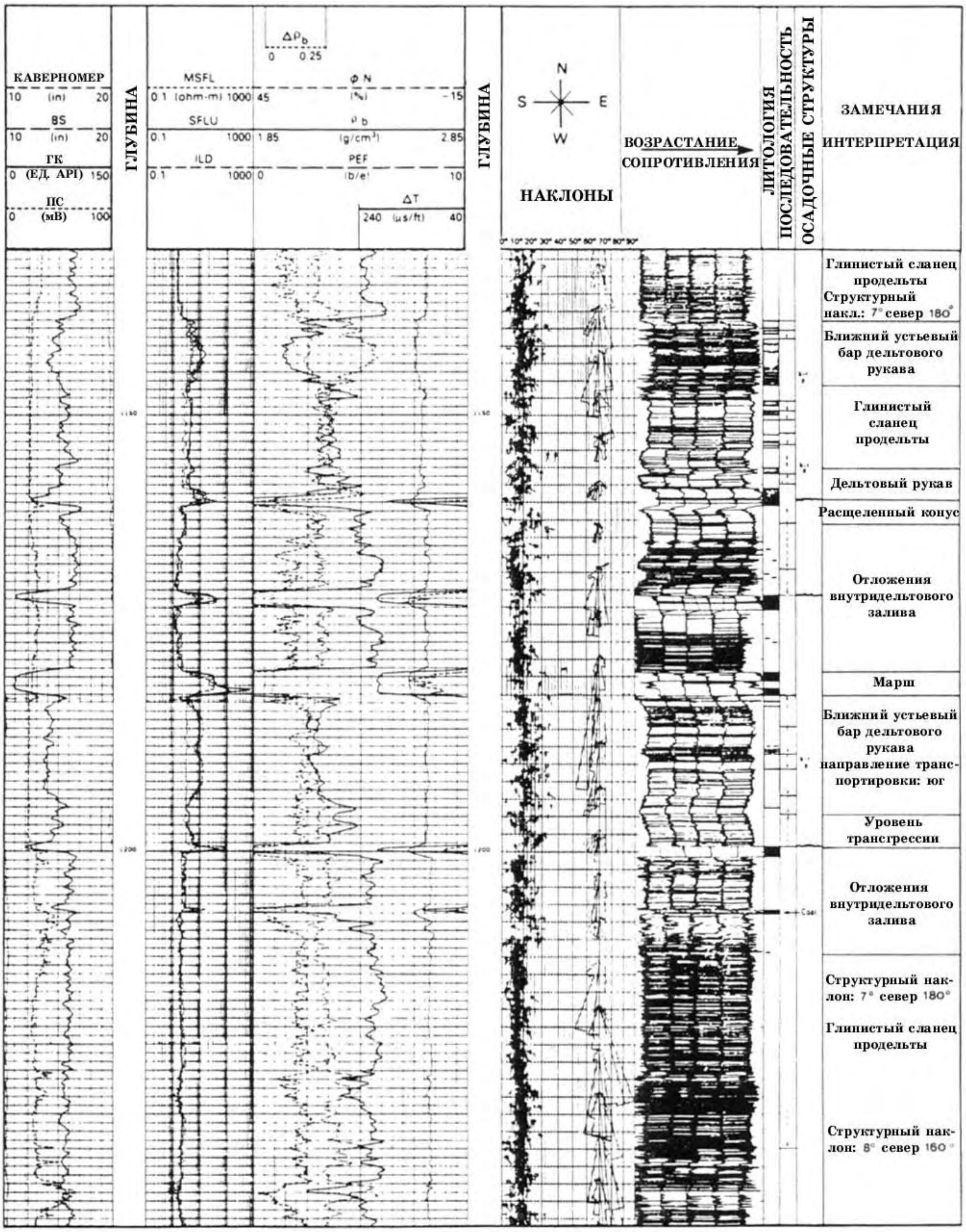



**Рис.6.6-46а. Другой пример сводной диаграммы с результатами интерпретации.**

## 6.6.3.3. Границы

В общем случае, границы очень хорошо определяются по данным наклономера. В основном контакты резкие, четкие; в сторону кровли они становятся постепенными.

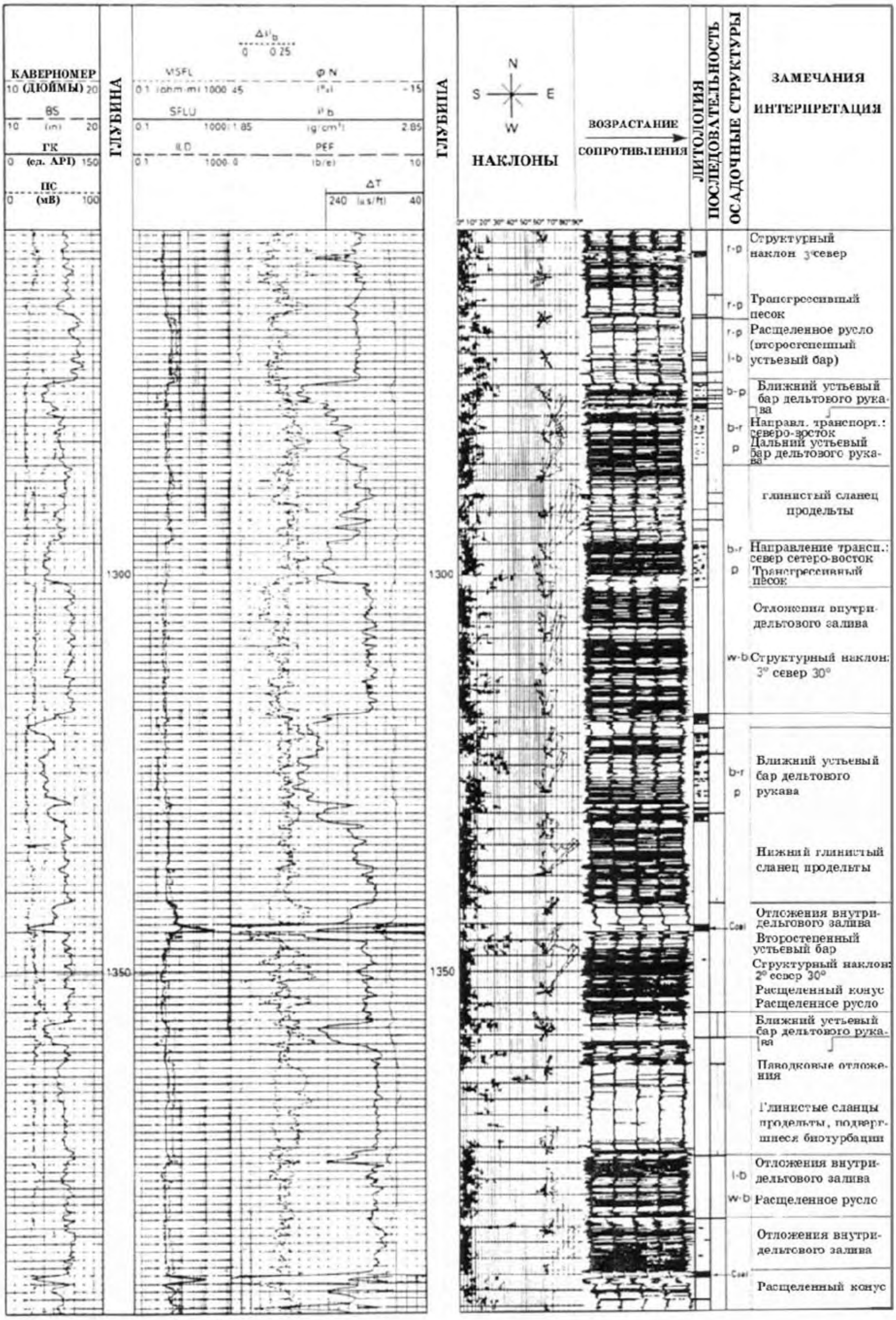



**Рис.6.6-46b. Другой пример сводной диаграммы с результатами интерпретации**.

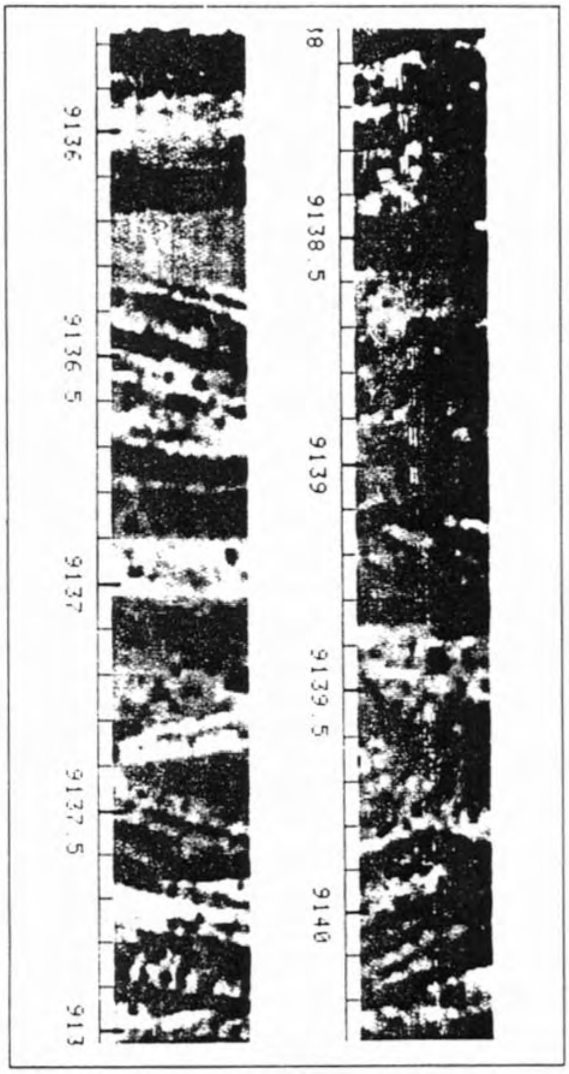



**Рис.6.6-47. Пример шевронной косой слоистости на изображении FMS (с разрешения Schlumberger).**

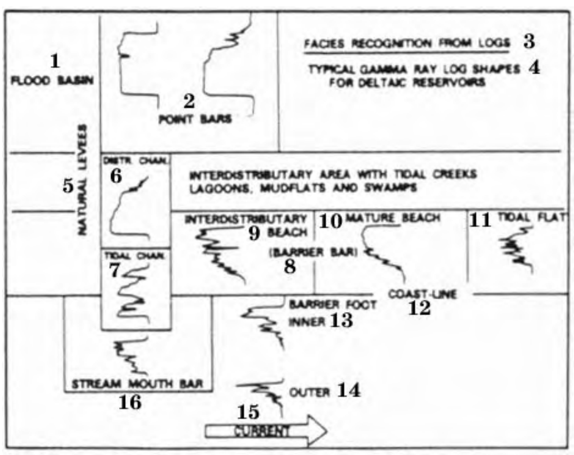



**Рис.6.6-48. Интерпретация формы кривых ГК в терминах фаций дельтовых отложений (из Schlumberger, Well Evaluation Conference, Нигерия, 1986).**

(1- паводковая площадь; 2- косы; 3- распознавание фаций по данным ГИС; 4- типичные формы кривой ГК для дельтовых коллекторов; 5- естественные прирусловые валы; 6- дельтовый рукав; 7-

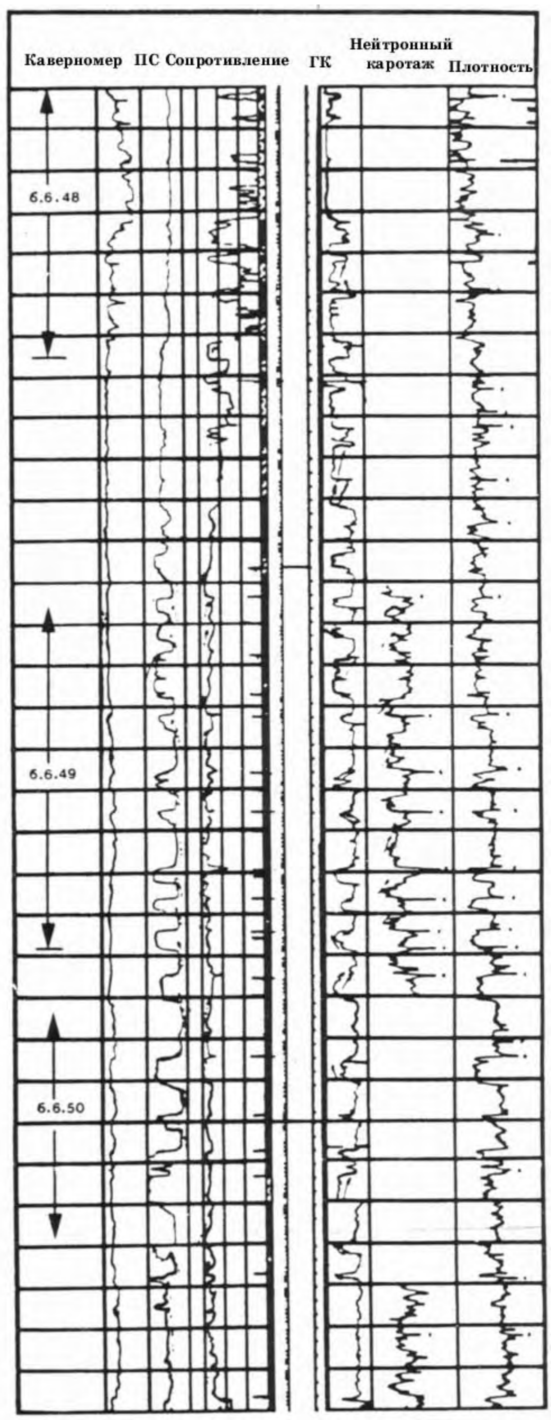



**Рис.6.6-49. Сводная диаграмма по нигерийской скважине, которая представляет другой пример дельтовой обстановки осадконакопления (по Serra и Sulpice, 1975).**

## 6.6.3.4. Электрокомплексы

Электрокомплексы хорошо известны и интенсивно использовались в Gulf Coast для распознавания характера песчаных тел (колоколообразная, воронкообразная и цилиндрическая приливно-отливный канал стока; 8- (береговой бар); 9- внутридельтовый пляж; 10- зрелый берег; 11- приливно-отливная отмель; 12- береговая линия; 13- основание внутреннего бара; 14- основание внешнего бара; 15- течение)

формы, описанные геологами SHELL 30 лет назад). Обычно они распознаются легко, а иногда лучше, на кривых, полученных в открытом стволе, чем на данных наклономера. Исключением является случай очень тонких элементарных последовательностей, когда кривые наклономера позволяют более точно распознать полярность (уменьшение или увеличение размера зерен вверх по разрезу). Во многих случаях, форму кривых ПС или ГК можно интерпретировать непосредственно в терминах фаций (см. рис.6.6-48).

Воронкообразная форма соответствует последовательности, характеризующейся увеличению размера зерен вверх по разрезу и, следовательно, процессу проградации и субаквальным отложениям дельтовой равнины (сравните рис.6.6-45 между 7130 и 7080 футов, и рис.6.6-46b между 1290 и 1276 м). Колоколообразная форма соответствует последовательности, характеризующейся уменьшением размера зерен вверх по разрезу, которая может быть интерпретирована как отложения дельтового рукава (рис.6.6-45, между 7283 и 7248 футов, и рис.6.6-46a, между 1160 и 1155.5 футов), отложения меандрирующего русла или уровень трансгрессии (рис.6.6-46b, между 1301 и 1296 м). Цилиндрическая форма, часто зубчатая, может соответствовать отложениям разветвленного русла (рис.6.6-49 и 6.6-50), отложениям приливно-отливного канала стока (рис.6.6-51), отложениям подводных оползней. Картины наклонов и изображения FMS могут помочь различить эти отложения.

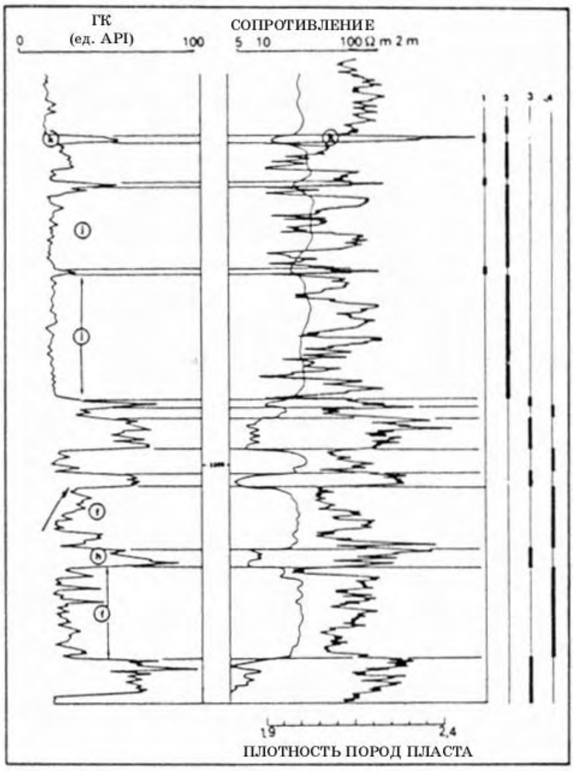



**Рис.6.6-50. Увеличенное изображение верхнего интервала на рис.6.6-49, иллюстрирующее колоколообразную (f) и цилиндрическую (j) форму, которая может соответствовать отложениям меандрирующего русла и отложениям разветвленного русла (из Serra и Sulpice, 1975).**

Другой типичный пример каротажного сигнала взят из формации Jotana, Индия (рис.6.6-53 и 6 6-54). Он показывает несколько характерных особенностей, которые можно наблюдать на данных, полученных в открытом стволе и на данных наклономера в дельтовой обстановке осадконакопления.

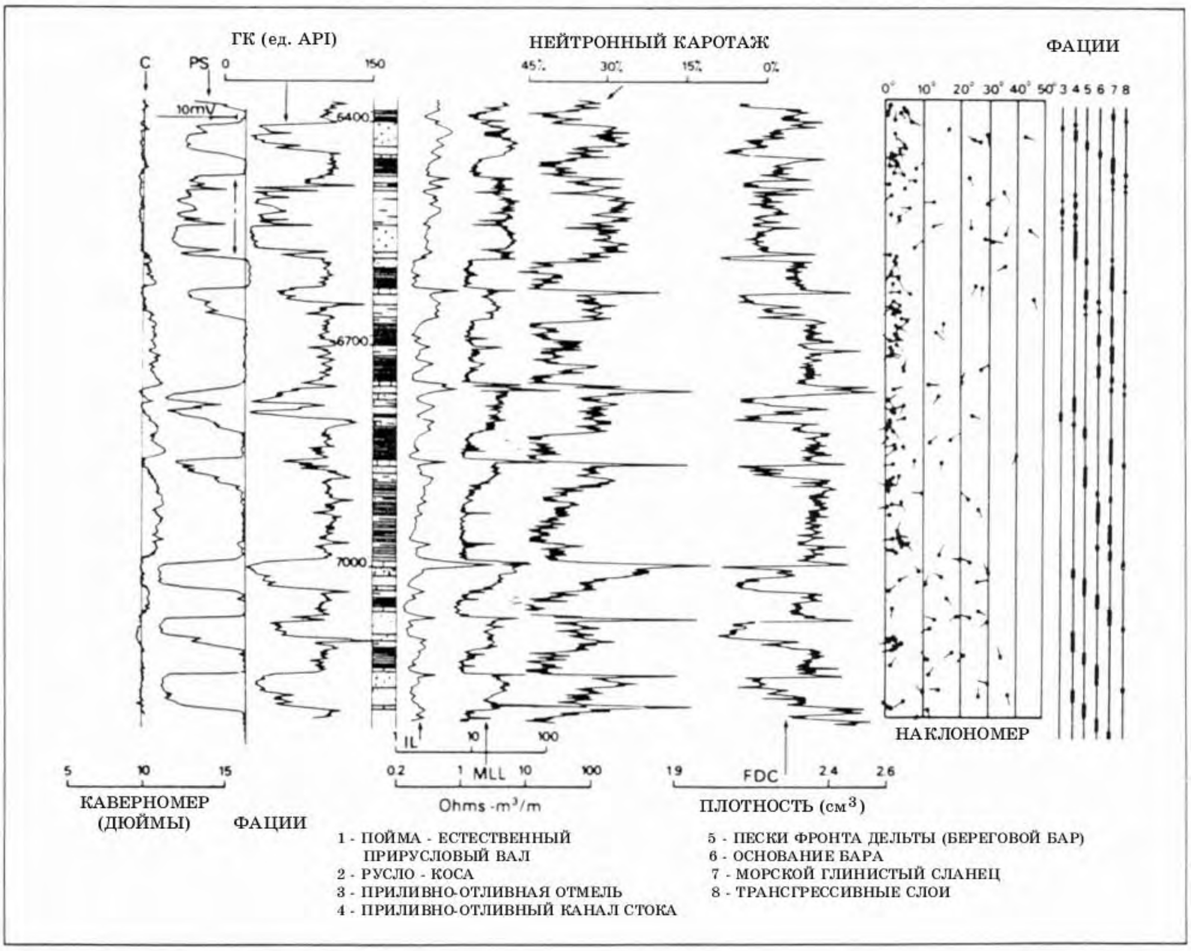



**Рис.6.6-51. Увеличенное изображение среднего интервала на рис.6.6-49, иллюстрирующее воронкообразную форму и последовательность цилиндрических форм, которые дают общую колоколообразную форму (интервал f в сторону кровли). Этот последний интервал может соответствовать отложениям приливно-отливного канала стока, переслаивающимся с отложениями приливно-отливных отмелей (из Serra и Sulpice, 1975).**

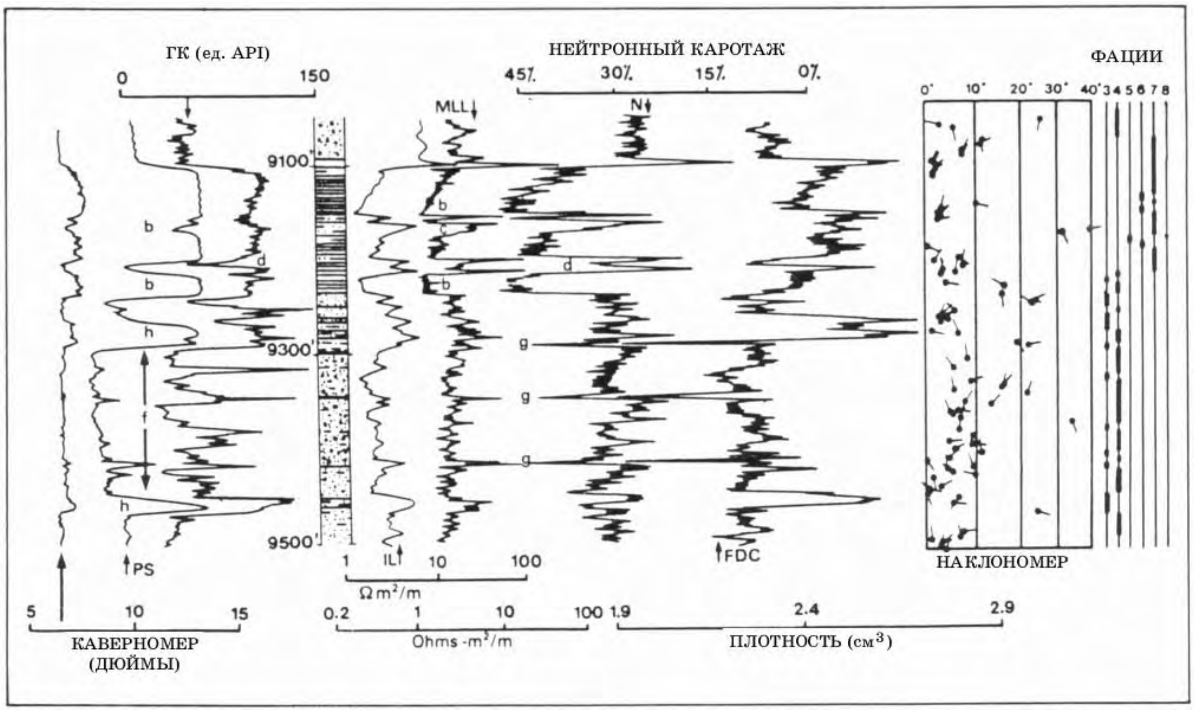



**Рис.6.6-52. Увеличенное изображение нижнего интервала на рис.6.6-49, показывающее одну цилиндрическую форму на подошве, а вторую – на кровле. Нижний «цилиндр» может соответство-**

**вать отложениям приливно-отливного канала стока, чередующимся с отложениями приливно-отливной отмели (слои лигнита). Верхний «цилиндр» начинается с плотного слоя с очень высоким сопротивлением (i), который может соответствовать скоплению обломков раковин, смешанных с крупнозернистым песком, который часто описывается как дно приливно-отливных каналов стока (из Serra и Sulpice, 1975).**

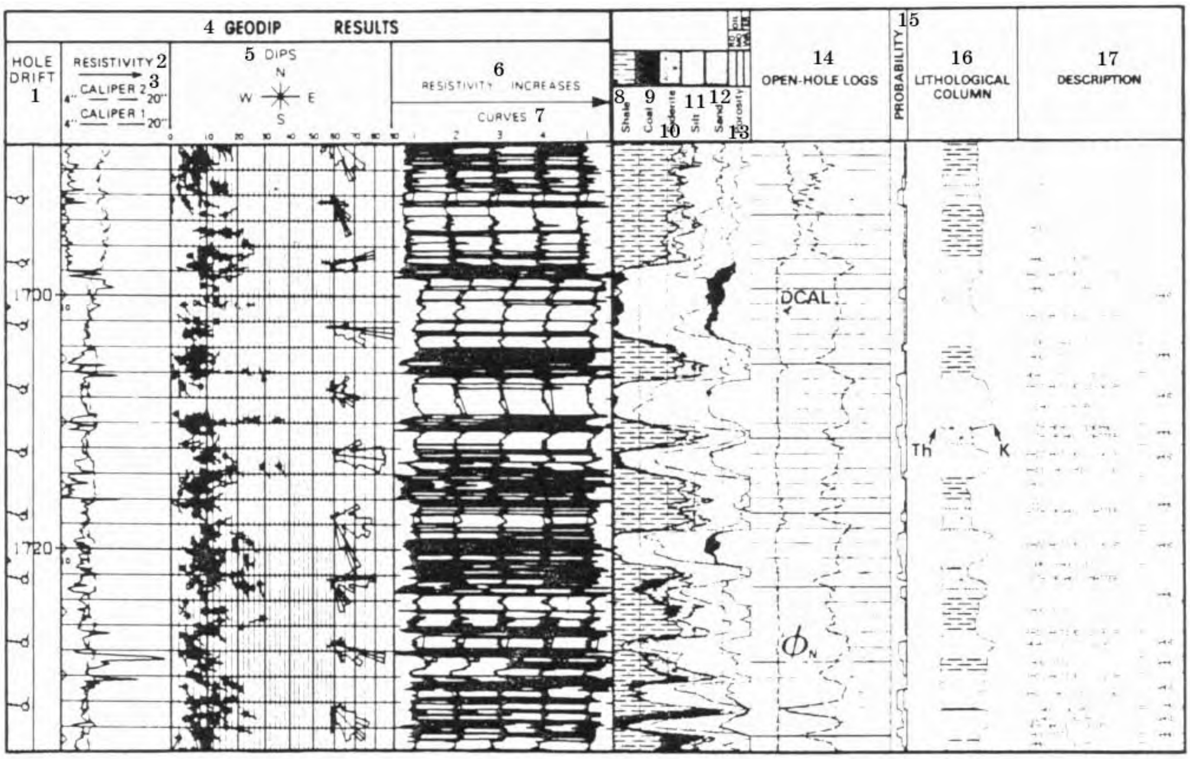



**Рис.6.6-53. Сводная диаграмма с результатами LITHO и векторной диаграммой GLOBAL в одном и том же масштабе (из Schlumberger, Well Evaluation Conference, Индия, 1986).**

(1- отклонение скважины; 2- сопротивление; 3- каверномер 2; 4- результаты GEODIP; 5- наклоны; 6- сопротивление возрастает; 7- кривые; 8- глинистый сланец; 9- уголь; 10- сидерит; 11- алеврит; 12- песок; 13- пористость; 14- данные методов в открытом стволе; 15- вероятность; 16- литологическая колонка; 17- описание)

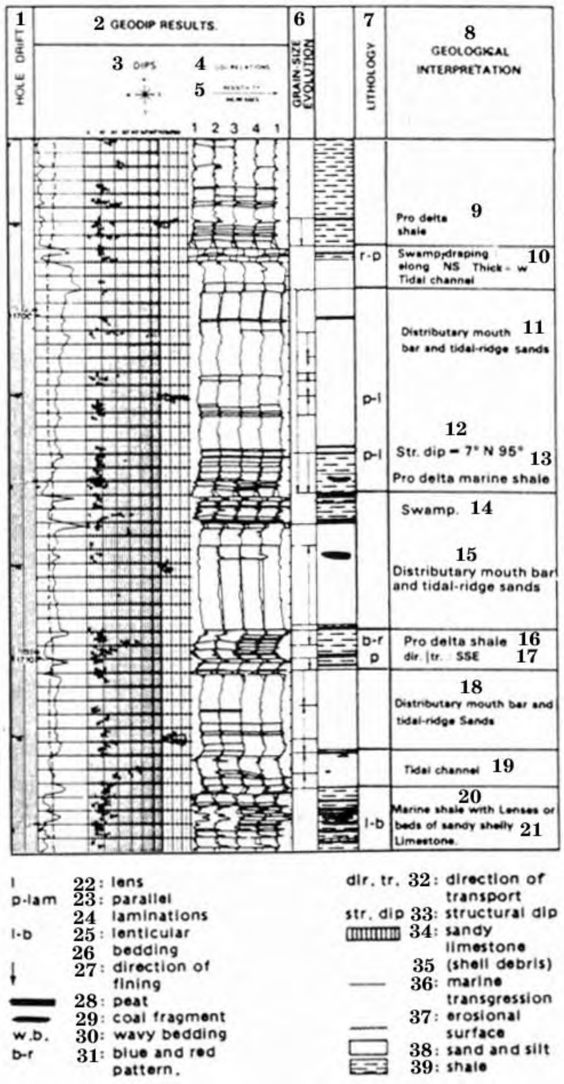



**Рис.6.6-54. Результаты детальной интерпретации GEODIP нижнего интервала на рис.6.6-53 (1720-1690 м) в дельтовых отложениях: формация Jotana, Индия (из Schlumberger, Well Evaluation Conference, Индия, 1986).**

(1- отклонение скважины; 2- результаты GEODIP; 3- наклоны; 4- корреляции; 5- сопротивление возрастает; 6- изменение размера зерен; 7- литология; 8- геологическая интерпретация; 9- глинистый сланец продельты; 10- облекание болота: удлинение в направлении север-юг; мощность = w; приливно-отливный канал стока; 11- пески устьевого бара дельтового рукава и приливного гребня; 12- структурный наклон = 7° север 95°; 13- морской глинистый сланец продельты; 14- болото; 15- пески устьевого бара дельтового рукава и приливного гребня; 16- глинистый сланец продельты; 17- направление транспортировки; 18- пески устьевого бара дельтового рукава и приливного гребня; 19- приливно-отливный канал стока; 20,21- морской глинистый сланец с линзами или пластами песчанистого ракушечного известняка; 22- линзы; 23,24- параллельная тонкая слоистость; 25,26- линзообразная слоистость; 27- направление уменьшения размера зерен; 28- торф; 29- обломки угля; 30- волнистая слоистость; 31- синяя и красная картина; 32- направление транспортировки; 33- структурный наклон; 34- песчанистый известняк; 35- (обломки раковин); 36- морская трансгрессия; 37- эрозионная поверхность; 38- песок и алеврит; 39- глинистый сланец)

# *6.7. ПРИБРЕЖНО-МОРСКАЯ КРЕМНИСТО-ОБЛОМОЧНАЯ ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОНАКОПЛЕНИЯ*

## 6.5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Обстановка, характеризующаяся обломочными отложениями на умеренной глубине воды (10-200 м), или в прибрежной части континента (за исключением дельт), когда преобладающими силами, которые перемещают осадочный материал, являются приливы и отливы, волны, прибрежные течения или штормы. Сюда входят такие отложения как эстуариевые, приливные гряды, приливно-отливные отмели, песчаные волны, песчаные ленты (sand ribbons), литоральные песчаные бары, береговые равнины, барьерные острова, береговые валы, береговые валы пляжа, береговые линии, штормовые отложения («темпеститы» по определению Ager, 1974).

## 6.7.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ФАЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

Вследствие сложностей распознавания всех вышеперечисленных обстановок осадконакопления в древних летописях, далее будут рассмотрены только три обстановки.

### 6.7.2.1. Приливные песчаные гряды

#### ***6.7.2.1.1.*** Определение

Приливные песчаные гряды представляют собой удлиненные песчаные тела, сформированные приливно-отливными течениями.

#### ***6.7.2.1.2.*** Состав

Преобладает обломочный кварц, и песок является зрелым в минералогическом отношении; могут присутствовать скелетные обломки раковин, особенно в качестве остаточного базального конгломерата. Упоминается некоторое количество глауконита и аутигенного полевого шпата. Распространен торф, глиняные окатыши и обломки древесины. Может присутствовать обломочный и аутигенный цемент.

#### ***6.7.2.1.3.*** Текстура

Преобладающей особенностью является хорошо отсортированный песок (рис.6.7-1), с отношением зерна - матрица (grain-matrix ratio) от умеренного до высокого. Распределение размера зерен по грядам относительно однородное. Размер зерен может увеличиваться вверх по разрезу внутри гряды и в региональном масштабе в направлении транспортировки приливно-отливными течениями.

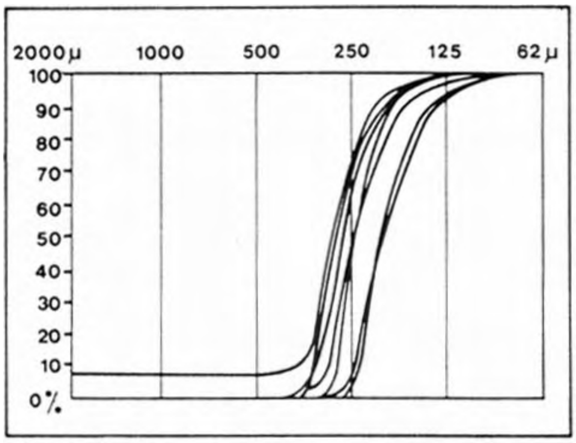



**Рис.6.7-1. Пример кривых распределения размера зерен в приливных песчаных грядах Северного моря (из Houbolt, 1968).**

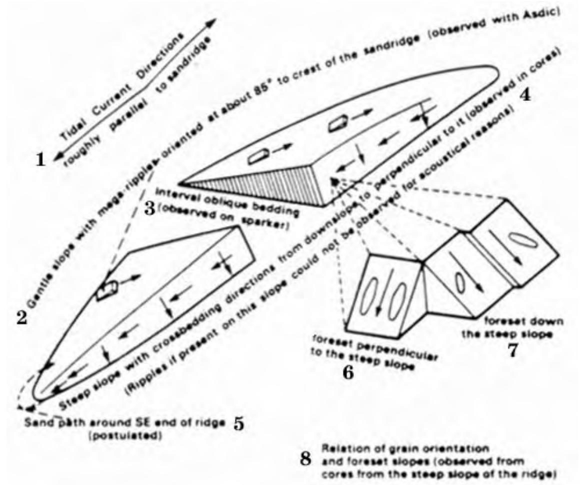



**Рис.6.7-2. Схематическая диаграмма осадочных элементов песчаной гряды в Северном море (из Houbolt, 1968).**

(1- направления приливно-отливных течений приблизительно параллельны песчаной гряде; 2- незначительный склон с крупной рябью, ориентированный под углом приблизительно 85° к гребню гряды (наблюдение выполнялось с помощью гидролокатора); 3- интервал с наклонной слоистостью (наблюдение выполнялось с применением спаркера); 4- крутой склон, где направление косой слоистости изменяется от параллельной склону до перпендикулярной склону (по керновым данным); рябь, если и присутствует, не могла наблюдаться из-за акустических свойств; 5- траектория движения песка вокруг юго-восточной оконечности гряды (принято без доказательств); 6- передовые слои, перпендикулярные крутому склону; 7- передовые слои вниз по крутому склону; 8- соотношение ориентации зерен и наклона передовых слоев (по керновым данным, полученным с крутого склона гряды)

### *6.7.2.1.4.* Структура

Приливные гряды состоят из крупномасштабных передовых слоев. Фланги наклонены под углом естественного откоса (30°), параллельно крутому флангу гряды (рис.6.7-2). Эти наклонные серии обычно покрыты тонкими слоями глины (осаждение ила в период стоячей воды: рис.6.7-3). Мелкие передовые слои (песчаные волны) на пологом склоне гряды перекрывают крупные косые серии. Асимметричная рябь перекрывает косые серии песчаных волн. Распространены следы, следы движения и фитоморфозы. Постоянно наблюдается сильное уменьшение размера зерен и мощности слоев по вертикали.

**Рис.6.7-3. Последовательность, характеризующаяся уменьшением размера зерен вверх по разрезу и ее интерпретация. Эта последовательность включает переслаивание фаций 1 и 2, образующие песчаное тело, формировавшееся в промежуточной обстановке, с преобладанием приливов и отливов (массивный песчаник интервала A), с базальным остаточным конгломератом, постепенно переходящим в отливную песчаную отмель или отливный литоральный песчаный бар (косослоистый песчаник интервала B). Этот песчаник был переработан последующим приливно-отливным потоком (песчаник интервала C) и перекрыт глиной, сформированной в результате осаждения из взвеси ила в период стоячей воды (интервал D), на кровле интервалов A и C. Интервал E состоит из аргиллита и алевролита со структурами, характеризующимися линзообраз-**

**ной слоистостью, приливно-отливной слоистостью и наличием фитоморфоз, отложенных в обстановке высокой приливно-отливной отмели (по Klein, 1970).**


**Рис.6.7-4. Последовательность в фации 1 (см. рис.6.7-3), демонстрирующая переход по вертикали от косослоистого песчаника (интервал B) к песчанику с косой микрослоистостью, с наклонами, ориентированными под углом от 90 до 180° к подстилающим (перекрывающим?) косослоистым отложениям (интервал C) и глиняному покрову (интервал D). Процессы осадконакопления указаны справа (из Klein, 1970).**


### *6.7.2.1.5.* Границы

Резкий эрозионный нижний контакт является правилом. Часто наблюдается постепенный контакт в направлении кровли.

### *6.7.2.1.6.* Последовательности

Вертикальные последовательности с приливной песчаной грядой могут включать (Spearing, 1971): (1) тонкий базальный остаточный конгломерат с высоким содержанием обломков раковин. Он отделяет песок от подстилающих более древних морских глин. (2) крупномасштабные косые серии, сложенные хорошо отсортированным песком. (3) тонкие короткие слои алевритистой глины, облекающие косые серии. (4) уменьшение размера зерен вверх по разрезу. (5) косые серии песчаных волн вблизи кровли, которые перекрываются (6) отложениями, характеризующимися асимметричной слоистостью ряби. Klein (1970) распознает последовательности с резко выраженной подошвой, где размер зерен уменьшается вверх по разрезу, и интерпретирует их как прибрежные фации, формировавшиеся в обстановке с преобладанием приливов. Вверх по разрезу они переходят в фации отливных песчаных отмелей или отливных песчаных баров (рис.6.7-3 и 6.7-4).

### *6.7.2.1.7.* Геометрия тел

Современные приливные песчаные гряды Северного моря (рис.6.7-5) длинные и прямые, высотой до 40 м, длиной 65 км и шириной 5 км. В разрезе гряды асимметричные, с крутым подветренным склоном и пологим наветренным склоном (рис.6.7-2).

Могут существовать другие ассоциированные песчаные тела, которые рассматриваются далее.

*Песчаные волны* намного меньше и ориентированы нормально к направлению приливно-отливных течений. Волны имеют высоту от 1 до 10 м, они асимметричные и расстояние между ними составляет несколько сотен метров.

*Песчаные ленты* представляют собой удлиненные тела, параллельные направлению самого сильного приливно-отливного течения. Они имеют длину до 15 км, ширину 200 м и мощность не более 1 м.

Литоральные песчаные бары представляют собой линейные тела, асимметричные, длиной до 5-6 км, шириной 1 км, высотой от 6 до 10 м. Средний угол крутого склона составляет 8°, а угол пологого склона – 2°. На крутом фасе бара песок тонкозернистый до среднезернистого. Формы ложа – преимущественно рябь течения и дюны. На пологом фасе бара песок среднезернистый до крупнозернистого, а форма ложа – простые и сложные дюны и песчаные волны.

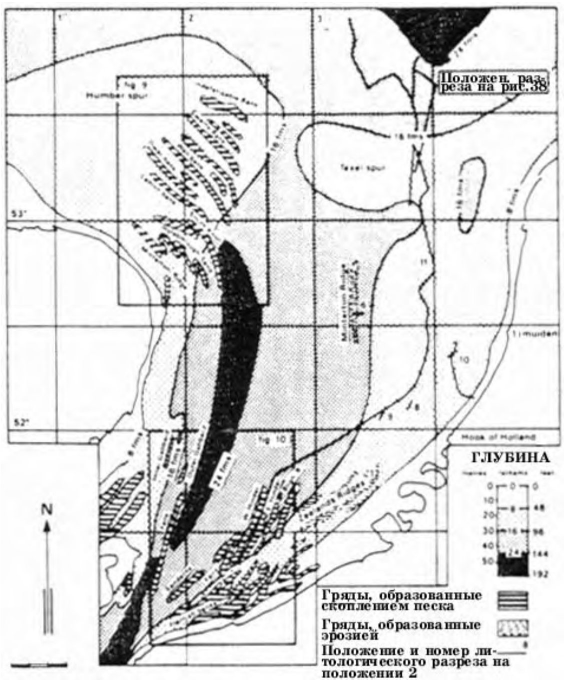



**Рис.6.7-5. Положение приливных песчаных гряд в южной части Северного моря (из Houbolt, 1968).**

### *6.7.2.1.8.* Направленный поток

Длинная ось приливной песчаной гряды приблизительно параллельна направлению приливно-отливного течения (рис.6.7-2).

### *6.7.2.1.9.* Окружающие фации

Приливные песчаные гребни и другие ассоциированные песчаные тела (песчаные волны, песчаные ленты и литоральные пески) могут быть окружены морскими илами, алевритами и илами приливно-отливных отмелей, отложениями барьерного острова, пляжа или аллювиально-эстуариевыми отложениями.

## 6.7.2.2. Обломочные системы береговой линии, барьерного острова и ассоциированные системы

### *6.7.2.2.1.* Определение

Согласно Reinson (1984), «песчаные береговые линии с преобладанием волн во внутридельтовых и не дельтовых прибрежных районах, характеризуются наличием удлиненных отложений песка, параллельных берегу. Они могут возникать как одиночный пляж, примыкающий к материку, более широкая береговая равнина, которая состоит из множества параллельных береговых валов и межваловых понижений пляжа, или как барьерные острова, частично или полностью отделенные от материка лагуной, эстуарием или маршем (рис.6.7-6)».

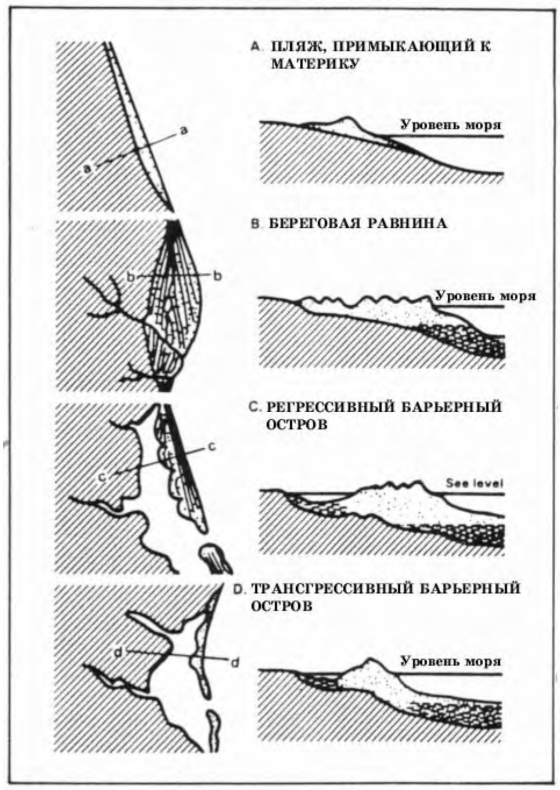



**Рис.6.7-6. Обобщенная диаграмма, иллюстрирующая морфологическое соотношение между пляжами, береговыми равнинами и барьерными островами (из Reinson, 1984).**

При рассмотрении системы барьерного острова, можно выделить три основные геометрические элемента (рис.6.7-7): (1) собственно цепь песчаных барьерных островов; (2) заключенную позади них массу воды (лагуну или эстуарий); (3) каналы, прорезывающие барьер и соединяющие лагуну с открытым морем (приливные протоки). Они соответствуют трем основным подобстановкам осадконакопления: (1) комплекс берегового бара, от приливного до субаэрального; (2) район тылового бара или приливно-литоральная лагуна; (3) комплекс приливно-литоральной дельты и поверхностного водотока (Reinson, 1979). В свою очередь, эти подобстановки осадконакопления могут быть подразделены на несколько зон. Их основные характеристики (состав, текстура, осадочные элементы) приведены в обобщенном виде на рис.6.7-8, и иллюстрированы вертикальными профилями на рис.6.7-9 – 6.7-11.

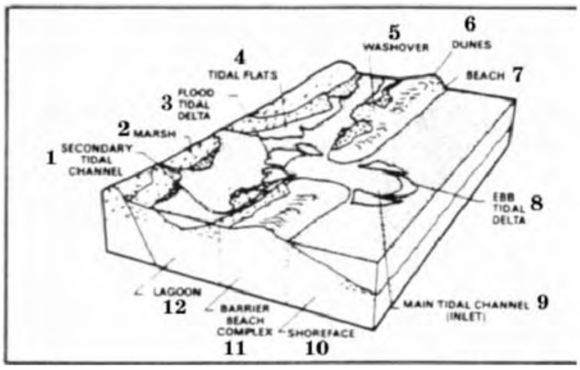



**Рис.6.7-7. Блок-диаграмма, иллюстрирующая различные подобстановки осадконакопления в системе барьерного острова (из Reinson, 1979).**
(1- вторичный приливно-отливный канал стока; 2- марш; 3- приливная дельта; 4- приливно-отливные отмели; 5- намыв; 6- дюны; 7- пляж; 8- отливная дельта; 9- основной приливно-отливный канал стока (поверхностный водоток); 10- предфронтальная зона пляжа; 11- комплекс берегового бара; 12- лагуна)

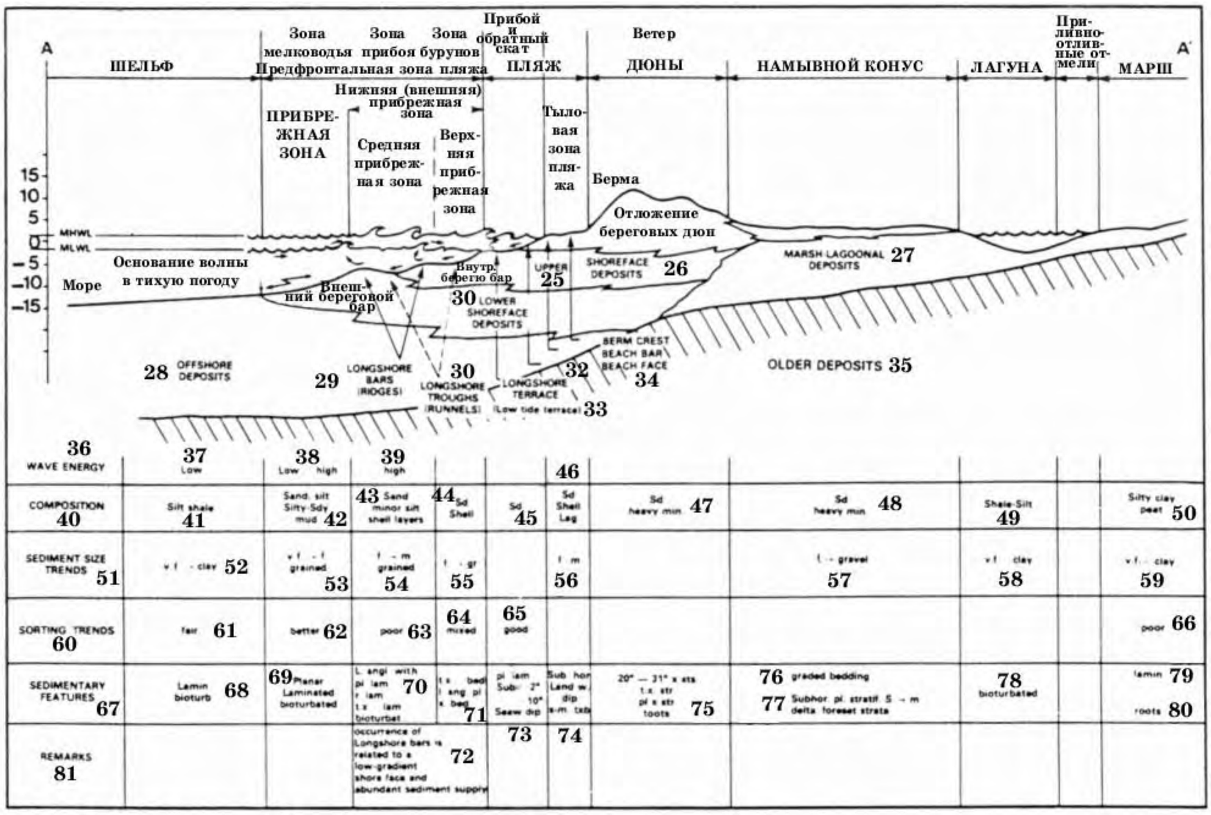



**Рис.6.7-8. Схематический разрез системы барьерного острова с указанием основных характеристик**.
(25- отложения верхней части предфронтальной зоны пляжа; 26- отложения предфронтальной зоны пляжа; 27- маршевые – лагунные отложения; 28- отложения дальней зоны; 29- береговые бары (гряды); 30- отложения верхней части предфронтальной зоны пляжа;31- промоины; 32- береговая терраса; 33- (отливная терраса); 34- гребень бермы пляжный бар фас пляжа; 35- более древние отложения; 36- энергия волн; 37- низкая; 38- низкая – высокая; 39- высокая; 40- состав; 41- сланцеватая алевритистая глина; 42- песок, алеврит, алевритистый-песчанистый ил; 43- песок, второстепенный алеврит, ракушечные слои; 44- песок, раковины; 45- песок; 46- песок, раковины, остаточные отложения; 47,48- песок, тяжелые минералы; 49- глинистый сланец-алеврит; 50- алевритистая глина, торф; 51- тренды размера осадочного материала; 52- очень тонкозернистый→глина; 53- очень тонкозернистый→тонкозернистый; 54- тонкозернистый→среднезернистый; 55- тонкозернистый; 56- тонкозернистый – среднезернистый; 57- тонкозернистый→галька; 58,59- очень тонкозернистый→глина; 60- тренды сортировки; 61- очень хорошая; 62- лучше; 63- плохая; 64- смешанная; 65- хорошая; 66- плохая; 67- особенности отложений; 68- тонкая слоистость, биотурбация; 69- плоскостная тонкая слоистость, биотурбация; 70- пологая с плоскостной тонкой слоистостью, слойчатость ряби, t.x слоистость, биотурбация; 71- t.x слоистость, пологая плоскостная x-образная слоистость; 72- существование береговых баров связывается с низкоградиентной предфронтальной зоной пляжа и обильным поступлением осадочного материала; 73- плоскостная тонкая слоистость, почти параллельная – 2°, 10°, наклон в сторону моря; 74- почти горизонтальные слои, наклон в сторону суши, s-m. tx слоистость; 75- 20°-31° x-образная слоистость, t.x. слоистость, плоскостная x, корни; 76- градационная слоистость; 77- почти горизонтальная плоскостная выраженная слоистость, S→m дельта, передовые слои; 78- биотурбация; 79- тонкая слоистость; 80- корни; 81- замечания)

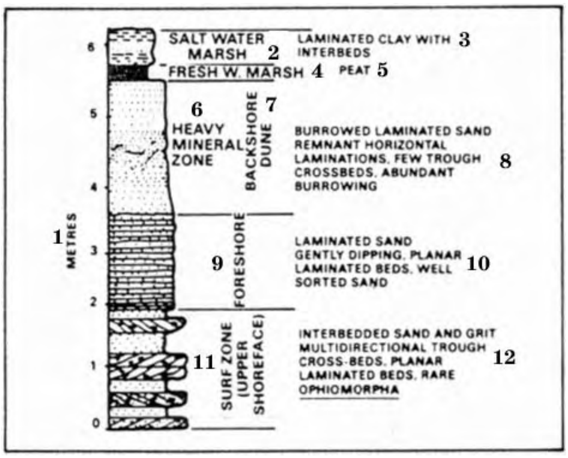



**Рис.6.7-9. Обобщенный вертикальный профиль в системе барьерного острова по результатам наблюдений в верхнетретичных песках Cohansey, Нью-Джерси (модификация по Carter, 1978).**

(1- метры; 2- солоноводный марш; 3- тонкослоистая глина с прослоями; 4- пресноводный марш; 5- торф; 6- зона тяжелых минералов; 7- дюна тыловой зоны пляжа; 8- тонкослоистый песок с фитоморфозами, остаточные горизонтальные тонкие слои, немногочисленные корытообразные косые слои, множество фитоморфоз; 9- приливно-отливная полоса; 10- тонкослоистый песок со слабым наклоном, плоскостные тонкие слои, хорошо отсортированный песок; 11- зона бурунов (верхняя часть предфронтальной зоны пляжа); 12- многонаправленные корытообразные косые слои песка и крупнозернистого песчаника, плоскостные тонкие слои, редкие ophiomorpha)

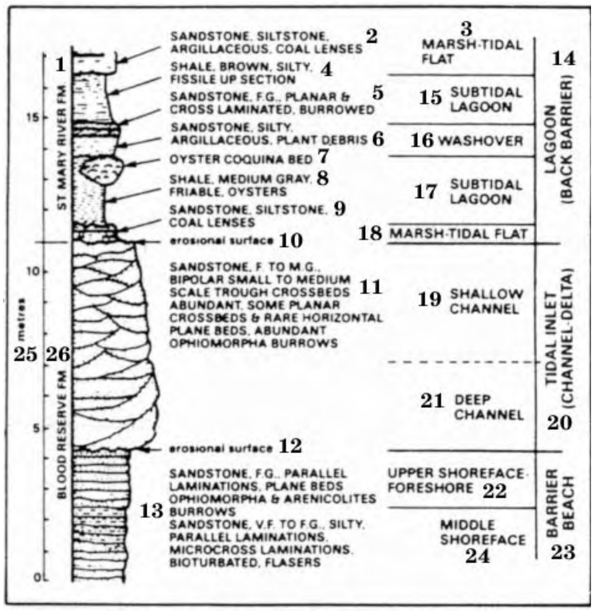



**Рис.6.7-10. Сводный стратиграфический разрез верхнемеловых формаций Blood Reserve – St. Mary River (Альберта), иллюстрирующий отложения берегового вала, приливной протоки и лагуны (из Young и Reinson, 1975).**

(1- формация St. Mary River; 2- глинистый песчаник, алевролит, линзы угля; 3,18- марш – приливно-отливная отмель; 4- глинистый сланец, коричневый, алевритистый, сланцеватый вверх по разрезу; 5- песчаник тонкозернистый, плоско- и косослоистый, с фитоморфозами; 6- песчаник алевритистый, глинистый, обломки растений; 7- слой oyster coquina; 8- глинистый сланец, средне-серый, рассыпчатый, oyster; 9- песчаник, алевролит, линзы угля; 10,12- эрозионная поверхность; 11- песчаник, тонкозернистый до среднезернистого, распространенные корытообразные (в обоих направлениях) косые слои, от мелкомасштабных до среднемасштабных, некоторое количество плоскостных косых слоев и редкие горизонтальные слои, многочисленные фитоморфозы ophiomorpha; 13- песчаник тонкозернистый, параллельные тонкие слои, фитоморфозы ophiomorpha и арениколиты, песчаник, очень тонкозернистый до тонкозернистого, алевритистый, параллельные тонкие слои, косая микрослоистость, биотурбация, прожилки; 14- лагуна (тыловая зона барьера); 15,17- лагуна, близкая к приливной; 16- намыв; 19- мелкое русло; 20- приливная протока (русло-дельта); 21- глубокое русло; 22- верхняя часть предфронтальной зоны пляжа – приливно-отливная полоса; 23- береговой вал; 24- средняя часть предфронтальной зоны пляжа; 25- метры; 26- формация Blood Reserve)

## *6.7.2.2.2.* Последовательности

Общий тренд песков берегового бара – увеличение размера зерен вверх по разрезу. Однако, следуя подобстановкам осадконакопления, удалось описать более мелкие литологические, текстурные и осадочные последовательности. Им посвящено несколько статей, из которых взяты рис.6.7-12 – 6.7-16. Рисунки достаточно наглядные, поэтому нет необходимости в длинных пояснениях.

### 6.7.2.2.3. *Геометрия тел*

Геометрия тел в схематическом виде представлена на блок-диаграмме (рис.6.7-7).

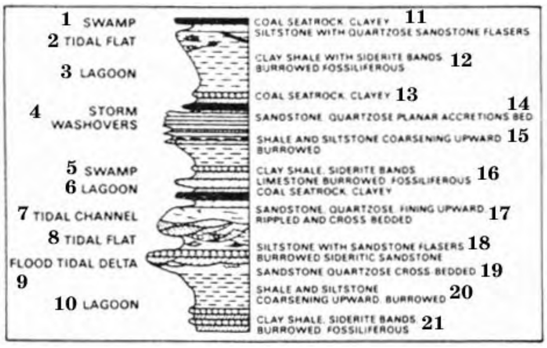



**Рис.6.7-11. Обобщенная лагунная последовательность на примере каменноугольных отложений на востоке Кентукки и на юге Вирджинии (из Horne и Ferm, 1978).**

(1,5- болото; 2,8- приливно-отливная отмель; 3,6,10- лагуна; 4- штормовые намывы; 7- приливно-отливный канал стока; 9- приливная дельта; 11- почва угля. Глинистый алевролит с прожилками кварцевого песчаника; 12- глинистый сланец с прослоями сидерита, с окаменелостями и фитоморфозами; 13- глинистая почва угля; 14- песчаник кварцевый с плоскостным наращиванием пласта; 15- глинистый сланец и алевролит, характеризующиеся увеличением размера зерен вверх по разрезу, с фитоморфозами; 16- глинистый сланец с прослоями сидерита, известняк с фитоморфозами, глинистая почва угля с окаменелостями; 17- песчаник кварцевый, характеризующийся уменьшением размера зерен вверх по разрезу, со знаками ряби, косослоистый; 18- алевролит с прожилками песчаника, сидеритовый песчаник с фитоморфозами; 19- косослоистый кварцевый песчаник; 20- глинистый сланец и алевролит, характеризующиеся увеличением размера зерен вверх по разрезу, с фитоморфозами; 21- глинистый сланец с прослоями сидерита, с окаменелостями и фитоморфозами)

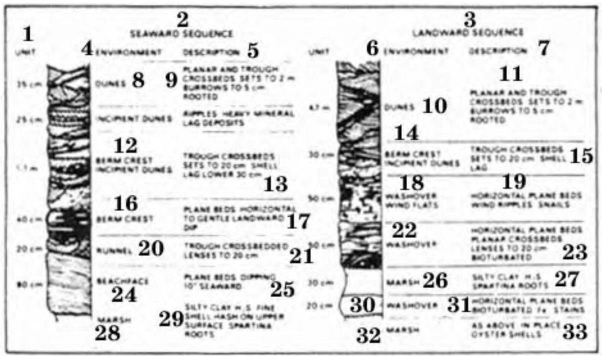


**Рис.6.7-12. Литологические последовательности, наблюденные на краях берегового вала Kiawah Island (Южная Каролина), обращенных в сторону суши и в сторону моря (из Barwis, 1978).**

(1- единица; 2- последовательность в направлении моря; 3- последовательность в направлении суши; 4,6- обстановка осадконакопления; 5,7- описание; 8,10- дюны; 9,11- серии плоскостных и корытообразный косых слоев до 2 м, фитоморфозы до 5 см, корни; 12,14- гребень бермы, зарождающиеся дюны; 13- серии корытообразных косых слоев до 20 см, остаточный ракушняк менее 30 см; 15- серии корытообразных косых слоев до 20 см, остаточный ракушняк; 16- гребень бермы; 17- плоские слои, от горизонтальных до слегка наклоненных в сторону моря; 18- ветровые плоскотины намывов; 19- горизонтальные плоские слои, ветровая рябь, улитки; 20- промоина; 21- корытообразные косослоистые линзы до 20 см; 22- намывы; 23- горизонтальные плоские слои, плоскостные косые слои, линзы до 20 см с фитоморфозами; 24- фас пляжа; 25- плоские слои, наклоненные в сторону моря под углом 20°; 26- марш; 27- глинистый сланец, $H_2S$, корни spartina; 28,32- марш; 29- глинистый сланец, $H_2S$, тонкое ракушечное месиво на верхней поверхности, корни spartina; 30- намыв; 31- горизонтальные плоские слои с фитоморфозами, пятна железа; 33- то же, что выше, раковины устриц)

**Рис.6.7-13. последовательности осадочных структур, текстур и литологии в керне, извлеченном из Galveston Island (из Davies и др., 1971).**

(1- средний размер зерен кварца; 2- поверхность; 3- керн; 4- нижняя часть предфронтальной зоны пляжа; 5- средняя часть предфронтальной зоны пляжа; 6- верхняя часть предфронтальной зоны пляжа–пляж; 7- эоловые отложения; 8- описание; 9- 0-5‘ тонкозернистый песок, с корытообразной косой слоистостью; корни; более древние участки не имеют структуры и содержат множество корней; 10- 0-12‘ тонкозернистый песок с плоскостной пологой косой слоистостью; второстепенная косая микрослоистость; 11-

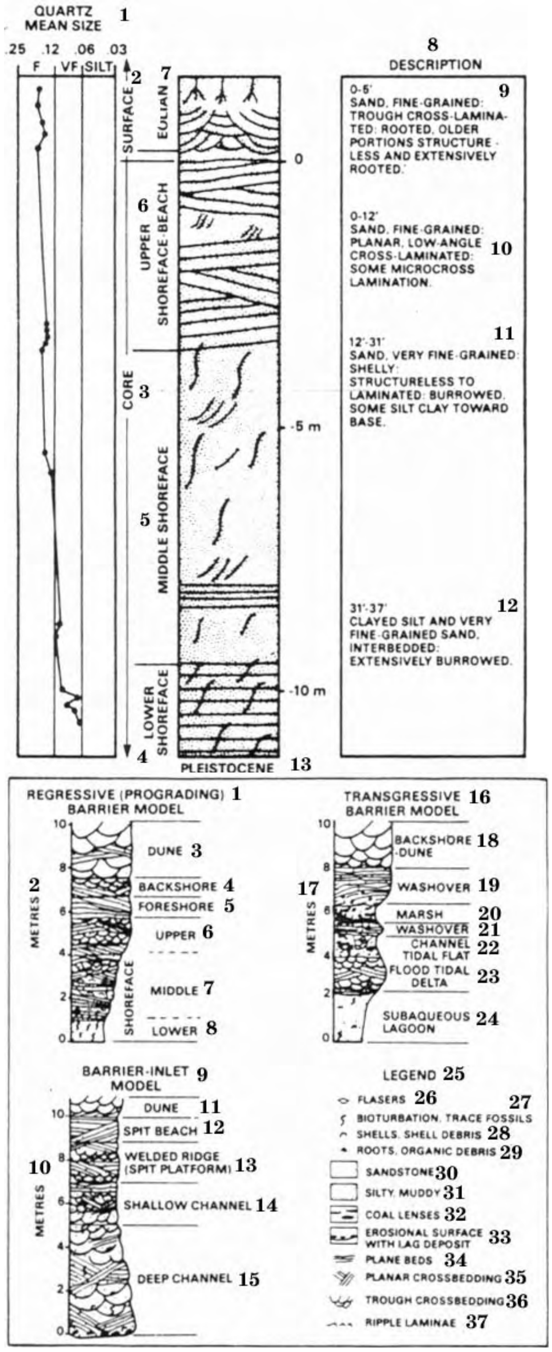



**Рис.6.7-14. Три фациальные «конечно-элементные» модели стратиграфических последовательностей барьерного острова (из Reinson, 1979).**

(1- модель регрессивного (проградирующего) барьера; 2,10,17- метры; 3,11- дюна; 4- тыловая зона пляжа; 5- приливно-отливная полоса; 6- верхняя часть предфронтальной зоны пляжа; 7- средняя часть предфронтальной зоны пляжа; 8- нижняя часть предфронтальной зоны пляжа; 9- модель барьера - приливной протоки; 12- намывная коса; 13- спаянная гряда (намывная платформа); 14- мелкое русло; 15- глубокое русло; 16- модель трансгрессивного барьера; 17- тыловая зона пляжа - дюна; 19- намыв; 20- марш; 21- намыв; 22- русло, приливно-отливная отмель; 23- приливная дельта; 24- субаквальная лагуна; 25- легенда; 26- прожилки; 27- биотурбация, следы окаменелостей; 28- раковины, обломки раковин; 29- корни, обломки органики;

12‘-31‘ песок, очень тонкозернистый, ракушечный; от бесструктурного до тонкослоистого; фитоморфозы; некоторое количество алевритистой глины в сторону подошвы; 12- 31‘-37‘ глинистый алеврит и очень тонкозернистый песок, переслаивающийся, с многочисленными фитоморфозами; 13- плейстоцен)

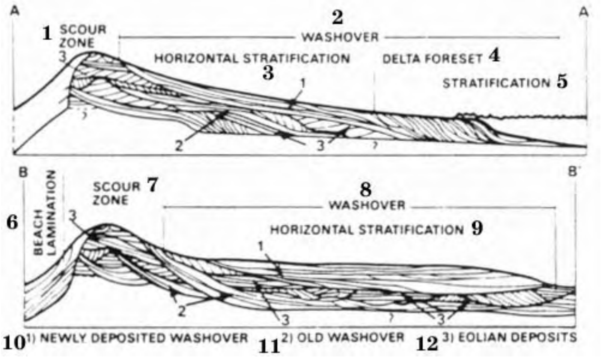



**Рис.6.7-15. Две последовательности осадочных структур намывных конусов (из Schwartz, 1973).**

(1,7- зона размыва; 2,8- намыв; 3,9- горизонтальная выраженная слоистость; 4- передовые дельтовые слои; 5- выраженная слоистость; 6- тонкая слоистость пляжа; 10- 1) вновь отложившийся намыв; 11- 2) старый намыв; 12- 3) эоловые отложения)

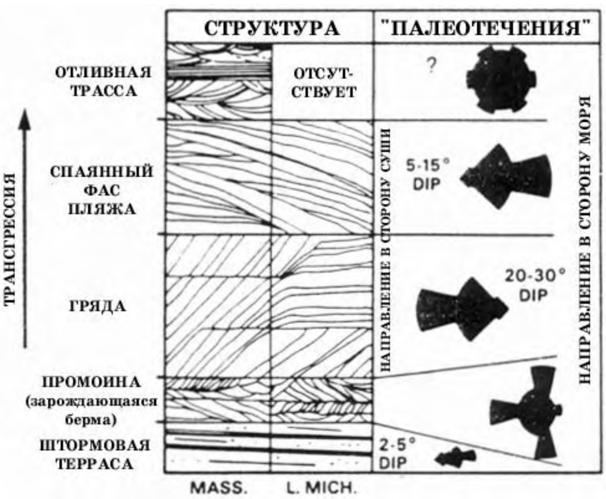



**Рис.6.7-16. Трансгрессивная последовательность, образованная в результате миграции гряды и промоины в сторону суши на протяжении фазы построения пляжа. Мощность вертикальной последовательности – около 1 м (из Davis *и др.*, 1972).**

30- песчаник; 31- песчаник алевритистый, илистый; 32- линзы угля; 33- эрозионная поверхность с остаточными отложениями; 34- плоские слои; 35- плоскостная косая слоистость; 36- корытообразная косая слоистость; 37- слойчатость ряби)

## 6.7.2.3. Линейные подводные песчаные бары

### ***6.7.2.3.1.*** Определение

Линейные подводные песчаные бары соответствуют изолированной удлиненной песчаной гряде в прибрежно-морской обстановке (т.е. в обстановке, близкой к приливной). Они располагаются на некотором расстоянии от береговой линии и простираются, в общем случае, параллельно ей, и образованы в основном приливно-отливными, океаническими, штормовыми течениями, или течениями, сформированными волнами (рис.6.7-17).

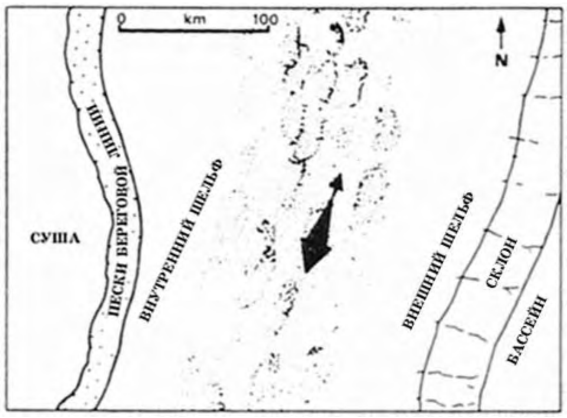



**Рис.6.7-17. Гипотетическая палеогеографическая реконструкция, показывающая песчаные островки (sand patches), которые мигрируют на юг юго-запад параллельно береговой лини (из Spearing, 1976).**

### ***6.7.2.3.2.*** Состав

Песчаные отложения в этой обстановке осадконакопления сложены кварцем, обломками раковин, глауконитом, шамозитом (силикатом железа), ассоциированным с оолитами лимонита (или гематита) или сидеритом, и фосфатами.

### ***6.7.2.3.3.*** Текстура

Отложения являются зрелыми в текстурном отношении вследствие продолжительной транспортировки с отсеиванием тонкозернистых фракций. Следовательно, пески хорошо отсортированы.

### ***6.7.2.3.4.*** Структура

По осадочным структурам редко можно судить об обстановке осадконакопления. Описана линзообразная, волнистая и полосчатая слоистость, косая тонкая слойчатость, косая и горизонтальная слоистость. Биотурбация носит второстепенный характер.

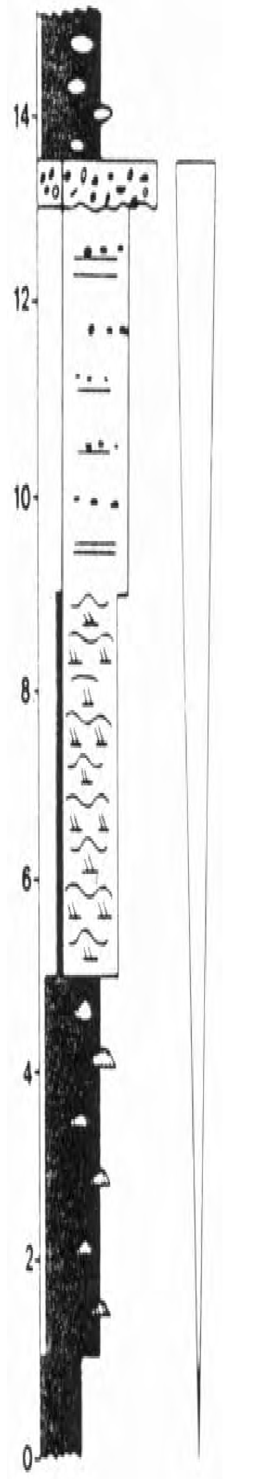
### *6.7.2.3.5.* Границы

Последовательность имеет резкий нижний контакт.

### *6.7.2.3.6.* Последовательность

Последовательность в целом характеризуется увеличением размера зерен вверх по разрезу (рис.6.7-18). Она сложена подвергшимися биотурбации аргиллитом и алевритистым песчаником (в подошве), которые перекрываются тонкозернистым песчаником с тонкой слойчатостью ряби. В свою очередь, этот песчаник перекрывается среднезернистым песчаником с крупномасштабной фестончатой косой слоистостью. Биокластические единицы образуют тонкие покровные единицы с эрозионными подошвами.

| | Единицы Berg, 1975 | Мощность, м | Описание | Интерпретация фаций | Интерпретация последовательности |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 1.5-2.5 | Подвергшиеся биотурбации илы с переработанным песком и гранулами. Горизонтальная слоистость. | Шельфовые илы со слоями песка, отложенными штормами. | Внезапное прекращение активной транспортировки песка. Шельфовые илы облекают линейные песчаные бары. |
| | 2 | 0.30-1.0 | Галечниковый песчаник (галька кремниевая и аргиллитовая). Кремниевая галька сконцентрирована в верхнем слое. | Пески, переработанные волнами. Связаны с волновыми процессами, сосредоточенными на гребне вала. | Постепенное возрастание волновой активности и активности течений в качестве реакции на проградирующее линейное приливное (?) песчаное тело. Удлиненная |
| | 3 | 1.5-5.5 | Косослоистый и горизонтально-слоистый песчаник. Косослоистые серии мощностью 5-20 см. Многочисленные чешуйки ила и иловые покровы, носящие случайный характер. Редкие косослоистые пески. | Миграция дюн на юго-восток (?) в качестве реакции на приливно-отливные течения, возможно, усиленные штормами. Распространена постседиментационная эрозия ила. Пески, отложенные на верхних флангах бара. | |




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 4 | 1.8-5.0 | Косослоистый тонкозернистый песчаник с многочисленными иловыми покровами Редкие чешуйки ила и косослоистые серии. Второстепенная биотурбация. | Отложение рябью течения в качестве реакции на приливно-отливные (?) течения. Течения с изменяющейся силой. Распространен тонкозернистый взвешенный осадочный материал. Осадконакопление на нижних флангах вала и во впадинах. | геометрия нескольких песчаных тел, параллельных береговой линии и пути транспортировки под действием течения предполагает, что они могут представлять линейные приливные (?) песчаные гряды, которые сформировали возвышенности. Последовательность, характеризующаяся увеличением размера зерен вверх по разрезу, отражает проградацию и преимущественную переработку флангов и гребня вала. |
| | 5 | 0.9-4.0 | Илы с линзами песчаника со знаками ряби и прослои песчаника мощностью 1-5 см. Второстепенная биотурбация. | Отложение из взвеси илов, чередующееся с периодическими притоками песка (дальние штормовые слои?). Отложение песчаных баров вниз по течению. | |
| | | | Массивные морские илы с незначительной биотурбацией. | Шельфовые илы. | |

**Рис.6.7-18. Описание и интерпретация верхнемелового песчаника Sussex, Вайоминг (из Berg, 1975).**

### ***6.7.2.3.7.*** Геометрия тела

Песчаниковые тела удлиненные, мощностью от 3 до 30 м, шириной от 4 до 60 км и длиной до 160 км, имеют плоскостные подошвы и выпуклые кверху кровли.

### ***6.7.2.3.8.*** Направление транспортировки течением

В общем случае, течение однонаправленное и параллельное гребню вала.

#### *6.7.2.3.9.* Окружающие фации

Линейные песчаные валы окружены морскими илами или испытывают языковидное выклинивание в них.

### 6.7.2.4. Характеристики коллектора

В общем случае, песчаные тела обладают хорошими коллекторскими свойствами, но их объем ограничен.

## 6.7.3. КАРОТАЖНЫЕ СИГНАЛЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Не всегда просто различить кремнисто-обломочные и дельтовые условия осадконакопления. Следовательно, только некоторые из вышеописанных отложений будут проиллюстрированы примерами сводных диаграмм ГИС и результатами наклонометрии.

Первый пример – формация Muddy, группа Granerous, бассейн реки Powder, Вайоминг. Эта информация иногда и где-либо еще (месторождение Bell Creek, Монтана) описывается как типичный древний барьерный остров (Davies и др., 1971). Сводная диаграмма (включая ГК, нейтронный и плотностной каротаж) в одной скважине, местоположение которой не указывается, представлена на рис.6.7-19b. По форме традиционных кривых, полученных в открытом стволе, можно сделать вывод об увеличении размера зерен вверх по разрезу, которое сменяется уменьшением размера зерен. Если посмотреть на детальную векторную диаграмму LOCDIP, которая получена по данным SHDT (рис.6.7-20b), можно четко видеть несколько резких нижних контактов, сопровождаемых последовательностями, характеризующимися уменьшением размера зерен вверх по разрезу. Интерпретация данных наклономера была выполнена, исходя из предположения о барьерном острове. Но некоторые из наблюдений, которые можно сделать на данных наклономера (резкие нижние контакты, последовательности, характеризующиеся уменьшением размера зерен вверх по разрезу, тонкие покровы, сложенные глинистым сланцем), не полностью согласуются с общим постоянным трендом увеличения размера зерен вверх по разрезу, описанным в барьерном острове. Следовательно, может быть предложена другая интерпретация, основанная на гипотезе о приливной песчаной гряде (Klein, 1970; сравните с рис.6.7-3).

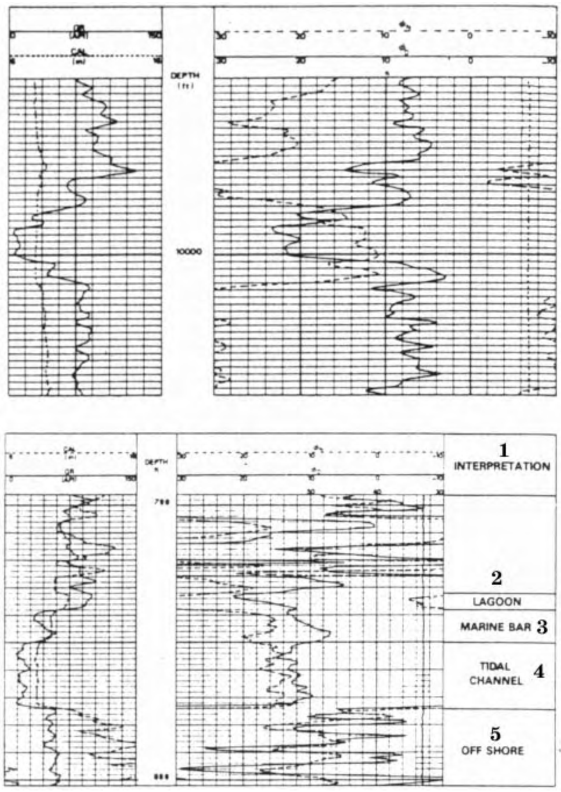



**Рис.6.7-19. Две сводные диаграммы по формации Muddy, бассейн реки Powder**.
(1- интерпретация; 2- лагуна; 3- морской бар; 4- приливно-отливный канал стока; 5- дальняя зона)

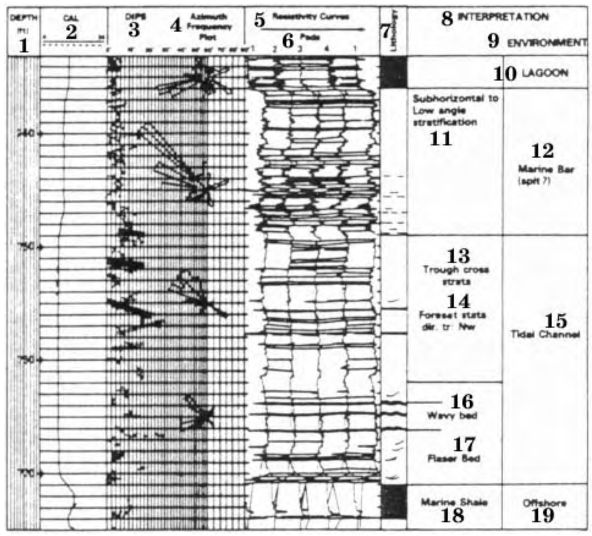



**Рис.6.7-20а. Векторная диаграмма GEODIP формации Muddy в скважине, представленной сводной диаграммой на рис.6.7-19а, и ее интерпретация в терминах фаций и обстановки осадконакопления.**
(1- глубина (футов); 2- каверномер; 3- наклоны; 4- частотная диаграмма азимутов; 5- кривые сопротивления; 6- прижимные башмаки; 7- литология; 8- интерпретация; 9- обстановка осадконакопления; 10- лагуна; 11- слоистость почти горизонтальная до пологой; 12- морской бар (намывная коса?); 13- корытообразные косые слои; 14- передовые слои; направление транспортировки: северо-запад; 15- приливно-отливный канал стока; 16- волнистая слоистость; 17- полосчатая слоистость; 18- морской глинистый сланец; 19- дальняя зона)

Второй пример – песчаник Shannon на месторождении Hartzog Draw, бассейн реки Powder, Вайоминг. Сводная диаграмма (ПС, ГК, нейтронный, плотностной, акустический каротаж, DIL-SFL и векторная диаграмма GEODIP) представлена на рис.6.7-21 вместе с описанием керна и результатами интерпретации в терминах фаций и подобстановок осадконакопления. Как и ожидалось для линейного подводного песчаного бара, наблюдается общее увеличение размера зерен вверх по разрезу. Небольшие максимумы $\varnothing_D$ (9387, 9395 футов) соответствуют уровням с повышенным содержанием сидерита и глауконита, что подтверждается результатами анализа керна. Анализ векторной диаграммы GEODIP (вариант low sand character) в увеличенном масштабе (рис.6.7-22 – 6.7-24) позволяет сделать наблюдения более детальными. Нижний интервал (9443-9412.5 футов) на кривых сопротивления HDT выглядит очень тонкослоистым (множество очень малых событий), при среднем уровне сопротивления. Это формирует множество наклонов с рассеянными азимутами (посмотрите на частотную диаграмму азимутов), с незначительными отклонениями ПС и умеренной радиоактивностью. В некоторых местах можно наблюдать хаотический вид кривой. Все эти наблюдения предполагают очень тонкослоистый интервал, иногда подвергшийся биотурбации, с мелкими линзами (некоррелированные события, видимые только на одной или двух кривых), с относительно высоким процентным содержанием глины. Следовательно, можно сделать вывод о многочисленных переслаиваниях тонких слоев алеврита или песка (которым соответствует повышенное сопротивление) в глинистом сланце. Это подтверждается фотографиями керна (рис.6.7-22). Следующий интервал (9413-9400 футов) характеризуется повышенным сопротивлением, более заметным отклонением кривой ПС (пониженное содержание глинистого сланца), и несколько меньшей радиоактивностью. На кривых сопротивления наклономера, омические пласты характеризуются большей мощностью и выдержанностью, с очень тонкими проводимыми уровнями (прослойки глинистого сланца), которые, будучи коррелированными, образуют наклоны различной величины (от 0 до 14°) и с рассеянными азимутами. Это позволяет сделать вывод о волнистой слоистости и иногда о полосчатой слоистости, если события видны не на всех кривых (рис.6.7-23). Синие и красные картины могут соответствовать передовым слоям или врезанию и заполнению. Перекрывающий интервал (9400-9372 футов) характеризуется наличием более мощных омических слоев, где уровни проводимости встречаются реже, сильным отклонением кривой ПС и пониженной радиоактивностью (рис.6.7-24). Верхний интервал обладает повышенным сопротивлением вследствие цементации, и перекрывается тонкими уровнями, сопротивление которых постепенно уменьшается. Наклоны предполагают облекание предыдущих отложений (бара).

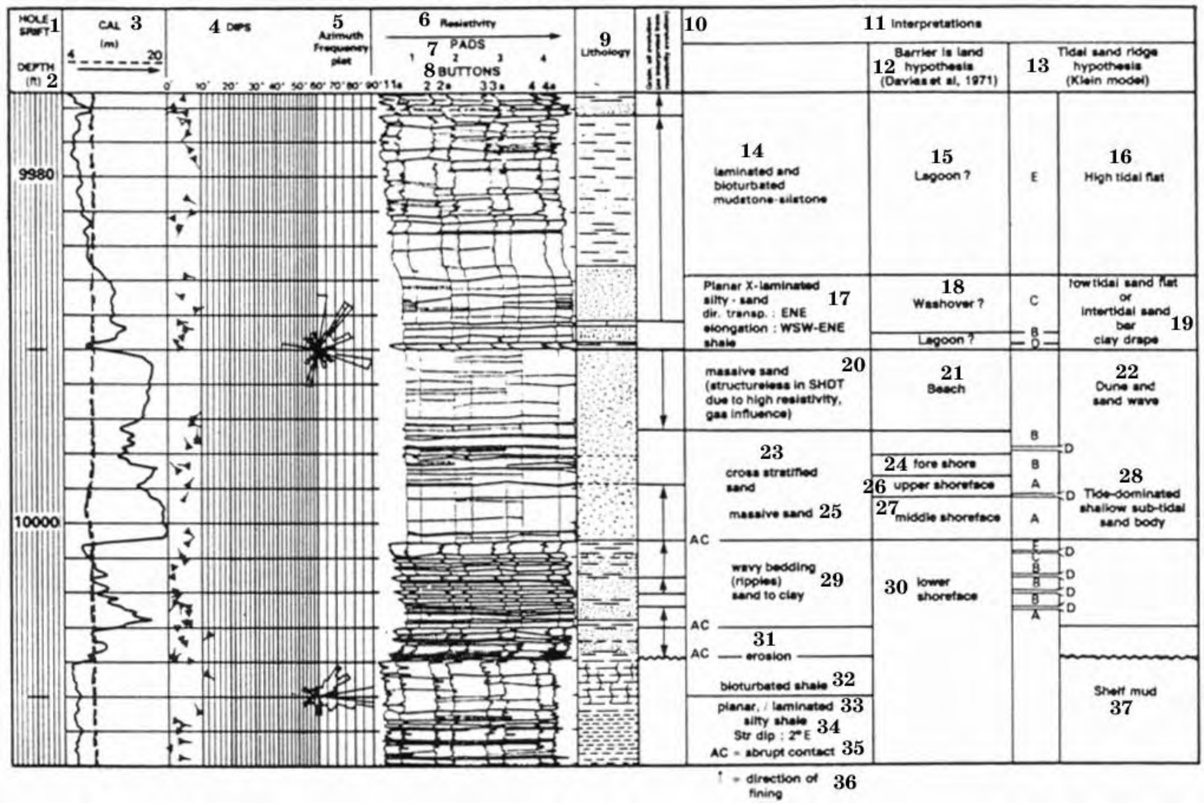



**Рис.6.7-20b. Векторная диаграмма GEODIP формации Muddy в скважине, представленной сводной диаграммой на рис.6.7-19b, и ее интерпретация в терминах фаций и обстановки осадконакопления.** (1- отклонение скважины; 2- глубина (футов); 3- каверномер (в метрах); 4- наклоны; 5- частотная диаграмма азимутов; 6- сопротивление; 7- прижимные башмаки; 8- дисковые электроды; 9- литология; 10- эволюция размера зерен (по результатам интерпретации эволюции сопротивления); 11- Интерпретация; 12- барьер – основная гипотеза (Davies и др., 1971); 13- гипотеза о приливном песчаном вале (модель Klein); 14- тонкослоистый и подвергшийся биотурбации аргиллит-алевролит; 15- лагуна; 16- приливная отмель; 17- алевритистый песок с плоскостной Х-слоистостью, направление транспортировки: восток северо-восток, удлинение: запад юго-запад – восток северо-восток, глинистый сланец; 18- намыв; 19- отливная песчаная отмель или литоральный песчаный бар, глиняный покров; 20- массивный песок, бесструктурный по данным SHDT вследствие высокого сопротивления, влияния газа); 21- пляж; 22- дюна и песчаная волна; 23- косослоистый песок; 24- приливно-отливная полоса; 25- массивный песок; 26- верхняя часть предфронтальной зоны пляжа; 27- средняя часть предфронтальной зоны пляжа; 28- прибрежное песчаное тело, формировавшееся в обстановке с преобладанием приливов; 29- отложения от песка до глины с волнистой слоистостью (рябью); 30- нижняя часть предфронтальной зоны пляжа; 31- эрозия; 32- глинистый сланец, подвергшийся биотурбации; 33- глинистый сланец с плоскостной тонкой слоистостью; 34- структурный наклон: 2° восток; 35- AC = резкий контакт; 36- ↑ направление уменьшения размера зерен; 37- шельфовый ил)

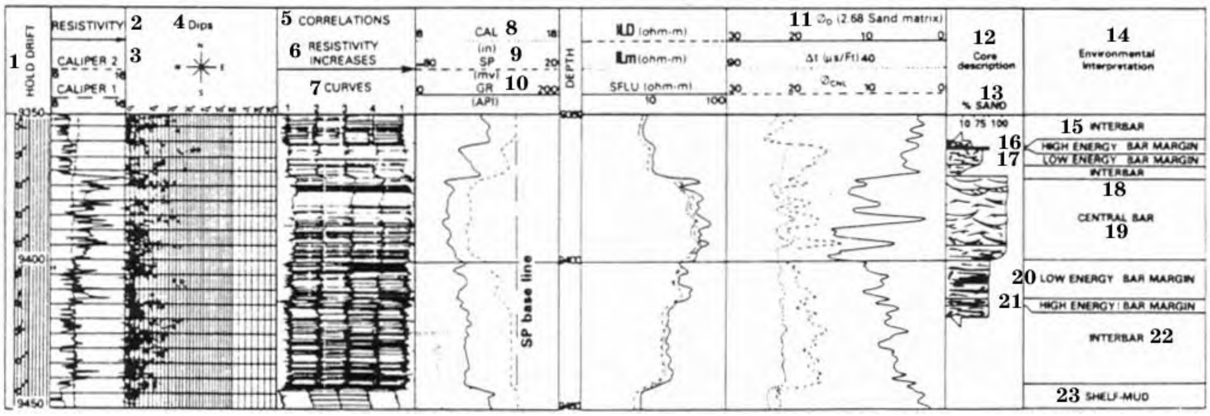



**Рис.6.7-21. Сводная диаграмма песчаника Shannon на месторождении Hartzog Draw**.

(1- отклонение скважины; 2- сопротивление; 3- каверномер 2; 4- наклоны; 5- корреляции; 6- сопротивление возрастает; 7- кривые; 8- каверномер (в дюймах); 9- ПС (мВ); 10- ГК (ед. API); 11- песчаная матрица; 12- описание керна; 13- песок; 14- интерпретация обстановки осадконакопления; 15,18,22- межваловая область; 16,21- высокая энергия, край вала; 17,20- низкая энергия, край вала; 19- центральный вал; 23- шельфовый ил)

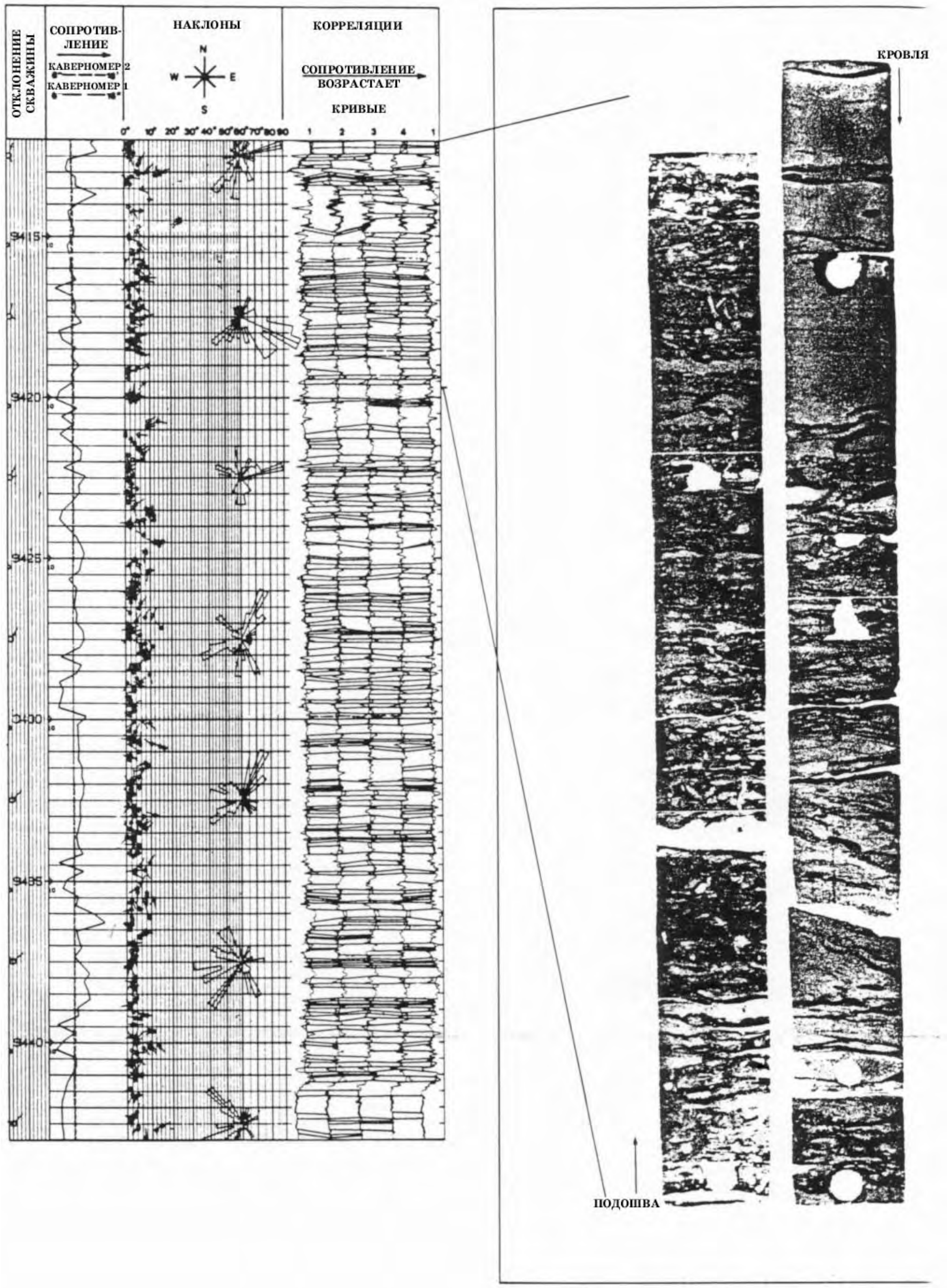



**Рис.6.7-22. Векторная диаграмма GEODIP (с вариантом low sand character) в нижнем интервале, и сопоставление с фотографией керна в этом же интервале.**

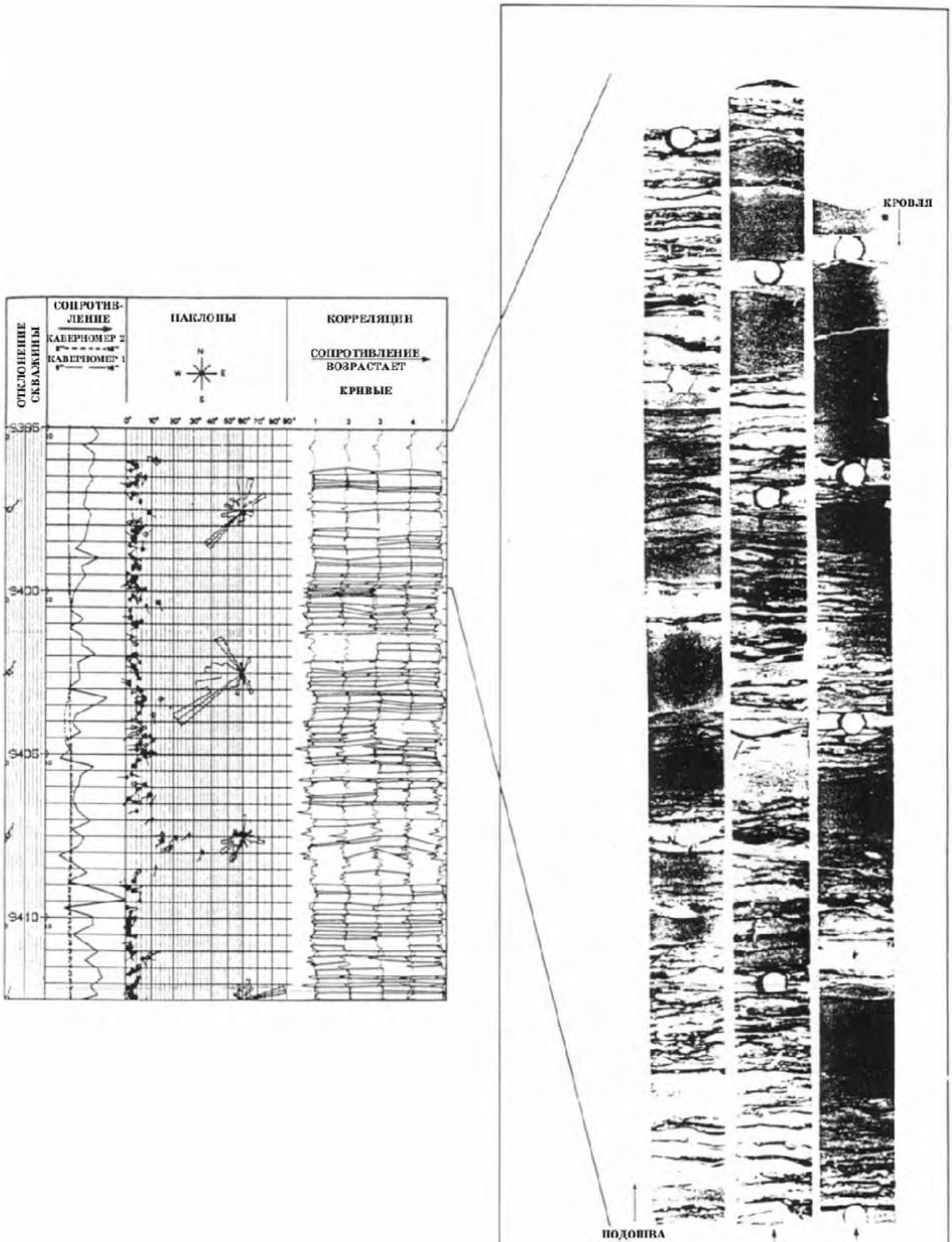



**Рис.6.7-23. Векторная диаграмма GEODIP (с вариантом low sand character) в среднем интервале, и сопоставление с фотографией керна в этом же интервале.**

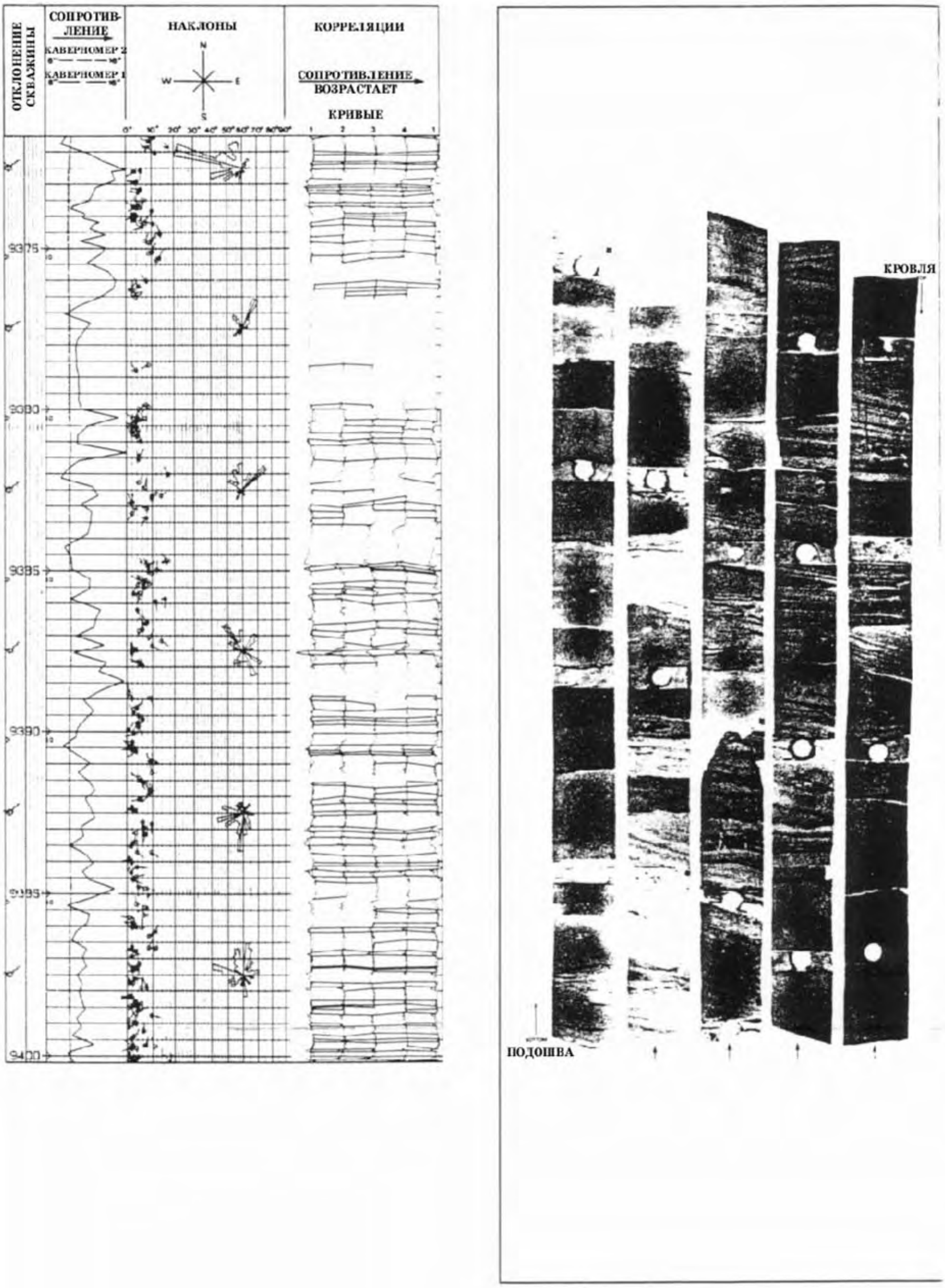



**Рис.6.7-24. Векторная диаграмма GEODIP (с вариантом low sand character) в верхнем интервале, и сопоставление с фотографией керна в этом же интервале.**

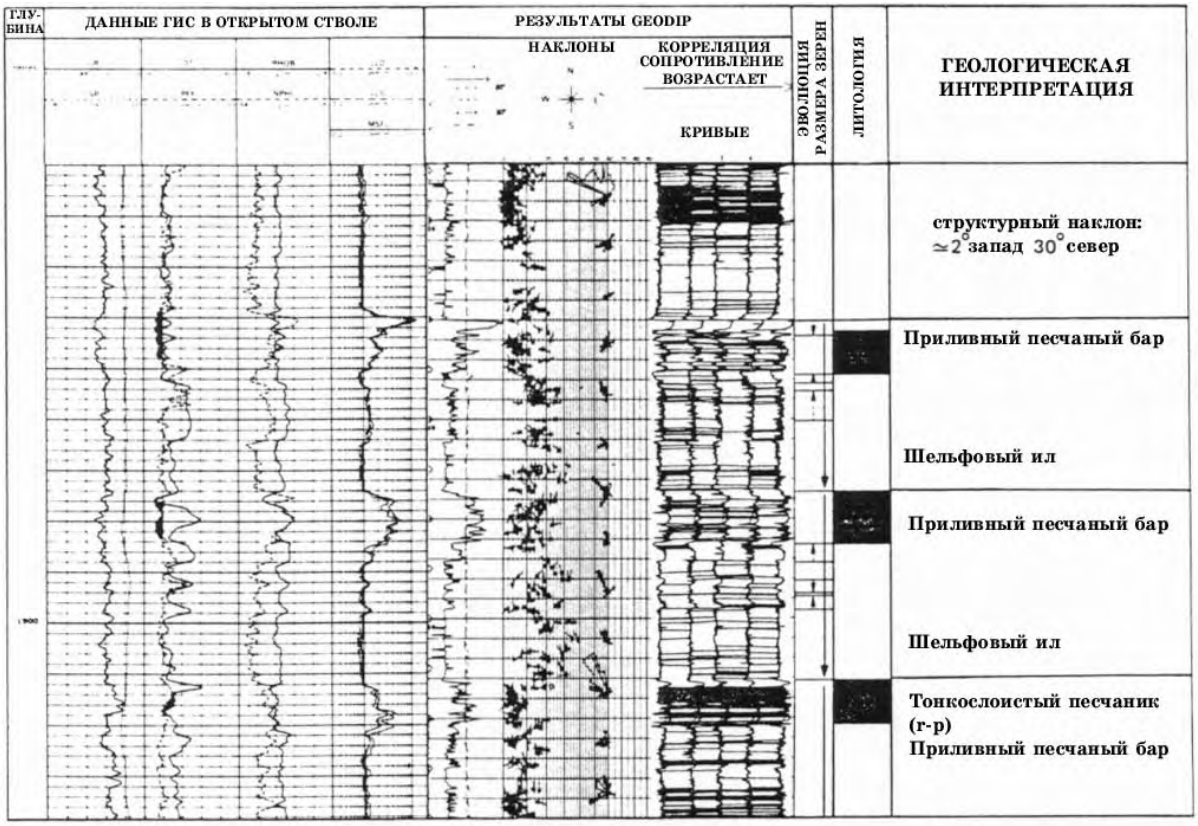



**Рис.6.7-25. Сводная диаграмма трех подводных песчаных баров в бассейне Godavari, Индия, и ее интерпретация (из Schlumberger, Well evaluation Conference, Индия, 1983).**

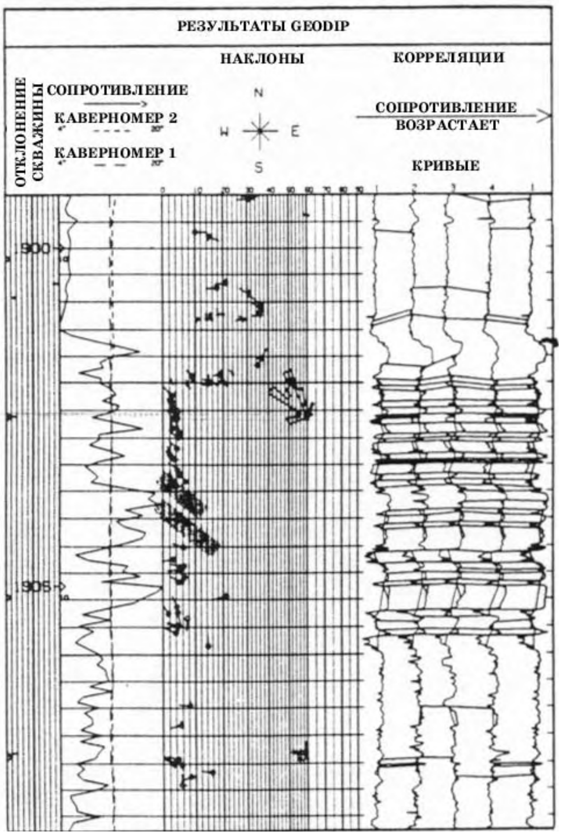



**Рис.6.7-26. Векторная диаграмма GEODIP нижнего песка в увеличенном масштабе (из Schlumberger, Well evaluation Conference, Индия, 1983).**

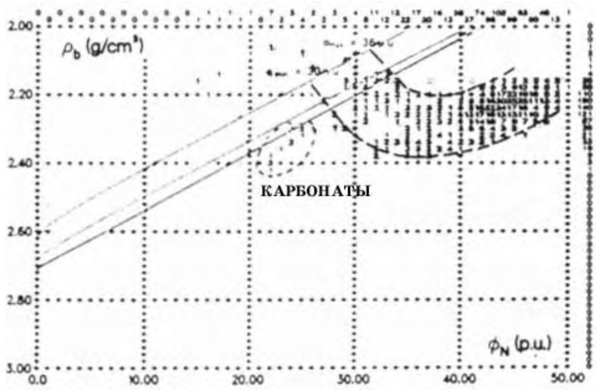



**Рис.6.7-27. График взаимной зависимости ρb и øN, показывающая тренд глинистого сланца-алеврита-песка (форма бумеранга) и песчаники с высоким содержанием обломков раковин (из Schlumberger, Well evaluation Conference, Индия, 1983).**

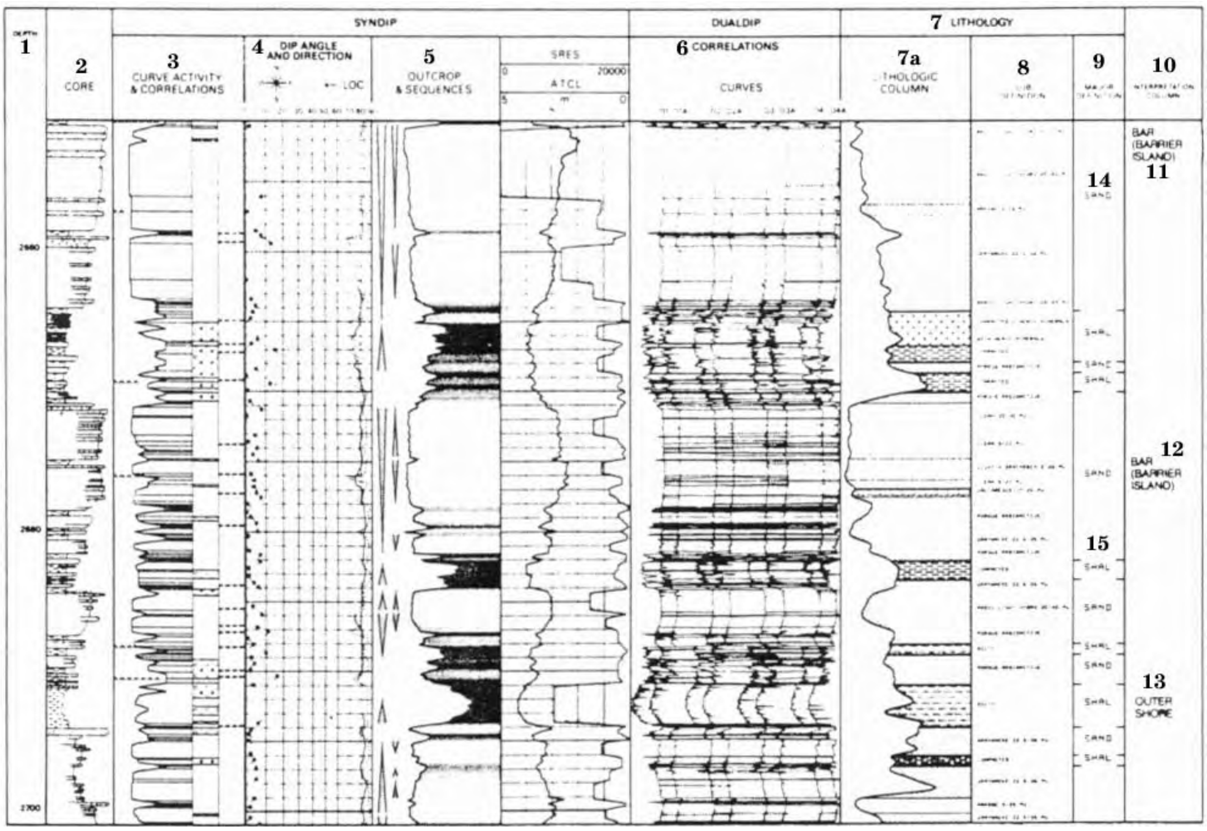



**Рис.6.7-28. Интерпретация изученных последовательностей по результатам LITHO, LOCDIP, SYNDIP (из Schlumberger, Well evaluation Conference, Индия, 1983).**
(1- глубина; 2- керн; 3- активность кривой и корреляции; 4- угол и направление падения; 5- обнажение и последовательности; 6- корреляции; 7- литология; 7а- литологическая колонка; 8- подопределение; 9- основное определение; 10- колонка результатов интерпретации; 11,12- бар (барьерный остров); 13- внешний берег; 14- песок; 15- глинистый сланец)

Другой пример получен из бассейна Godavari (Индия), и представлен сводной диаграммой на рис.6.7-25 (GR-LDT-CNL-BHC-DLL-MSFL-SP в масштабе 1/200), и увеличенной векторной диаграммой GEODIP нижнего интервала (рис.6.7-26). Эволюция данных ГИС предполагает три последовательности, характеризующиеся увеличением размера зерен вверх по разрезу, от глинистого сланца до песка, как интерпретировано по графику взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$ (рис.6.7-27).Мощность каждой последовательности – приблизительно от 17 до 18 м. Присутствуют немногочисленные тонкие слои известняка, что подтверждается значениями Pe. Они могут соответствовать песчаникам с очень высоким содержанием обломков раковин. Кровля двух верхних песчаных тел является газоносной. Как показывают результаты интерпретации синих картин, направление транспортировки – от северного до север северо-западного, и дает ориентацию длинной оси подводного бара.

Последний пример взят из Нигерии. Программы LOCDIP, SYNDIP и LITHO были применены на одной скважине, по которой имелось описание керна. Можно легко наблюдать типичные характеристики берегового бара (рис.6.7-28).

## *6.8. ПРИБРЕЖНАЯ КАРБОНАТНАЯ ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ*

### 6.8.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Обстановка, характеризуемая карбонатными отложениями, которые сформированы биохимическими процессами на малой глубине воды (менее 100 м), но иногда являются результатом переработки и перераспределения этих отложений течениями. Согласно Sellwood (в Reading, 1978), в прибрежной карбонатной обстановке осадконакопления распознаются пять зон: надлиторальная зона, береговая зона, морская платформа, рифовый пояс и склон шельфа. Их расположение показано на блок-диаграмме (рис.6.8-1). В свою очередь, каждая из этих зон может быть подразделена на подобстановки осадконакопления.

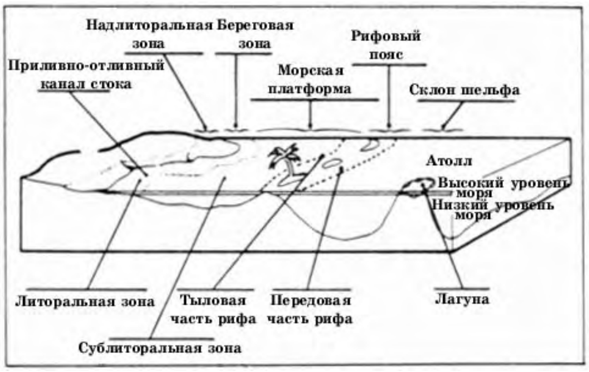



**Рис.6.8-1. Схематическая блок-диаграмма, иллюстрирующая расположение прибрежных карбонатных условий осадконакопления.**

### 6.8.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ФАЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

## 6.8.2.1. Общие данные

Литология, текстура осадконакопления, слоистость и осадочные структуры, наблюденные в различных обстановках, приведены в обобщенном виде на схеме и в таблице на рис.6.8-2 (по Wilson, 1975).

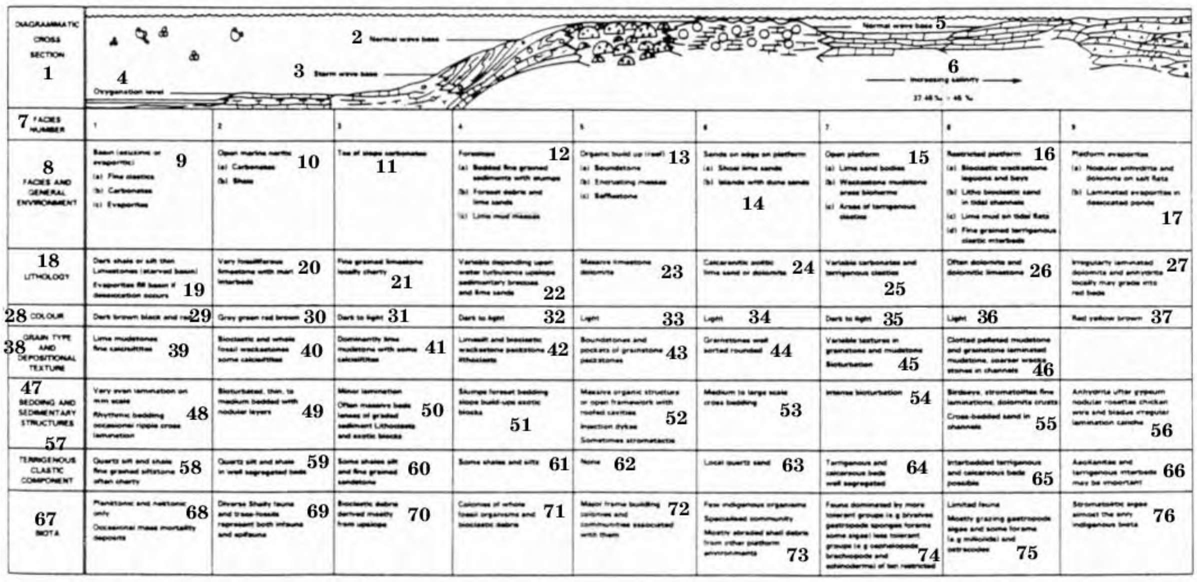


**Рис.6.8-2. Схема стандартных фациальных поясов (по Wilson, 1975).**

(1- схематический разрез; 2,5- основание нормальной волны; 3- основание штормовой волны; 4- уровень насыщения кислородом; 6- возрастание солености; 7- номер фации; 8- фация и общая обстановка осадконакопления; 9- бассейн (просачивания или испарения) (a) тонкий обломочный материал (b) карбонаты (c) эвапориты; 10- неритовая обстановка (a) карбонаты (b) глинистый сланец; 11- подножие склона; карбонаты; 12- передний склон (a) слоистые тонкозернистые отложения с оползнями (b) передовые слои; обломки и известковые пески (c) массы известкового ила; 13- органическая достройка (риф) (a) баундстон (b) инкрустирующие массы (c) ?; 14- пески на краю платформы (a) мелководные известковые пески (b) острова с дюнными песками; 15- открытая платформа (a) тела, сложенные известковым песком (b) ваккитовые, аргиллитовые участки, биогермы (c) участки терригенного обломочного материала; 16- ограниченная платформа (a) биокластические ваккиты, лагуны и ? (b) литокластический и биокластический песок в приливно-отливных каналах стока (c) известковый ил на приливно-отливных отмелях (d) тонкозернистые терригенные кластические слои; 17- платформенные эвапориты (a) конкреционный ангидрит и доломит на соляных плоскотинах (b) тонкослоистые эвапориты в высохших озерках; 18- литология; 19- темный глинистый сланец или тонкий алеврит, известняки (некомпенсированный бассейн), эвапоритовое выполнение бассейна, если имеет место высыхание; 20- известняк с весьма высоким содержанием окаменелостей, с прослоями мергеля; 21- очень тонкозернистый, локально кремнистый известняк; 22- изменяется в зависимости от турбулентности воды вверх по склону – осадочные брекчии и известковый песок; 23- массивный известняк, доломит; 24- калькаренитовый оолитовый известковый песок или доломит; 25- карбонаты и терригенный осадочный материал; 26- часто встречающийся доломит и доломитовый известняк; 27- доломит с неправильной тонкой слоистостью и ангидрит, который локально может переходить в красноцветы; 28- цвет; 29- темно-коричневый, черный и красный; 30- серый, зеленый, красный, коричневый; 31,32,35- от темного до светлого; 33,34,36- светлый; 37- красный, желтый, коричневый; 38- тип зерен и осадочная текстура; 39- известковые аргиллиты, тонкие кальцисилтиты; 40- биокластические ваккиты с некоторым количеством кальцисилтитов; 41- преимущественно известковый аргиллит с некоторым количеством кальцисилтитов; 42- известковый ил и биокластический ваккит. пакстон, литокласты; 43- баундстоны и карманы грейнстона, пакстоны; 44- хорошо отсортированные окатанные грейнстоны; 45- переменные текстуры в грейнстоне и аргиллите; биотурбация; 46- сгустковый пеллетовый аргиллит и грейнстон, тонкослоистый аргиллит, в руслах – более крупнозернистый ваккит; 47- слоистость и осадочные структуры; 48- очень ровная слоистость миллиметрового масштаба; ритмическая слоистость, иногда встречается косая слоистость со следами ряби;49- биотурбация; слоистость от тонкой до средней, с нодулярными слоями; 50- второстепенная тонкая слоистость; частые массивные слои, линзы сортированного осадочного материала, литокласты и экзотические глыбы; 51- оползни, дельтовая слоистость, достройки склона, экзотические блоки; 52- массивная органогенная структура или открытая структура с пустотами в кровле; инъекционные дайки; иногда встречается строматактис; 53- косая слоистость, от среднемасштабной до крупномасштабной; 54- интенсивная биотурбация; 55- птичий глаз, строматолиты, тонкие известняки, корки доломита; в руслах – косослоистый песок; 56- ангидритовые, гипсовые розетки, chicken wire и пластинки, неправильная тонкая слоистость, каличе; 57- терригенная кластическая составляющая; 58- кварц, алеврит и глинистый сланец, тонкозернистый алевролит, часто кремнистый; 59- кварц, алеврит и глинистый сланец в хорошо различаемых слоях; 60- некоторое количество глинистых сланцев, алеврита и тонкозернистого песчаника; 61- некоторое количество глинистых сланцев и алевритов; 62- нет; 63- локальный кварцевый песок; 64- терригенные и известковые слои, хорошо различимые; 65- возможное чередование терригенных и известковых слоев; 66- могут играть значительную роль эолианиты и терригенные прослои; 67- биота; 68- только планктон и нектон; 69- разнообразная ракушечная фауна, представляющая инфауну и эпифауну; 70- обломки биокластов, поступившие в основном с верхней части склона; 71- колонии целых ископаемых организмов и обломки биокластов; 72- колонии, образующие основную структуру, и ассоциированные с ними биоценозы; 73- немногочисленные эндемичные организмы; специфичный биоценоз; в основном стертые обломки раковин из других платформенных условий; 74- доминируют более толерантные группы (например, двустворки, гастроподы, губки, фораминиферы, некоторое количество водорослей), менее толерантные группы (например, цефалоподы, брахиоподы, иглокожие), частот ограниченные; 75- ограниченное количество фауны; в основном зоопланктон, питающийся фитопланктоном, водоросли и некоторое количество фораминифер (например, милиолид) и остракод; 76- строматолитовые водоросли – почти единственные эндемичные организмы)

## 6.8.2.2. Литология

Два параметра должны быть рассмотрены по отдельности.

### ***6.8.2.2.1.*** Состав

Преобладающим минералом является доломит, но в литоральной и надлиторальной зонах могут присутствовать в значительных количествах доломит, гипс и ангидрит. Терригенный обломочный материал может переслаиваться с предыдущими отложениями, если платформа связана с континентом, или если они переносятся штормовыми ветрами. На мелководье (на поднятиях) могут присутствовать железные оолиты и сидеритовые железняки. Могут встречаться фосфаты и глауконит.

### ***6.8.2.2.2.*** Текстура

Осадочные текстуры (в соответствии с классификацией Dunham) являются типичными для фаций в пределах данной обстановки осадконакопления и рассмотрены на рис.6.8-2, но они могут быть скрыты процессами диагенеза.

## 6.8.2.3. Структура

Как и текстура, осадочные структуры обычно хорошо определяют обстановку осадконакопления и перечислены на рис.6.8-2.

## 6.8.2.4. Границы

Вследствие общей последующей эволюции (как по вертикали, так и по горизонтали), границы часто не отмечаются четко.

## 6.8.2.5. Последовательности

Наиболее частым типом последовательности является последователь- ность, характеризующаяся уменьшением глубины воды вверх по разрезу. Со- гласно James (1979), «это связано с тем, что карбонатные осадки формируются в основном в обстановке осадконакопления, особенно на малой глубине, где условия биологической и физико-химической фиксации карбоната являются оптимальными. В результате, скопления карбоната многократно достраиваются до уровня моря и выше, давая характерную последовательность отложений, где каждая единица сформирована в воде с постепенно уменьшающейся глубиной. Такая последовательность, характеризующаяся уменьшением глубины воды вверх по разрезу, многократно повторяется в прибрежных отложениях» (в Walker, 1979). Единицы, образующие последовательность, представлены на рис.6.8-3.

Как показывает блок-диаграмма на рис.6.8-4, в карбонатной последовательности, характеризующейся уменьшением глубины воды вверх по разрезу, могут существовать переходы между различными обстановками осадконакопления.

Блок-диаграмма на рис.6.8-5, взятая в упрощенном виде у James (Walker, 1979), показывает положение сублитроальных, литоральных и надлиторальных зон в двух типичных условиях: в засушливой пустыне, сходной с современным Персидским заливом, и в гумидном климате, сходном с климатом современных Багамских островов.

Несколько теоретических последовательностей, соответствующих различным возможным переходам, показаны на рис.6.8-6. Буквенные обозначения с левой стороны относятся к подобстановкам осадконакопления на рис.6.8-3.

Могут также существовать последовательности, характеризующиеся увеличением глубины воды вверх по разрезу. Они соответствуют фазе трансгрессии, связанной с погружением, либо с эвстатическими колебаниями. На рис.6.7-8 показаны два примера таких циклов.

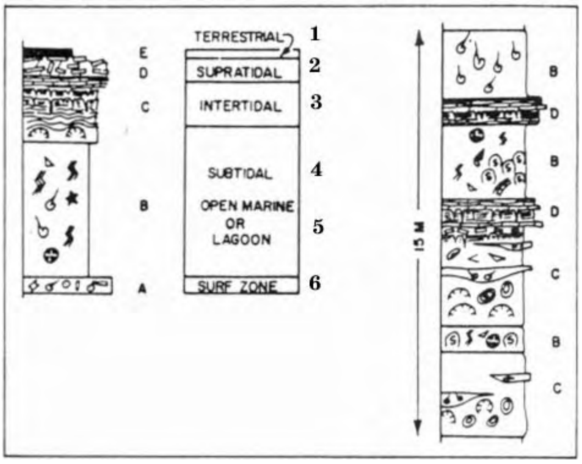



**Рис.6.8-3. Пять подразделений модели последовательности, характеризующейся уменьшением глубины воды вверх по разрезу, для карбоната (из James, в Walker, 1979).**
(1- континентальные отложения; 2- надлиторальные отложения; 3- литоральные отложения; 4- сублиторальные отложения; 5- открытое море или лагуна; 6- зона бурунов)

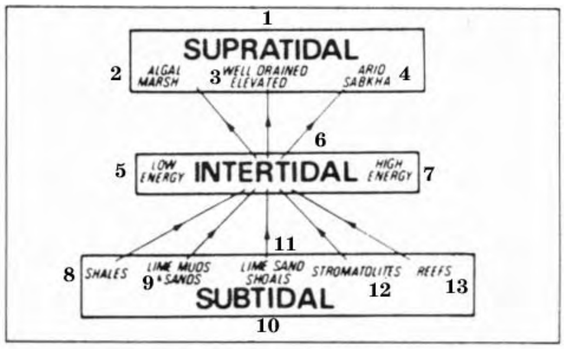



**Рис.6.8-4. Блок-диаграмма, показывающая различные возможные переходы между обстановками осадконакопления, существующие в карбонатной последовательности, характеризующейся уменьшением глубины воды вверх по разрезу (из James, в Walker, 1979).**
(1- надлиторальная обстановка осадконакопления; 2- водорослевый марш; 3- хорошо дренируемый поднятый участок; 4- аридная себха; 5- низкая энергия; 6- литоральная обстановка осадконакопления; 7- высокая энергия; 8- глинистые сланцы; 9- известковые илы и пески; 10- сублиторальная обстановка осадконакопления; 11- отмели, образованные известковым песком; 12- строматолиты; 13- рифы)

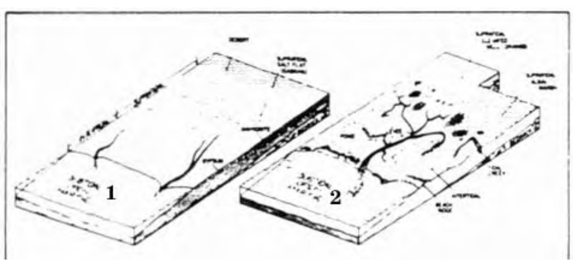
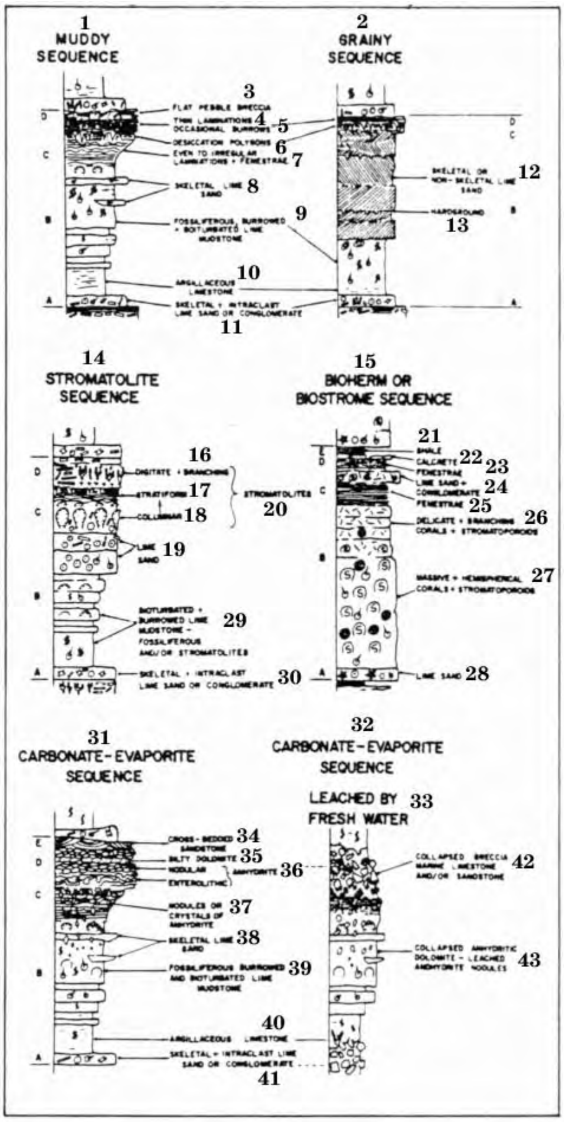


**Рис.6.8-5. Блок-диаграммы, показывающие основные морфологические элементы приливно-отливной отмели. (a) сверхсоленая (hypersaline) приливно-отливная отмель с несколькими приливно-отливными каналами стока, граничащая с очень засушливой пустыней; (b) нормальная морская приливно-отливная отмель, с множеством приливно-отливных каналов стока и озерками, граничащая с поднятым хорошо дренируемым участком водорослевых маршей в гумидном климате (из James, в Walter, 1979).**
(1,2- сублиторальная зона, открытое море)

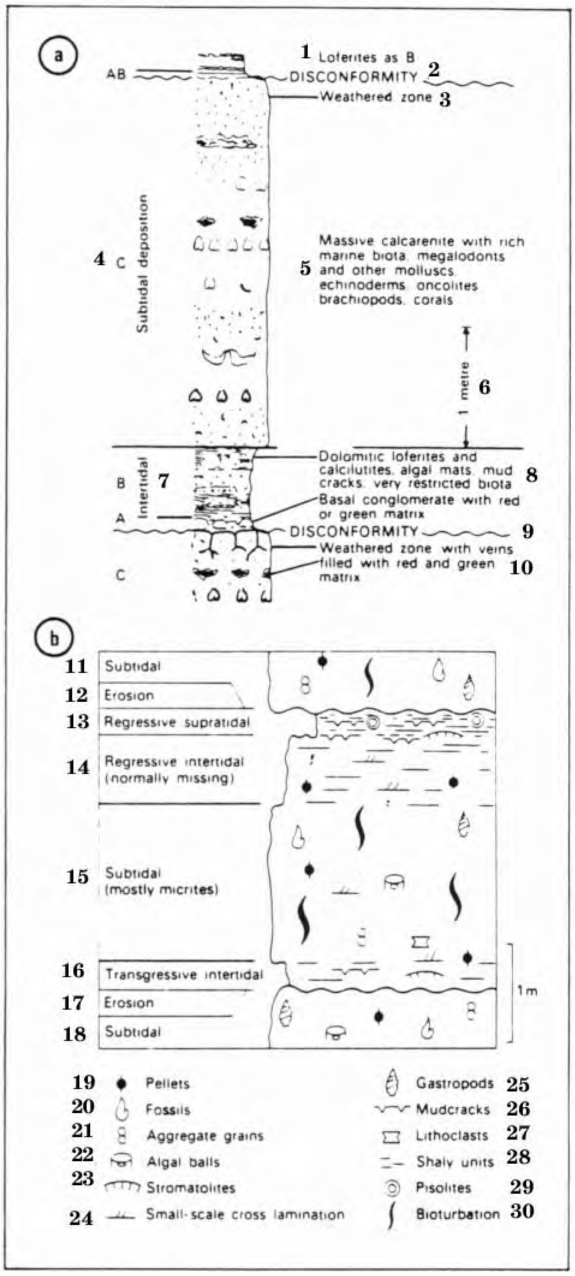
**Рис.6.8-6. Теоретические последовательности в различных переходных зонах от сублиторальных к надлиторальным подобстановкам осадконакопления (из James, в Walker, 1979).**
(1- илистая последовательность; 2- зернистая последовательность; 3- плоская галечниковая брекчия; 4- тонкая слоистость; 5- случайные фукоиды; 6- многоугольники высыхания; 7- тонкая слоистость, от ровной до неправильной, + фенестры; 8- скелетный известковый песок; 9- известковый песок с окаменелостями, фитоморфозами и биотурбацией; 10- глинистый известняк; 11- скелетный + интракластовый известковый песок или конгломерат; 12- скелетный или не скелетный известковый песок; 13- поверхность несогласия; 14- строматолитовая последовательность; 15- биогермная или биостромная последовательность; 16- расхождение + разветвление; 17- стратиформные; 18- столбчатые; 19- известковый песок; 20- строматолиты; 21- глинистый сланец; 22- калькрет; 23- фенестры; 24- известковый песок + конгломерат; 25- фенестры; 26- ? кораллы + строматопороидеи; 27- массивные + полусферические кораллы + строматопороидеи; 28- известковый песок; 29- известковый аргиллит с биогурбацией и фукоидами, окаменелостями и/или строматолитами; 30- скелетный + интракластовый известковый песок или конгломерат; 31,32- карбонат-эвапоритовая последовательность; 33- выщелочено пресной водой; 34- косослоистый песчаник; 35- алевритистый доломит; 36- ангидрит нодулярный; ангидрит энтеролитовый; 37- конкреции или кристаллы ангидрита; 38- скелетный известковый песок; 39- известковый песок с окаменелостями, фитоморфозами и биотурбацией; 40- глинистый известняк; 41- скелетный + интракластовый известковый песок или конгломерат; 42- обрушенная брекчия, морской известняк и/или конгломерат; 43- обрушенный ангидритовый доломит – выщелоченные конкреции ангидрита)




## 6.8.2.6. Геометрия тел

Фации, относящиеся к прибрежной карбонатной обстановке осадконакопления, могут быть распределены как последовательные пояса, параллельные береговой линии, или как атоллы или рифовые пики (рифовые фации). Ассоциированные русловые отложения (заполнение русла, намывные валы) присутствуют в литоральных и надлитроальных зонах.

**Рис.6.8-7. Два примера последовательность, характеризующихся увеличением глубины воды вверх по разрезу. (a) идеализированная циклотема Lofer (по Fisher, 1964, 1975); (b) идеализированный цикл для Calcare**




**Massiccio, Италия (по Colacichi и др., 1975).**
(1- Лофериты в качестве B; 2- несогласие; 3- зона выветривания; 4- сублиторальные отложения; 5- массивные калькаренит с богатой морской биотой, мегалодонты и другие моллюски, иглокожие, онколиты,
брахиоподы, кораллы; 6- 1 метр; 7- литоральные отложения; 8- доломитовые лофериты и кальцилютиты, водорослевые ковры (mats), трещины усыхания; очень ограниченная биота. Базальный конгломерат с красной или зеленой матрицей; 9- несогласие; 10- зона выветривания с жилами, заполненными красной и зеленой матрицей; 11- сублиторальные отложения; 12- эрозия; 13- регрессивные надлиторальные отложения; 14- регрессивные литоральные отложения (обычно пропускаются); 15- сублиторальные отложения (в основном микритовые); 16- трансгрессивные литоральные отложения; 17- эрозия; 18- сублиторальные отложения; 19- пеллеты; 20- окаменелости; 21- агрегатные зерна; 22- водорослевый «бисквит»; 23- строматолиты; 24- мелкомасштабная косая слоистость; 25- гастроподы; 26- трещины усыхания; 27- литокласты; 28- сланцеватые единицы; 29- пизолиты; 30- биотурбация)

### 6.8.2.7. Характеристики коллектора

Карбонатные породы могут иметь хорошие коллекторские свойства, в зависимости от значимости диагенетических эффектов. Когда имело место растворение, пористость и проницаемость очень высокие. Другие диагенетические эффекты снижают пористость. Проницаемость обычно связывается с присутствием трещин, которые часто возникают в таких породах. Карбонатные коллекторы могут иметь большую мощность и значительную протяженность. Нефтематеринские породы часто близки к породам-коллекторам. Покрышки представлены слоями глинистого сланца или ангидрита.

## 6.8.3. КАРОТАЖНЫЕ СИГНАЛЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

### 6.8.3.1. Электролитофации

Типичные сигналы можно видеть на сводной диаграмме из формации Knuff в южной части Персидского залива (рис.6.8-8). Фигуративные точки на графике взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$ (рис.6.8-9а), которые попадают на линию известняка или ниже нее (если формация не является газоносной), следуют содержанию кальцита, доломита, ангидрита, тяжелых минералов (пирита или сидерита) или глинистого сланца. Радиоактивность в общем случае низкая, за исключением интервалов глинистого сланца, где будут отклоняться кривые тория, калия и урана, или присутствия в формации органического вещества или фосфатов. В этом случае будет значительно отклоняться только кривая урана. Использование кривой Pe (рис.6.8-9b) или, лучше, графика взаимной зависимости $(\rho_{ma})_a$ и $(U_{ma})_a$ (рис.6.8-9c) позволяет определить минеральный состав.

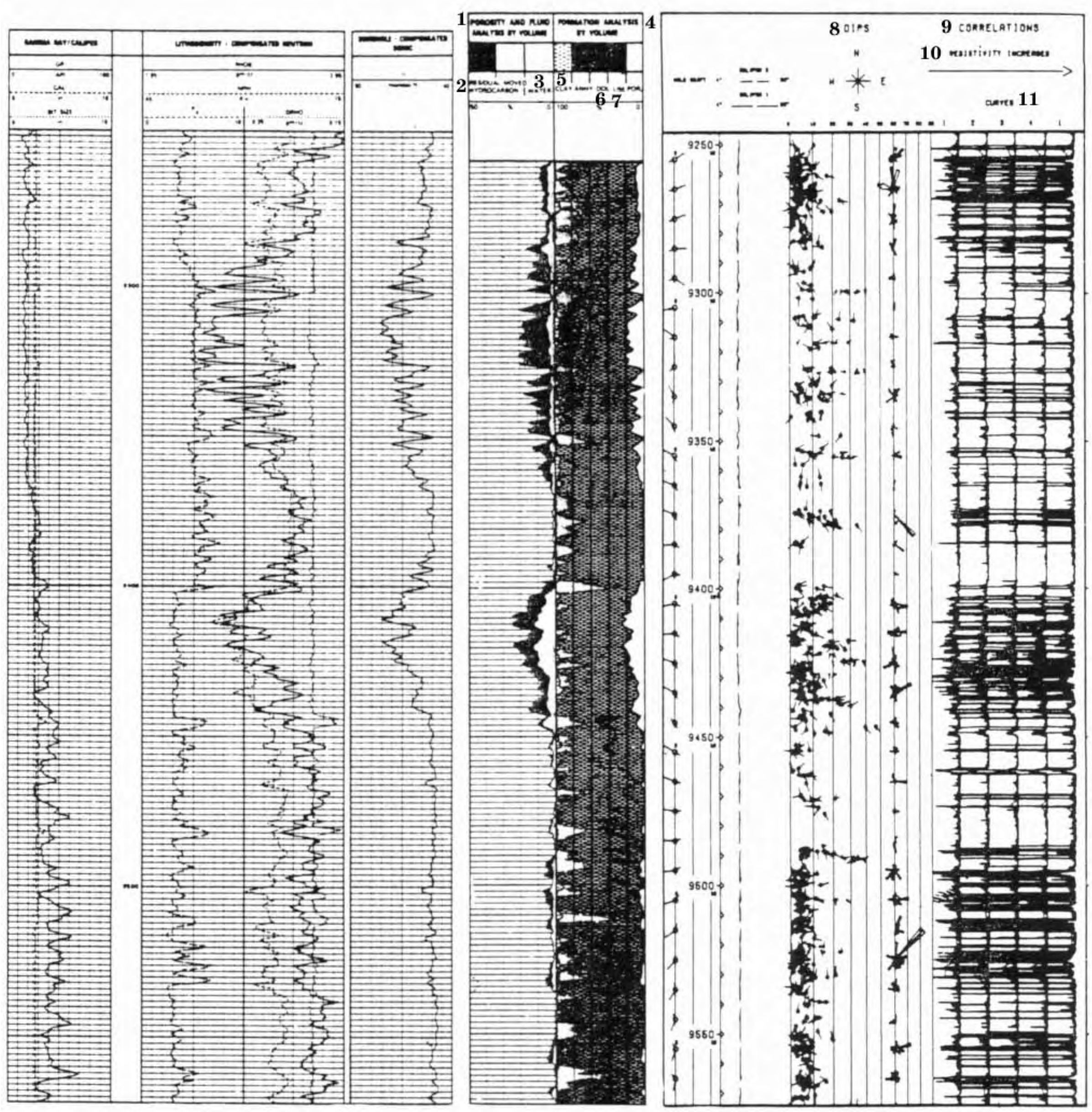



**Рис.6.8-8. Сводная диаграмма, объединяющая данные в открытом стволе, результаты GLOBAL и GEODIP (из Schlumberger, Well evaluation Conference, Эмираты/Катар, 1981).**
(1- пористость и объемный анализ флюидов; 2- остаточные подвижные углеводороды; 3- вода; 4- объемный анализ пород пласта; 5- глина; 6- доломит; 7- известняк; 8- наклоны; 9- корреляции; 10- сопротивление возрастает; 11- кривые)

## 6.8.3.2. Форма кривых наклономера и картины наклонов

Как упоминалось выше, данные наклонометрии отражают текстуру и, иногда, структуру известняка. Можно наблюдать несколько особенностей кривых сопротивления и картин наклонов. Они будут иллюстрированы примерами GEODIP или LOCDIP из формации Arab, Абу-Даби.

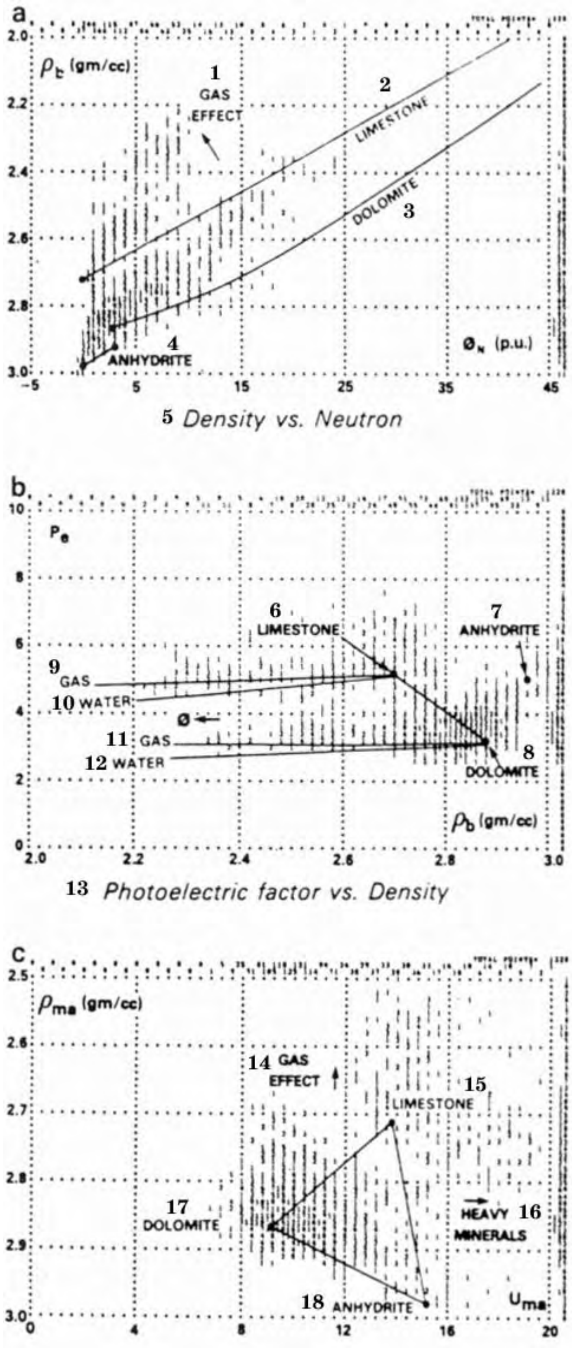



**Рис.6.8-9. Графики взаимной зависимости (a): плотность – нейтронный каротаж; (b): фотоэлектрический коэффициент – плотность; (c): $(\rho_{ma})_a$ – $(U_{ma})_a$ (из Schlumberger, Well evaluation Conference, Эмираты/Катар, 1981).**
(1,14- влияние газа; 2,6,15- известняк; 3,8,17- доломит; 4,7,18- ангидрит; 5- плотность – нейтронный каротаж; 9,11- газ; 10,12- вода; 16- тяжелые минералы)

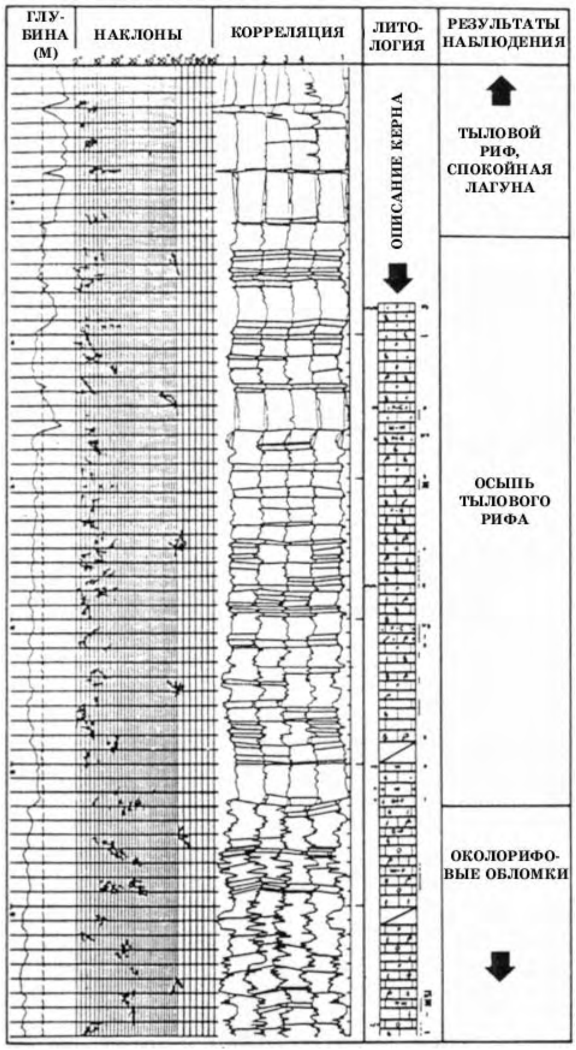



**Рис.6.8-10. Типичные результаты GEODIP в обстановках осадконакопления рифа, тылового рифа и лагуны (из Theys и др., 1983).**

- Кривые сопротивления наклономера показывают отсутствие событий в диапазоне сопротивления от среднего до высокого, которые на других данных в открытом стволе распознаются как известняк. Этот тип сигнала может быть интерпретирован как аргиллит, который соответствует отложениям тылового рифа – лагуны (рис.6.8-10).
- Кривые сопротивления наклономера показывают отсутствие событий на очень высоком уровне сопротивления. Это соответствует плотному известняку, или доломиту, или ангидриту. Данные в открытом стволе будут показывать литологию (рис.6.8-11).
- Кривые сопротивления наклономера показывают активность низкую до средней, с малыми событиями, которые не всегда хорошо корре-

лируются от одного прижимного башмака к другому, но хорошо коррелируются между дисковыми электродами (рис.6.8-12). Эта особенность может быть интерпретирована как грейнстон – пакстон. Иногда наклоны демонстрируют синие картины (рис.6.8-11 – 6.8-13), которые могут быть интерпретированы как передовые слои на осыпи тылового рифа или в косе приливно-отливного канала стока; красные картины могут быть соответствовать отложениям приливно-отливного канала стока.

- Кривые сопротивления наклономера показывают активность среднюю до высокой, с часто некоррелируемыми событиями, или коррелируемыми неправильно, что дает несколько наклонов. Этот вид сигнала соответствует ваккитам или баундстонам, часто кавернозным (если данные в открытом стволе указывают на известняк или доломит – рис.6.8-14), или доломиту с конкрециями ангидрита (рис.6.8-15).
- Наклоны, согласованные по величине и азимуту, отражают тонкую слоистость сланцеватого известняка или даже глинистого сланца – если имеет место отклонение кривых тория и калия, или переслаивания аргиллита с грейнстоном или пакстоном – если содержание тория и калия очень низкое (рис.6.8-16).

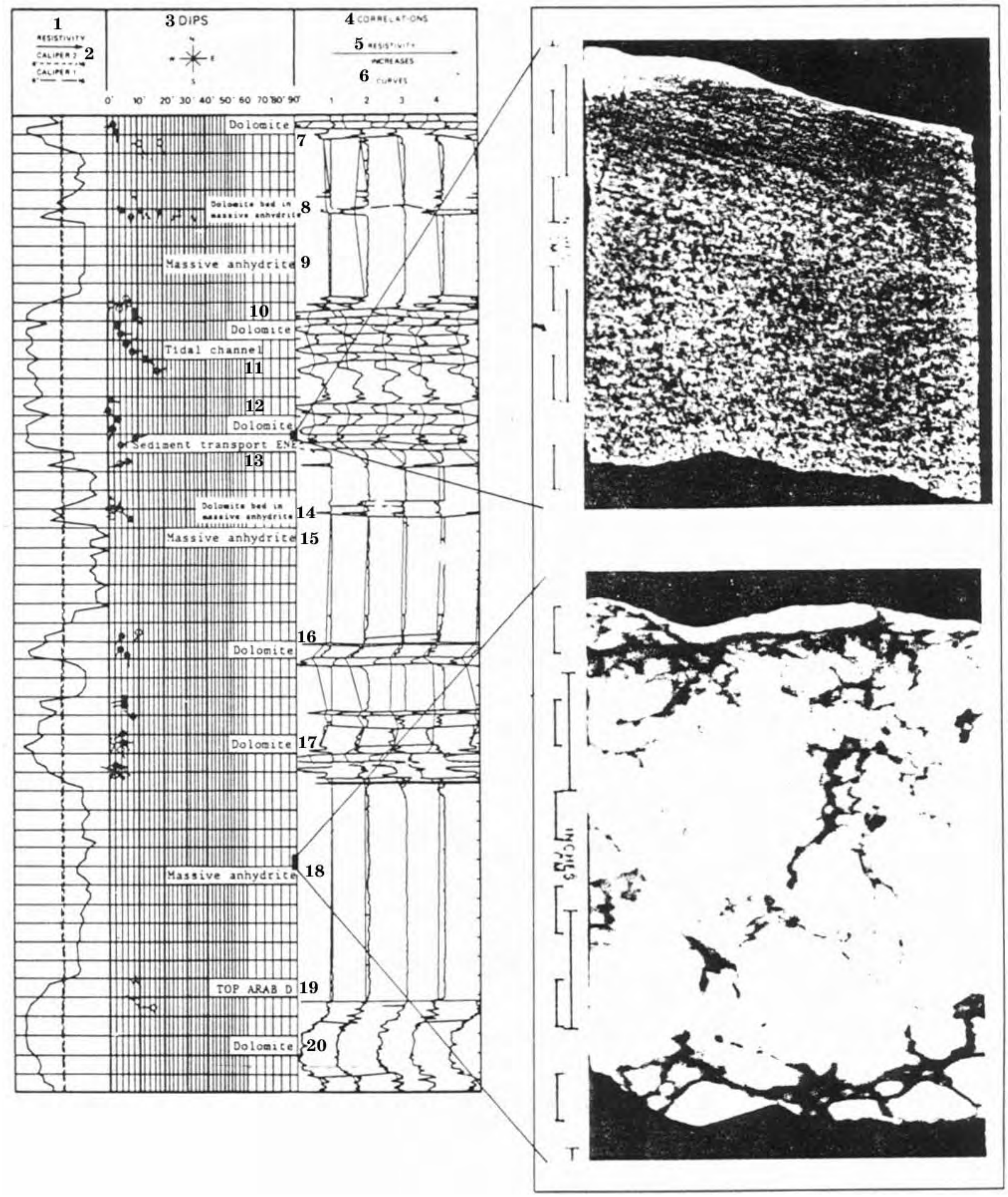



**Рис.6.8-11. Интерпретация данных GEODIP в терминах фаций и подобстановок осадконакопления, согласно активности кривых и картинами наклонов.**
(1- сопротивление; 2- каверномер 2; 3- наклоны; 4- корреляции; 5- сопротивление возрастает; 6- кривые; 7,10,12,16,17,20- доломит; 8,14- слой доломита в массивном ангидрите; 9,15,18- массивный ангидрит; 11- приливно-отливный канал стока; 13- транспортировка осадочного материала в восток северо-восточном направлении; 19- кровля Arab D)

Другой пример, взятый из Desert Creek, бассейн Paradox, иллюстрирует такой же вид обстановки осадконакопления. Сводная диаграмма, включающая ГК, нейтронный и плотностной каротаж, показана на рис.6.8-17, а результаты интерпретации LOCDIP – на рис.6.8-18.

Изображения FMS весьма полезны для идентификации типичных диагенетических элементов, таких как кавернозная пористость (рис.6.8-19), конкреции ангидрита (рис.6.8-20) и стилолиты (рис.6.8-21) или трещины (рис.6.8-22).

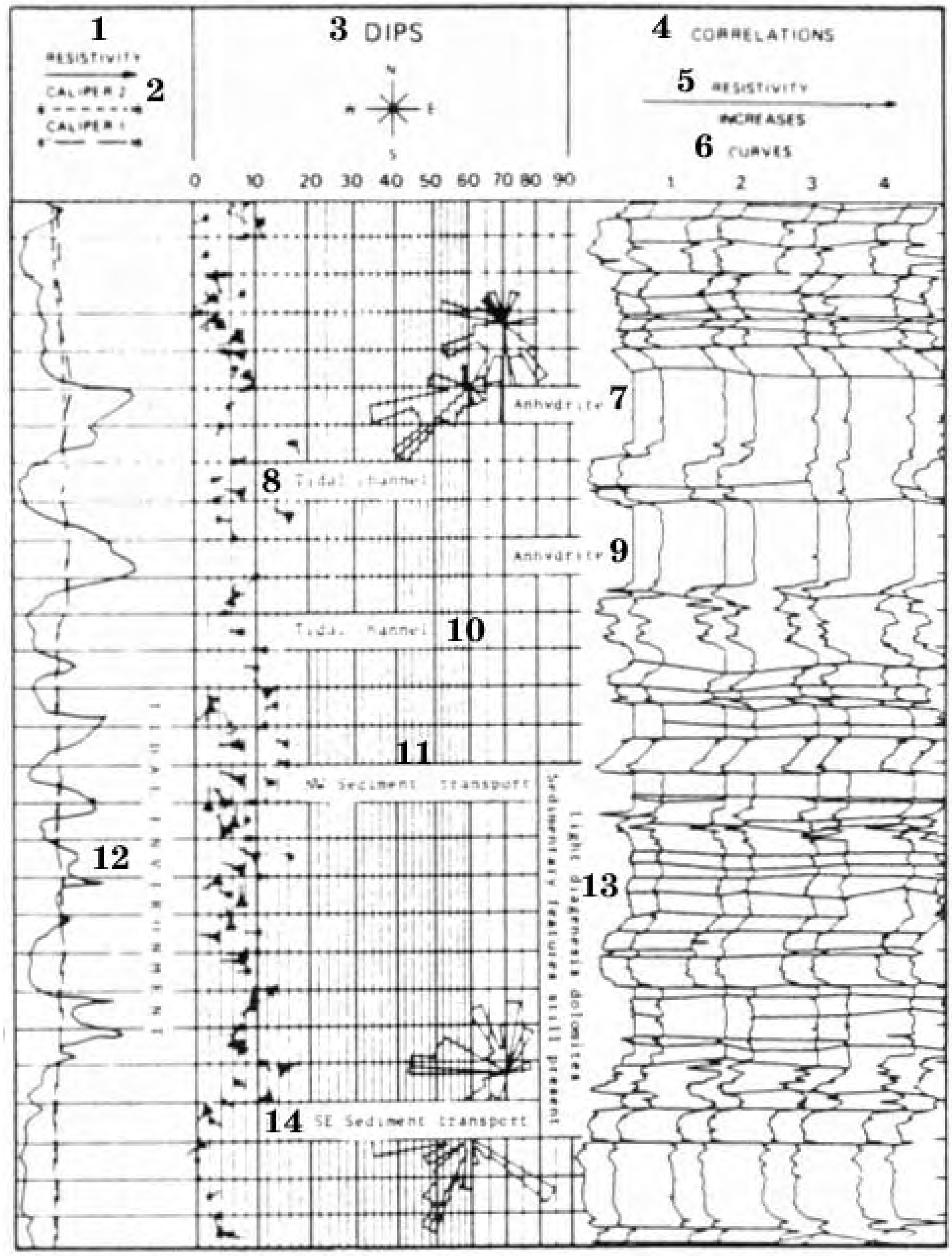



**Рис.6.8-12. Интерпретация LOCDIP в терминах фаций и подобстановок осадконакопления, согласно активности кривых и картинам наклонов.**

(1- сопротивление; 2- каверномер 2; 3- наклоны; 4- корреляции; 5- сопротивление возрастает; 6- кривые; 7,9- ангидрит; 8,10- приливно-отливный канал стока; 11- направление транспортировки осадочного материала – северо-запад; 12- приливно-отливная обстановка осадконакопления; 13- легкий диагенетический доломит, остаются осадочные элементы; 14- направление транспортировки осадочного материала – юго-восток)

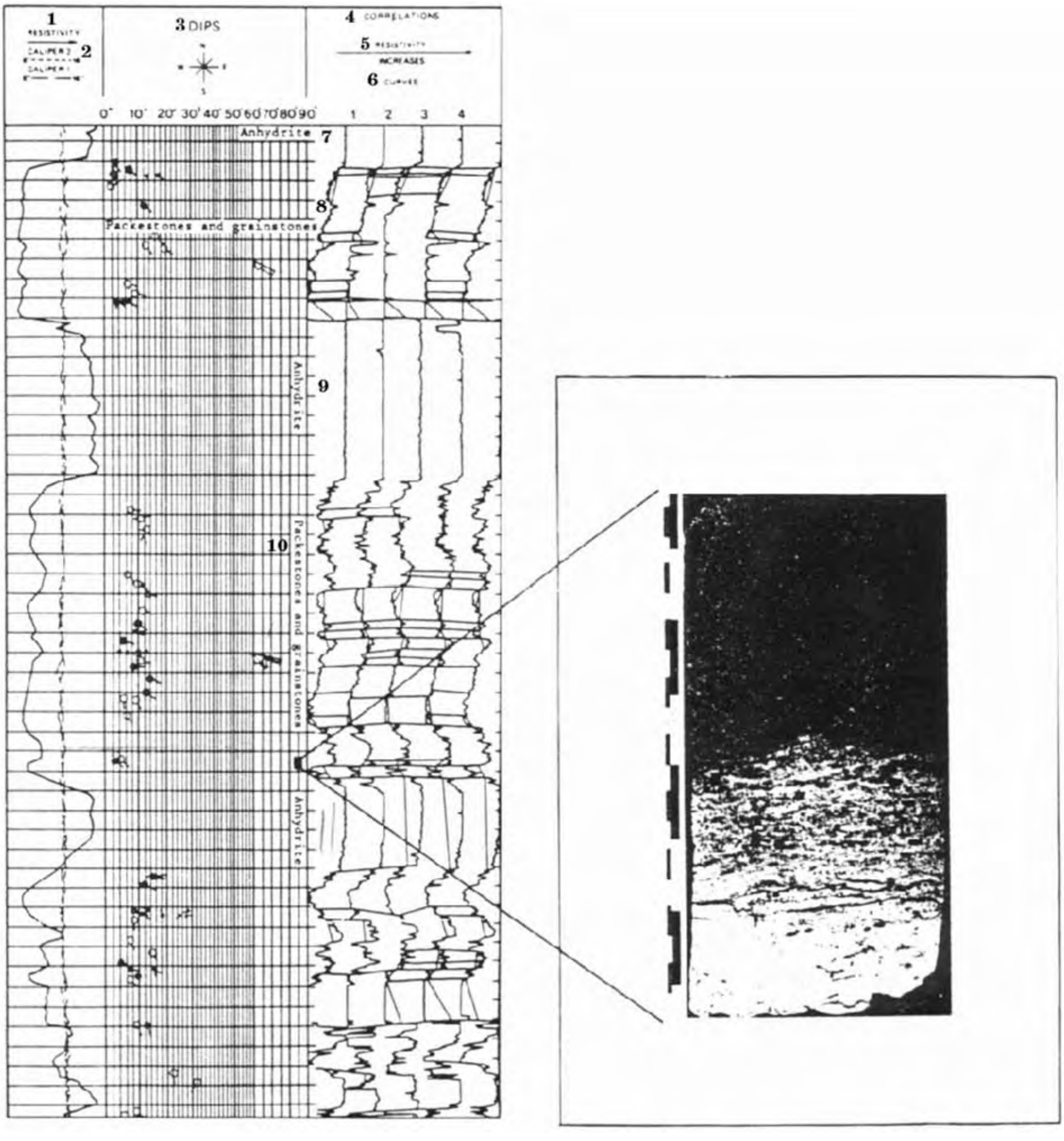



**Рис.6.8-13. Другой пример данных GEODIP и их интерпретация. Синие картины указывают направление переноса восток юго-восток.**
(1- сопротивление; 2- кавернометр 2; 3- наклоны; 4- корреляции; 5- сопротивление возрастает; 6- кривые; 7,9,11- ангидрит; 8,10- пакстоны и грейнстоны)

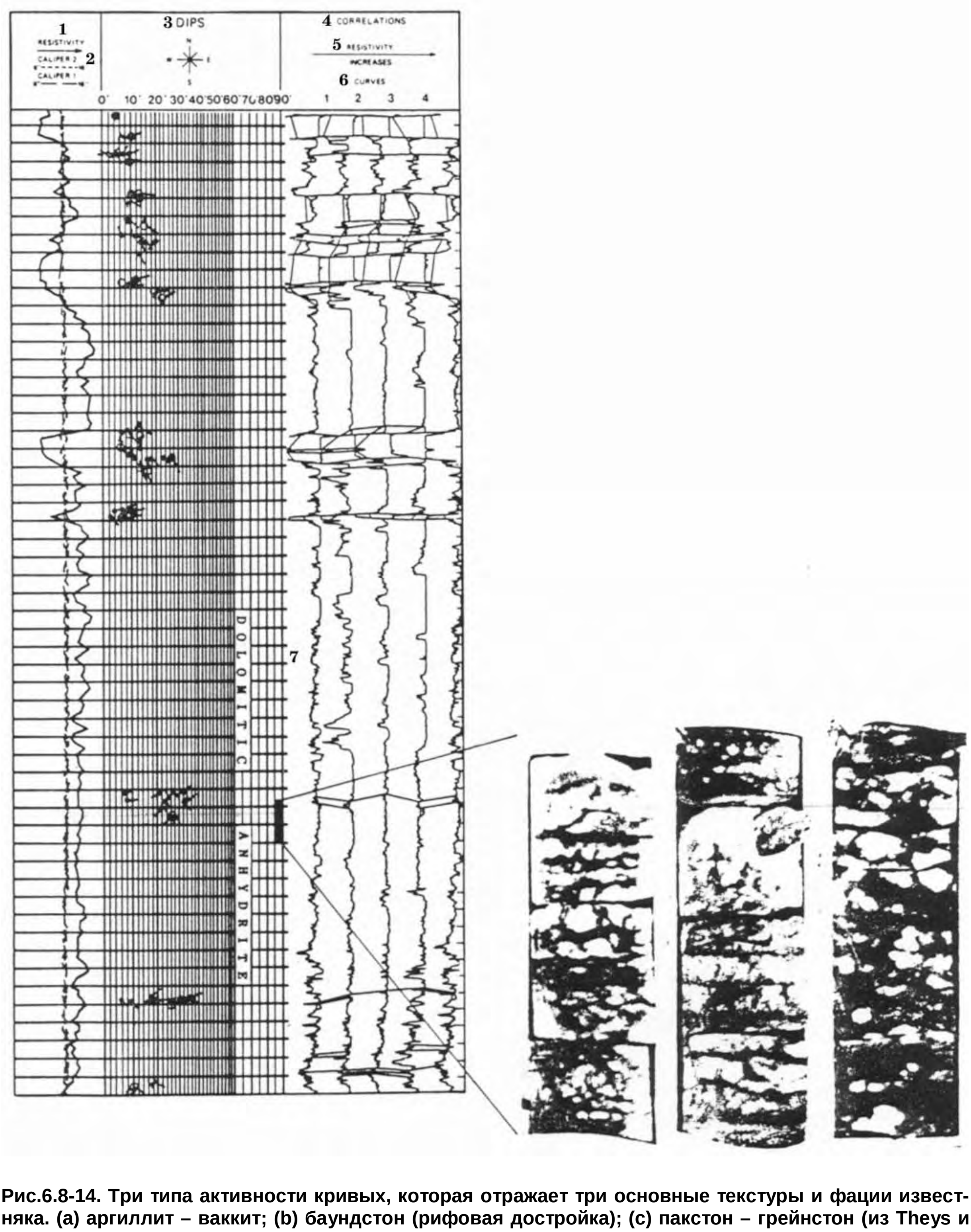



**Рис.6.8-14. Три типа активности кривых, которая отражает три основные текстуры и фации известняка. (a) аргиллит – ваккит; (b) баундстон (рифовая достройка); (c) пакстон – грейнстон (из Theys и др., 1983).**
(сопротивление; 2- каверномер 2; 3- наклоны; 4- корреляции; 5- сопротивление возрастает; 6- кривые; 7- доломитовый ангидрит)

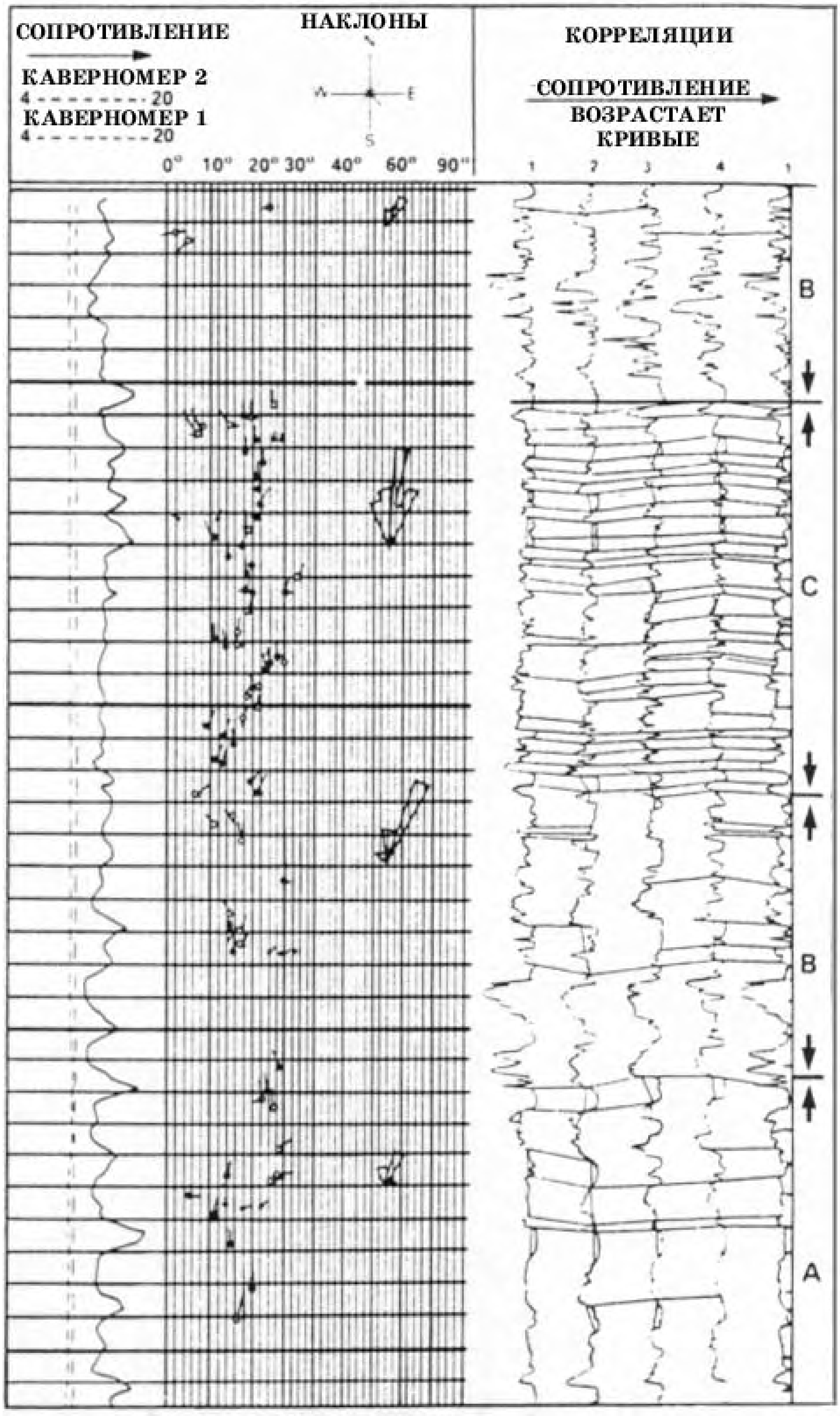
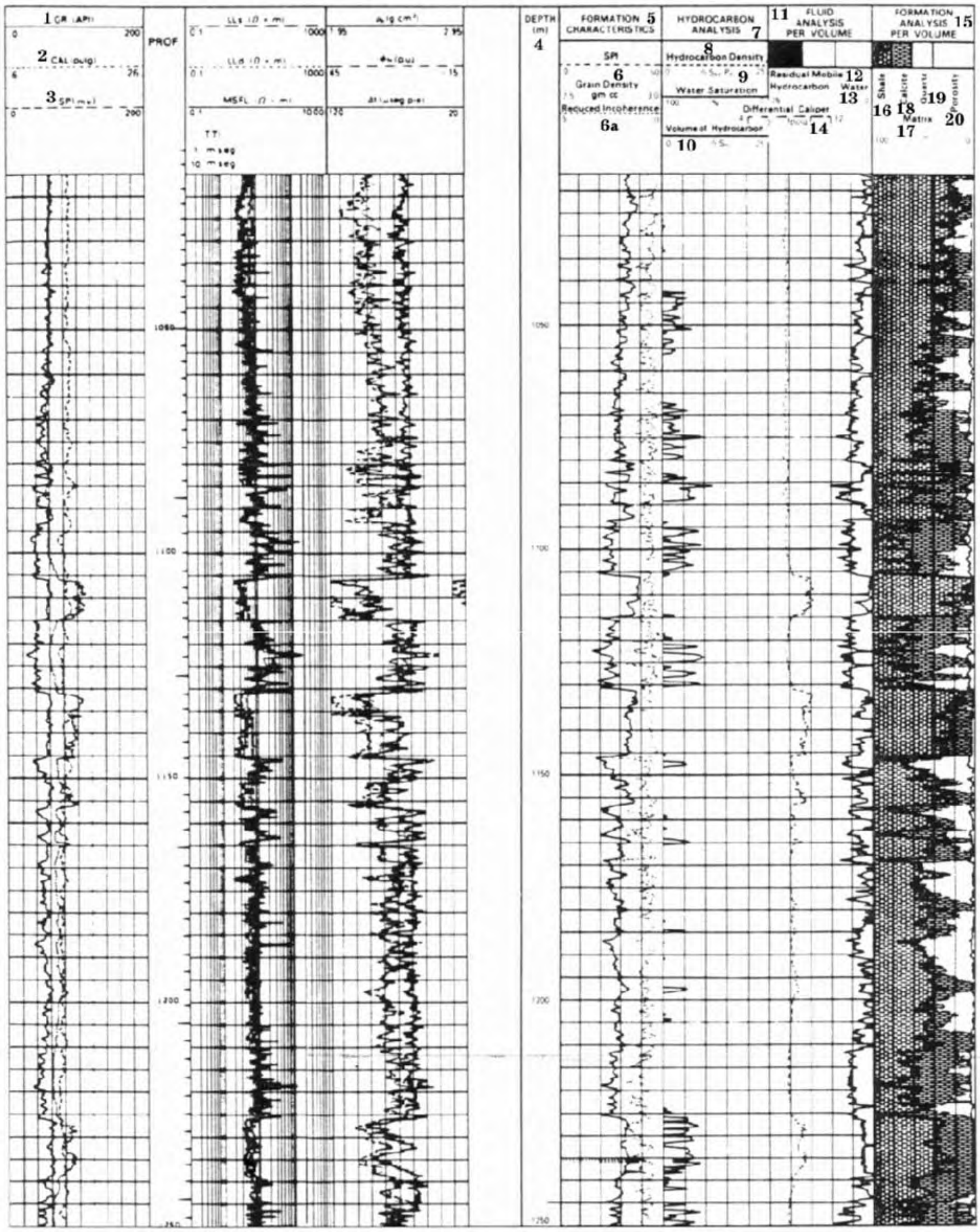
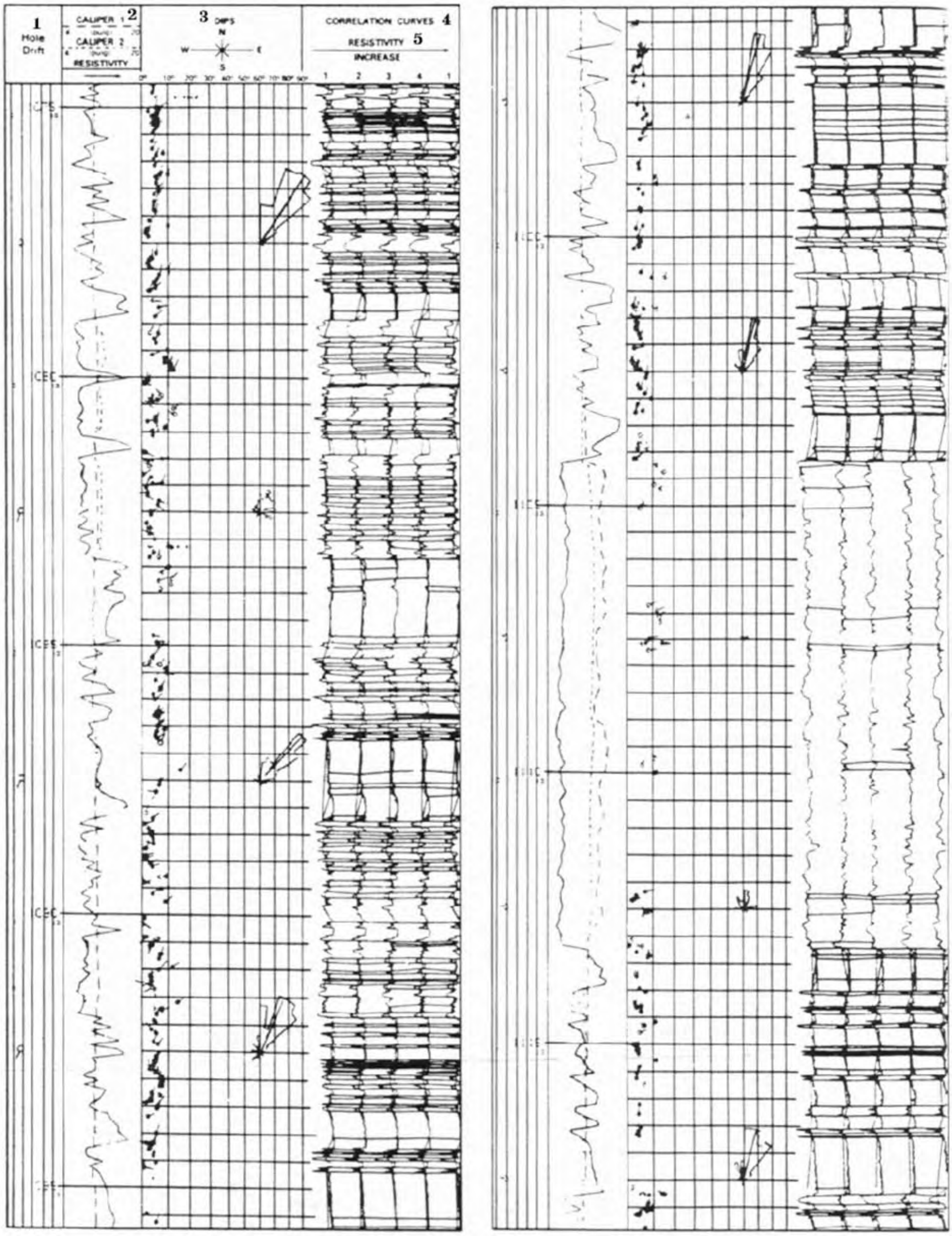



**Рис.6.8-15: 1- Типичная активность кривой в ангидритовом доломите – доломитовом ангидрите (конкреции ангидрита в доломите).**




a

**Рис.6.8-16а. Пример очень тонкой слоистости, иногда сланцеватости, в известняковой - доломитовой формации, а) сводная диаграмма (из Schlumberger, Evaluacion de formaciones en Mexico, 1984).** (1- ГК (ед. API); 2- каверномер; 3- ПС (мВ); 4- глубина (в метрах); 5- характеристики пласта; 6- плотность зерен, г/см$^3$; 6а- уменьшенная несвязность; 7- анализ углеводорода; 8- плотность углеводорода; 9- водонасыщенность; 10- объем углеводорода; 11- объемный анализ флюида; 12- остаточный подвижный углеводород; 13- вода; 14- дифференциальный каверномер; 15- объемный анализ пород пласта; 16- глинистый сланец; 17-матрица; 18- кальцит; 19- кварц; 20- пористость)




b

**Рис.6.8-16b. Пример очень тонкой слоистости, иногда сланцеватости, в известняковой - доломитовой формации, b) изображение GEODIP на коротком интервале (из Schlumberger, Evaluacion de formaciones en Mexico, 1984).**

(1- отклонение скважины; 2- каверномер 2; 3- наклоны; 4- кривые корреляции; 5- сопротивление возрастает)

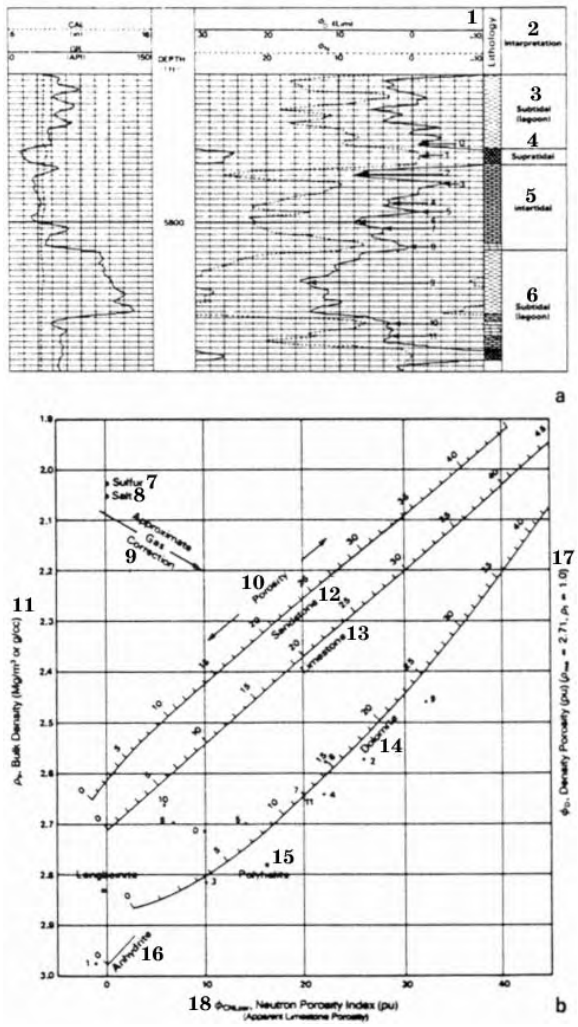



**Рис.6.8-17. а) Сводная диаграмма; b) график взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$ в формации Desert Creek, бассейн Paradox**.

(1- литология; 2- интерпретация; 3,6- сублиторальная (лагунная) обстановка; 4- надлиторальная обстановка; 5- литоральная обстановка; 6- сублиторальная (лагунная) обстановка; 7- сера; 8- соль; 9- приблизительная поправка за влияние газа; 10- пористость; 11- $\rho_b$, объемная плотность (Мг/м$^3$ или г/см$^3$); 12- песчаник; 13- известняк; 14- доломит; 15- полигалит; 16- ангидрит; 17- $\varnothing_D$, пористость по плотностному каротажу (pu) ($\rho_{ma}$=2.71, $\rho_1$=1.0)

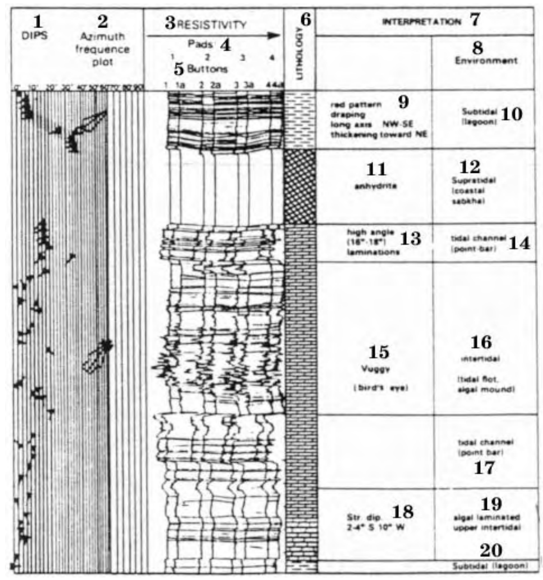



**Рис.6.8-18. LOCDIP в этом же интервале и его интерпретация.**

(1- наклоны; 2- частотная диаграмма азимутов; 3- сопротивление; 4- прижимные башмаки; 5- дисковые электроды; 6- литология; 7- интерпретация; 8- обстановка осадконакопления; 9- красная картина = облекание; длинная ось – северо-запад - юго-восток; увеличение мощности в направлении на северо-восток; 10- сублиторальная (лагунная); 11- ангидрит; 12- надлиторальная (прибрежная себха); 13- большой угол (16-18 град.); тонкая слоистость; 14,17- приливно-отливный канал стока (коса); 15- кавернозность (птичий глаз); 16- литоральная (приливно-отливная отмель, водорослевый бугор); 18- структурный наклон: 2-4° юг 10° запад; 19- ? верхняя литоральная; 20 сублиторальная (лагунная)

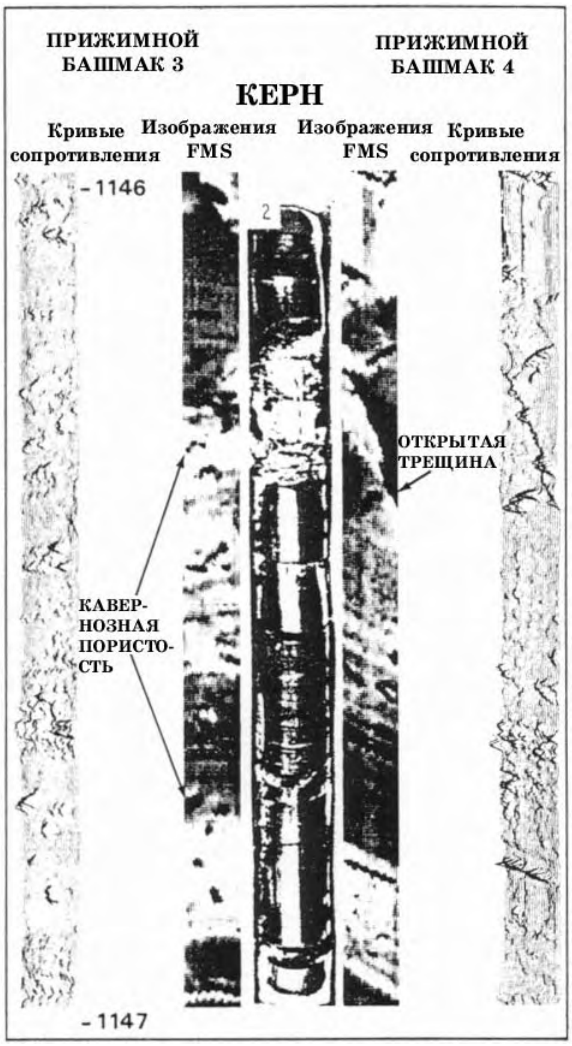



**Рис.6.8-19. Пример изображения FMS в кавернозном известняке.**

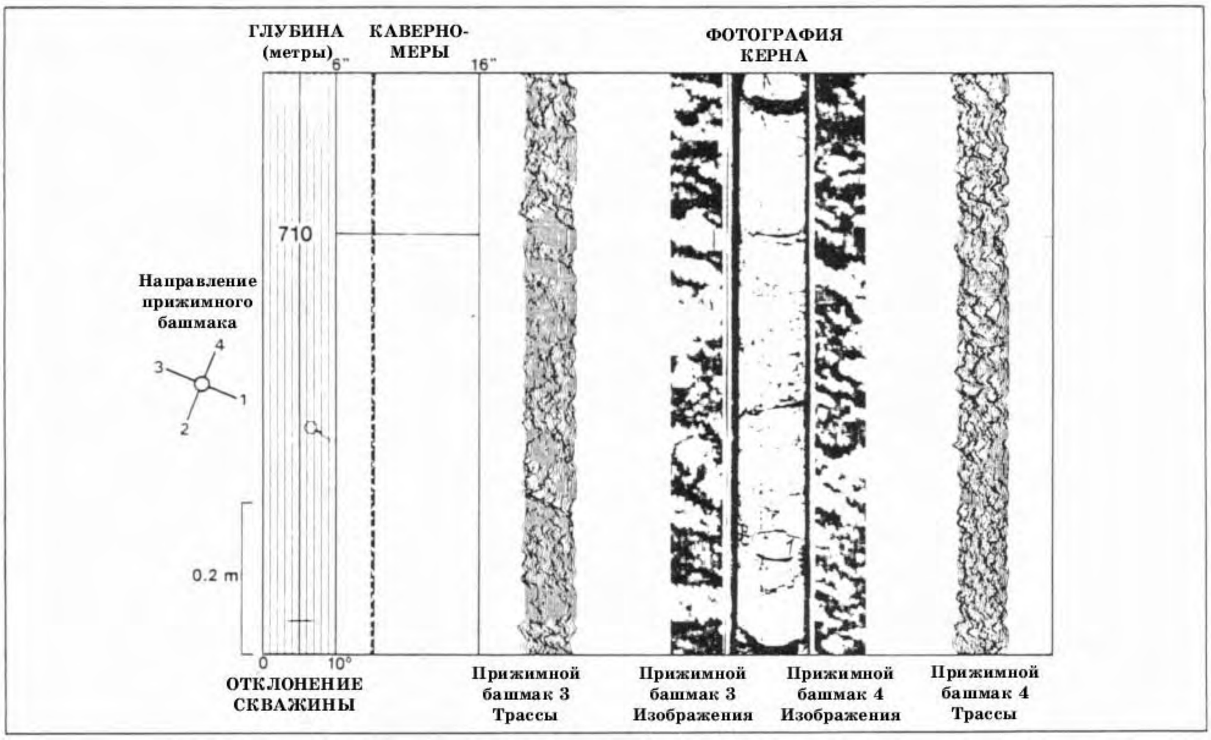



**Рис.6.8-20. Пример ангидритовых конкреций, хорошо наблюдаемых на изображении FMS**.

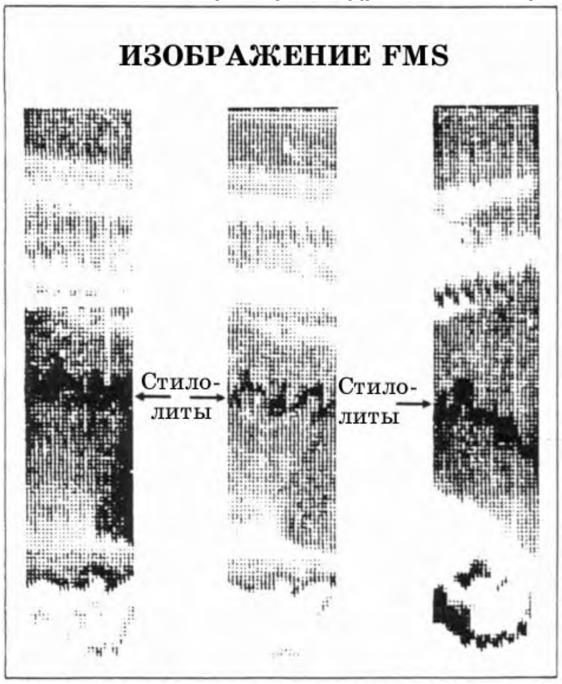



**Рис.6.8-21. Пример стилолитов, распознаваемых на изображении FMS.**

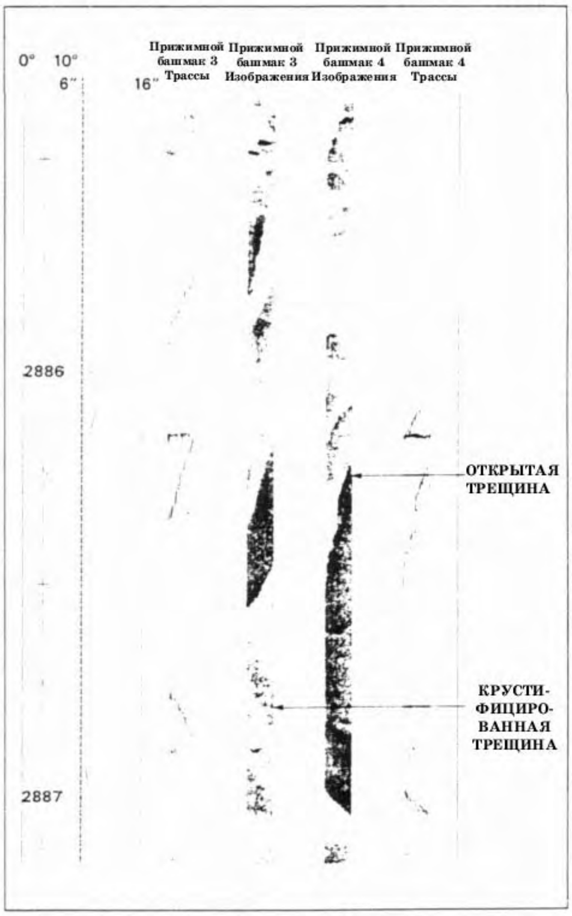



**Рис.6.8-22. Пример трещин, распознаваемых на изображении FMS. Можно различить открытые и крустифицированные трещины**.

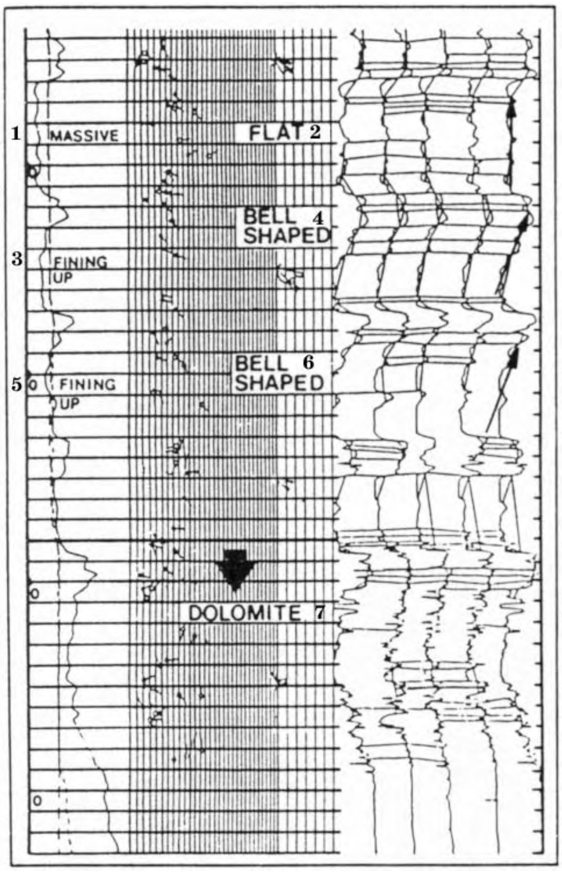



**Рис.6.8-23. Пример эволюции сопротивления в карбонатном пласте (из Theys и др., 1983).**
(1- массивные отложения; 2- плоская форма; 3,5- уменьшение размера зерен вверх по разрезу; 4,6- колоколообразная форма; 7- доломит)

### 6.8.3.3. Границы

Границы выделить сложно, за исключением случая, когда они соответствуют резкому изменению литологии.

### 6.8.3.4. Электрокомплексы

Можно наблюдать последующую эволюцию состава и осадочных элементов, а также форму «колокол» или «воронка» кривых сопротивления наклономера (рис.6.8-23), что позволяет интерпретировать интервал в терминах последовательностей и условий осадконакопления (см. предыдущие рисунки).

# *6.9. ГЛУБОКОВОДНАЯ КЛАСТИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ*

## 6.9.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Обстановка, характеризуемая осадками, отложенными в массе воды ниже зоны волновой активности, в результате действия механизмов гравитационного течения осадочного материала. Она иллюстрирована блок-диаграммой на рис.6.9-1. Теоретический вертикальный разрез последовательности подводного конуса выноса воспроизведен на рис.6.9-2.


**Рис.6.9-1. Теоретическая иллюстрация глубоководной кластической обстановки осадконакопления, показывающая бимодальное русловое и паводковое осадконакопление под действием турбидитных течений, которые пересекают турбидитный конус выноса. Модель в значительной степени основана на конусе Astoria (из Nelson и Kulm, 1973). Буквенные обозначения относятся к подразделениям последовательности Боума.**

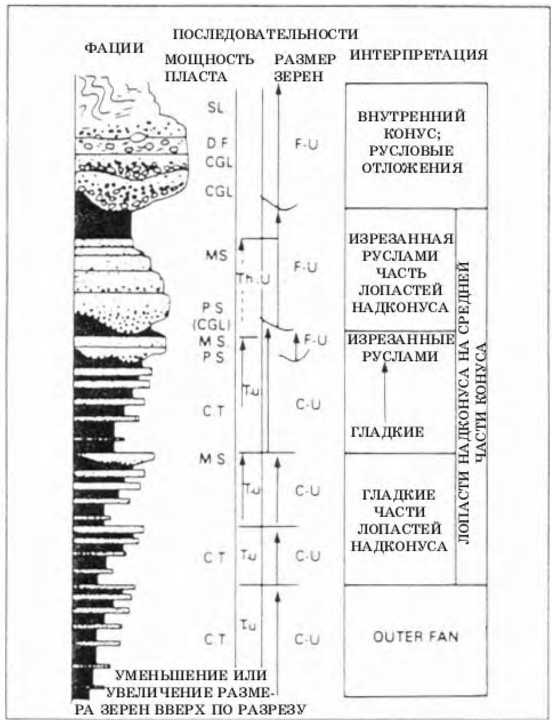



**Рис.6.9-2. Вертикальный разрез, показывающий стратиграфическую последовательность гипотетического подводного конуса выноса, сформировавшуюся в результате проградации конуса. C.T. = классические турбидиты; M.S. = массивный песчаник; P.S. = галечниковый песчаник; D.F. = обломочный поток. Стрелки показывают последовательности, характеризующиеся увеличением мощности (T.U.) и размера зерен (C.U.), и уменьшением мощности (Th.U.) и размера зерен (F.U.) вверх по разрезу. (По Walker, 1975).**

## 6.9.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ФАЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

### 6.9.2.1. Литология

Два параметра должны быть рассмотрены по отдельности.

#### *6.9.2.1.1.* Состав

В общем случае, основными минералами является кварц, калиевые полевые шпаты, плагиоклазы и слюды. Присутствуют также обломки пород. Таким образом, песчаники изменяются от субграувакк до граувакк. Но, в зависимости от источника питающего осадочного материала, песчаники могут также состо- ять из чистого кварца (ортокварцитовые пески), из чистого карбоната или даже из вулканического щебня. Присутствуют скелетные обломки, которые могут образовывать конкреции (или сцементированные шары, или желваки) путем растворения, диффузии и переосаждения кальцита в поровом пространстве. Присутствуют также углистые остатки и обломки глинистого сланца. Глина являет- ся основной матрицей и цементом. Может присутствовать глауконит.

#### *6.9.2.1.2.* Текстура

Размер зерен может изменяться от гравия до глины. Сортировка очень плохая до совершенной (рис.6.9-3). Низкая величина отношения зерна-матрица. Присутствуют внутриформационные конгломераты, обусловленные переработкой предыдущих отложений новым потоком осадочного материала. Размер зерен уменьшается в направлении от проксимального конца к отдаленному концу турбидитовых отложений.

### 6.9.2.2. Структура

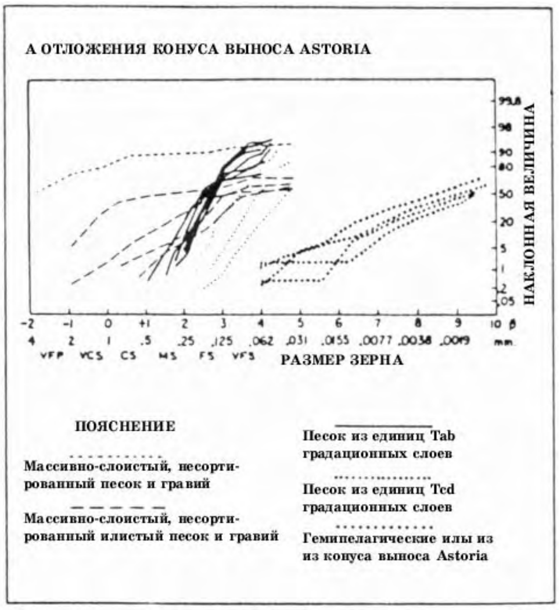



**Рис.6.9-3. График в логарифмическом масштабе распределения размера зерен репрезентативных типов осадочного материала для конуса выноса Astoria. Массивные чистые пески и гравий, и массивные илистые пески и гравий – из долин верхней части конуса. Пески AB и CD Боума – из средней и нижней частей конуса, а гемипелагические илы – со всего конуса. (Из Nelson и Kulm, 1973).**

Градационные слои ритмиче- ски чередуются с глинистыми сланца- ми. Крупномасштабная косая слоистость отсутствует. Распространены подошвенные знаки, асимметричные знаки ряби, тонкие и конволютные слои. Обычно присутствуют следы и следы волочения (Pettijohn и др., 1972).

### 6.9.2.4. Последовательности

Вертикальная и горизонтальная последовательность размера зерен одного потока в основном характеризуется уменьшением. Последовательности можно также распознать по сортировке, осадочным структурам и изменениям мощности. Это иллюстрируется последовательностью Боума (1962), которая применяется к типичным турбидитам (рис.6.9-4).

Что касается близости питающего русла, могут быть описаны различные вертикальные и горизонтальные последовательности, неполные и срезанные, сравнительно с последовательностью Боума (рис.6.9-5 и 6.9-6).

Эта эволюция мощности пластов хорошо заметна, если сравнивать проксимальные и отдаленные отложения (Таблица 6.9-1).

В зависимости от основного действующего процесса, последовательности могут быть модифицированы так, как показано на рис.6.9-7).


**Рис.6.9-4. Последовательность Боума структурных подразделений в турбидитовом пласте и интерпретация режима потока (модификация по Middleton и Hampton, 1976).**

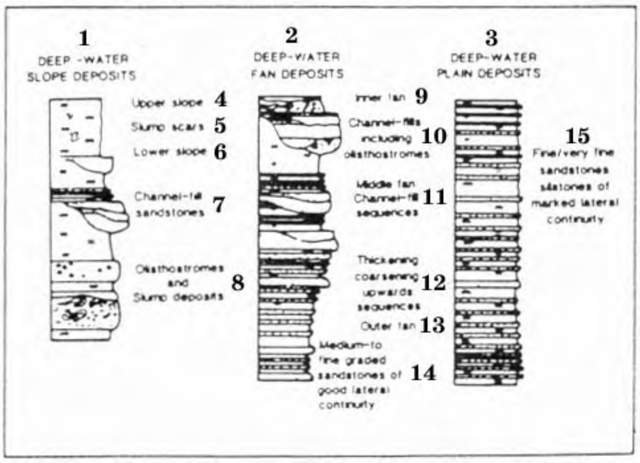



**Рис.6.9-5а. Последовательности, характерные для отложений склона, конуса выноса и равнины бассейна (из Mutti и Ricci-Lucchi, 1972).**

(1- глубоководные отложения склона; 2- глубоководные отложения конуса выноса; 3- глубоководные отложения равнины; 4- верхний склон; 5- размывы склона; 6- нижний склон; 7- русловые песчаники; 8- олистостромы и оползневые отложения; 9- внутренний конус; 10- русловые отложения, включая олистостромы; 11- средний конус; последовательности русловых отложений; 12- последовательности, характеризующиеся увеличением размера зерен и мощности вверх по разрезу; 13- внешний конус; 14- песчаники со степенью сортировки от средней до высокой, с хорошей выдержанностью в латеральном направлении; 15- тонкие/очень тонкие песчаники; песчаники с заметной выдержанностью в латеральном направлении)

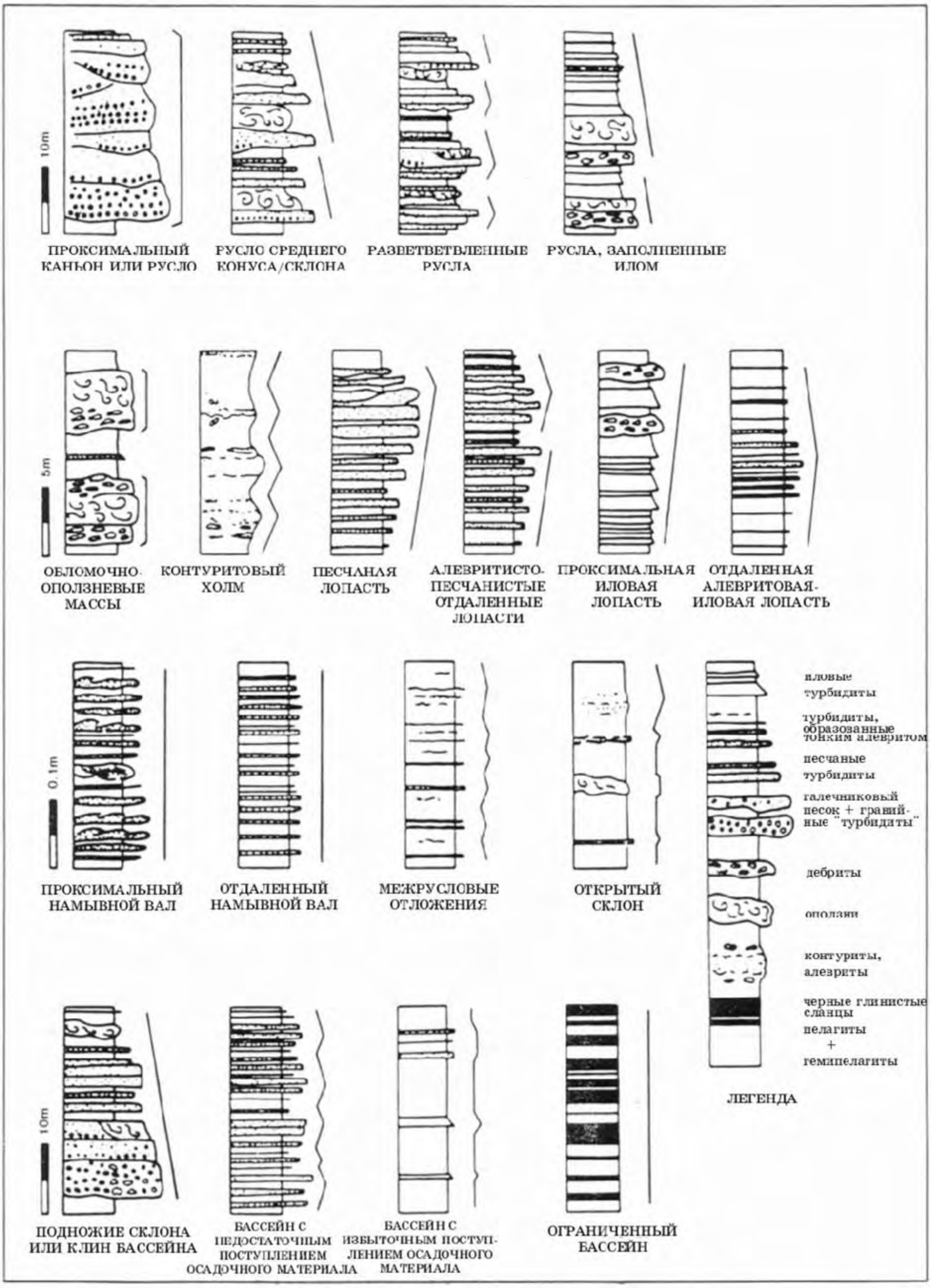



**Рис.6.9-5b. Типичные вертикальные последовательности турбидитных и ассоциированных отложений из различных морфологических элементов в разных глубоководных обстановках осадконакопления. Последовательности, характеризующиеся уменьшением и увеличением размера зерен вверх по разрезу, блоковые, симметричные и неправильные последовательности обозначены линиями справа от литологических колонок (из Stow, 1985).**

Таблица 6.9-1

*Сопоставление проксимальных и отдаленных турбидитовыхпоследовательностей*

(из Walker, 1967).

| | ПРОКСИМАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ | ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ |
|---|---|---|
| A | Мощные слои | Тонкие слои |
| B | Крупнозернистые слои | Мелкозернистые слои |
| C | Отдельные песчаники, часто слившиеся, в результате чего образуются мощные слои | Отдельные песчаники, редко слившиеся |
| D | Слои с изменяющейся мощностью | Правильные параллельные слои |
| E | Распространены размывы, эрозионные карманы и каналы | Несколько мелких размывов; каналы отсутст-вуют |
| F | Слойки аргиллита между песчаниками плохо развиты или отсутствуют. Большая величина отношения песок/ил | Слои аргиллита между песчаниками хорошо развиты. Малая величина отношения песок/ил |
| G | Слои не отсортированы или плохо отсор-тированы | Слои хорошо отсортированы |
| H | Подошва песка всегда резко выражена, кровля часто резко выражена, много по-следовательностей AE | Подошва песка всегда резко выражена, кровля постепенно переходит в боле тонкие отложе-ния, последовательности AE редко встреча-ются |
| I | Тонкая слоистость и знаки ряби встреча-ются редко | Тонкая слоистость и знаки ряби весьма рас-пространены |
| J | Знаки размыва встречаются намного ча-ще, чем следы выпахивания | Следы выпахивания встречаются намного ча-ще, чем знаки размыва |

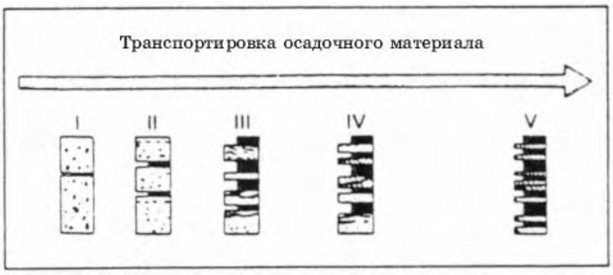



**Рис.6.9-6. Схематическая иллюстрация уменьшения мощности слоев, размера зе-рен и песчано-глинистого коэффициента в турбидитовой последовательности вниз по течению (из Einsele, 1963).**

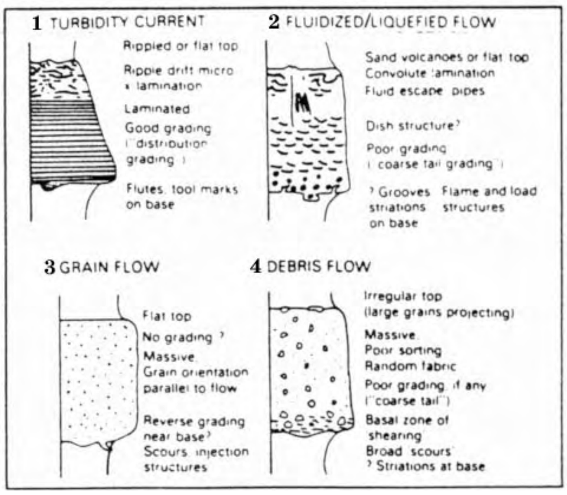



**Рис.6.9-7. Структуры и текстуры отложений, возникших в результате действия только ме-ханизма течения осадка под действием силы тяжести.**

(Перевод текста дан в таблице ниже)

| 1 | 2 |
|---|---|
| ТУРБИДИТНОЕ ТЕЧЕНИЕ<br>Знаки ряби или плоская кровля<br><br>Косая слойчатость, образовавшаяся наложением систем ряби, мигрирующих одна за другой | ФЛЮИДИЗИРОВАННЫЙ/СЖИЖЕННЫЙ ПОТОК<br><br>Песчаные вулканы или плоская кровля<br>Конволютная тонкая слоистость |

| | |
|---|---|
| Тонкая слоистость<br>Хорошая сортировка<br>(«сортировка распределения» – «distribution grading»)<br><br>Выемки, следы выпахивания на подошве | Осадочные трубки утечки флюида<br><br>Блюдцеобразная структура<br><br>Плохая сортировка<br>(«сортировка крупнозернистой тыловой части» – «coarse tail grading»)<br><br>Канавки, пламенная структура и структуры нагрузки на подошве |
| **3** | **4** |
| ПОТОК ЗЕРЕН<br><br>Плоская кровля<br><br>Сортировка отсутствует<br><br>Массивные отложения<br><br>Ориентация зерен<br>параллельно потоку<br><br>Обратная сортировка<br>вблизи подошвы<br>Размывы, инъекционные<br>структуры | ОБЛОМОЧНЫЙ ПОТОК<br><br>Неправильная кровля<br>(выступающие части крупных зерен)<br><br>Массивные отложения<br>Плохая сортировка<br><br>Случайная текстура<br><br>Плохая сортировка (если она вообще есть)<br>(«крупнозернистая тыловая часть»)<br><br>Подошвенная зона<br>сдвига<br>Широкие размывы<br>Бороздки на подошве |

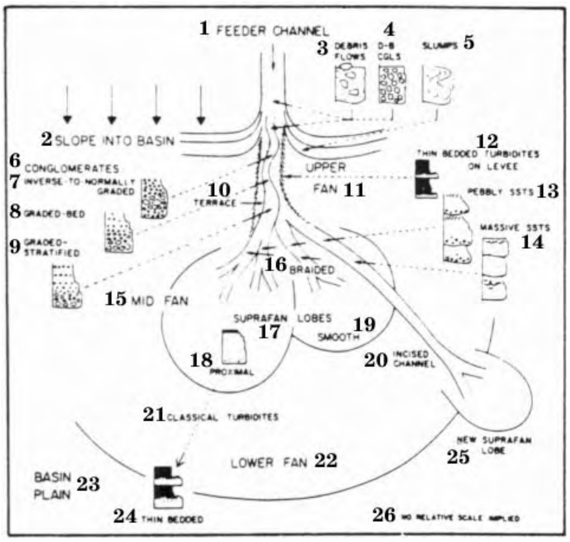



**Рис.6.9-8. Модель осадконакопления подводного конуса выноса (из Walker, 1975).**
(1- питающее русло; 2- склон в бассейн; 3- обломочный поток; 4- обломочные конгломераты; 5- оползни; 6- конгломераты; 7- от обратно сортированных до нормально сортированных; 8- градационная слоистость; 9- градационная выраженная слоистость; 10- терраса; 11- верхний конус; 12- тонкослоистые турбидиты на намывном валу; 13- галечниковые песчаники; 14- массивные песчаники; 15- средний конус; 16- разветвленные русла; 17- лопасти надконуса; 18- проксимальные отложения; 19- гладкая поверхность; 20- врезанное русло; 21- классические турбидиты; 22- нижний конус; 23- равнина бассейна; 24- тонкослоистые отложения; 25- новая лопасть надконуса; 26- без соблюдения относительного масштаба)

## 6.9.2.5. Геометрия тела

Турбидитовые тела могут быть разделены на три основные группы (рис.6.9-8 – 6.9-10).

- Отложения русел или подводных каньонов: вытянутые заполнения длиной несколько миль, которые срезают подстилающие слои. Они располагаются на верхних склонах, близко к устьям каньонов (*верхний конус* и *верхняя часть среднего конуса*). Эти отложения могут быть совершенно прямыми, а также разветвленными и раздвоенными.

- Отложения подводного конуса выноса: имеют форму, близкую к покровной. Они демонстрируют радиальную картину осадконакопления (в форме конуса), и располагаются в *нижней части среднего конуса* и в *нижнем конусе*.
- Отложения дна бассейна: отложения покровного типа, занимающие значительную площадь, в сравнении с двумя предыдущими группами.

Мощность каждой элементарной последовательности изменяется от нескольких сантиметров до более чем 3 метров. Мегапоследовательность состоит из 10 – 100 и более элементарных последовательностей, и может быть подразделена на несколько мезопоследовательностей, отмеченных увеличение мощности вверх по разрезу. Рост мегапоследовательности обусловлен проградацией и отчуждением действующих лопастей и русел надконуса в латеральном направлении (рис.6.9-11).

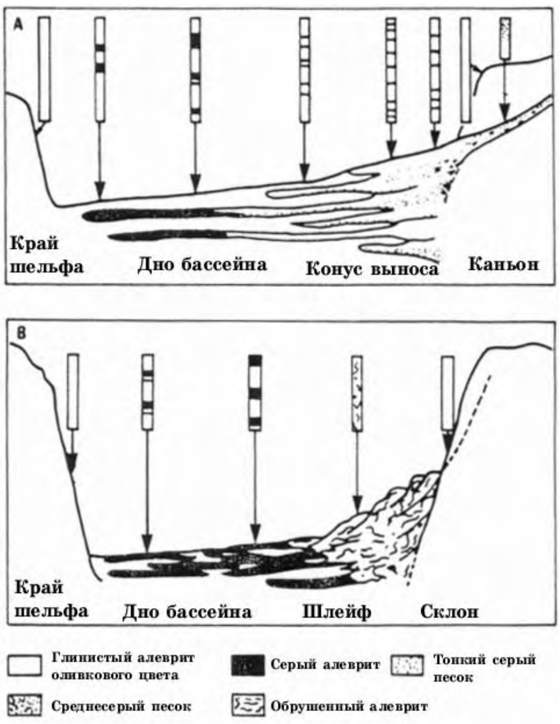



**Рис.6.9-9. Разрез, показывающий соотношение краев бассейна (каньон-конус выноса и склон-шлейф) и дна бассейна (из Gorsline и Emery, 1959).**

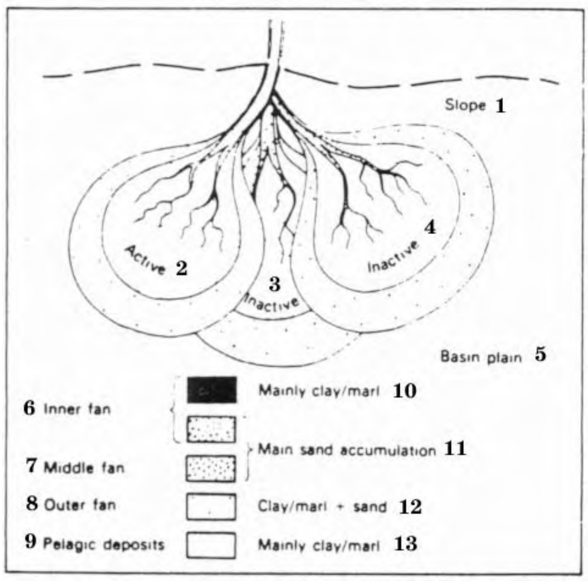



**Рис.6.9-11. Модель роста конуса выноса за счет проградации и отчуждения (авульсии) в латеральном направлении лопасти основного конуса (из Kruit и др., 1975).**

(1- склон; 2- действующая лопасть; 3.4- недействующая лопасть; 5- равнина бассейна; 6- внутренний конус; 7- средний конус; 8- внешний конус; 9- пелагические отложения; 10,13- в основном глина/мергель; 11- основное скопление песка; 12- глина/мергель + песок)

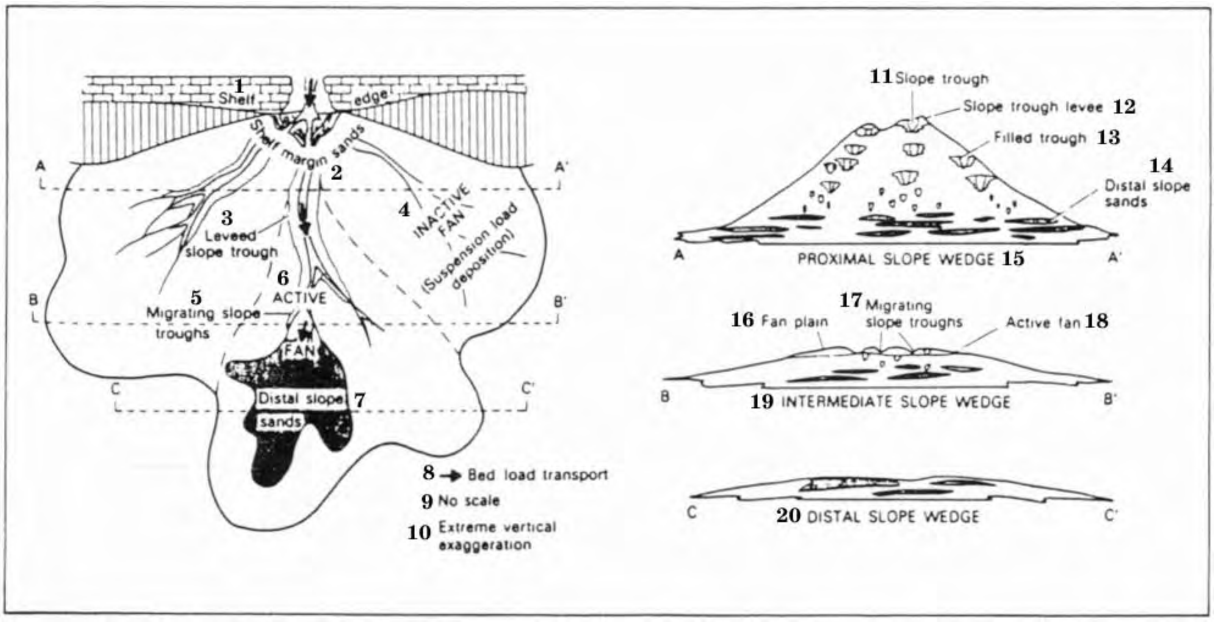



**Рис.6.9-10. Модель конуса для верхнепенсильванской группы Cisco, север Техаса (из Galloway и Brown, 1973).**
(1- край шельфа; 2- пески края шельфа; 3- впадина склона с намывным валом; 4- недействующий конус выноса; 5- мигрирующие впадины склона; 6- действующий конус выноса; 7- пески отдаленного склона; 8- транспортировка твердого стока у ложа; 9- без масштаба; 10- сильное увеличение по вертикали; 11- впадина склона; 12- намывной вал впадины склона; 13- заполненная впадина; 14- пески отдаленного склона; 15- клин проксимального склона; 16- равнина конуса; 17- мигрирующие впадины склона; 18- действующий конус; 19- клин промежуточного склона; 20- клин отдаленного склона)

## 6.9.2.6. Модель направленного потока

Поток формируется под действием силы тяжести и направлен вниз по склону. Могут иметь место различные процессы (рис.6.9-12), формирующие различные типы отложений. По отношению к связности подстилающего слоя (рис.6.9-14), в турбидитном течении можно распознать различные траектории потока и профили скорости (рис.6.9-13).

В потоке массы, когда начинается движение под действием силы тяжести, поток сжимает водную массу, что обуславливает формирование колебательной волны, энергия которой затухает во времени (дисперсионное давление).

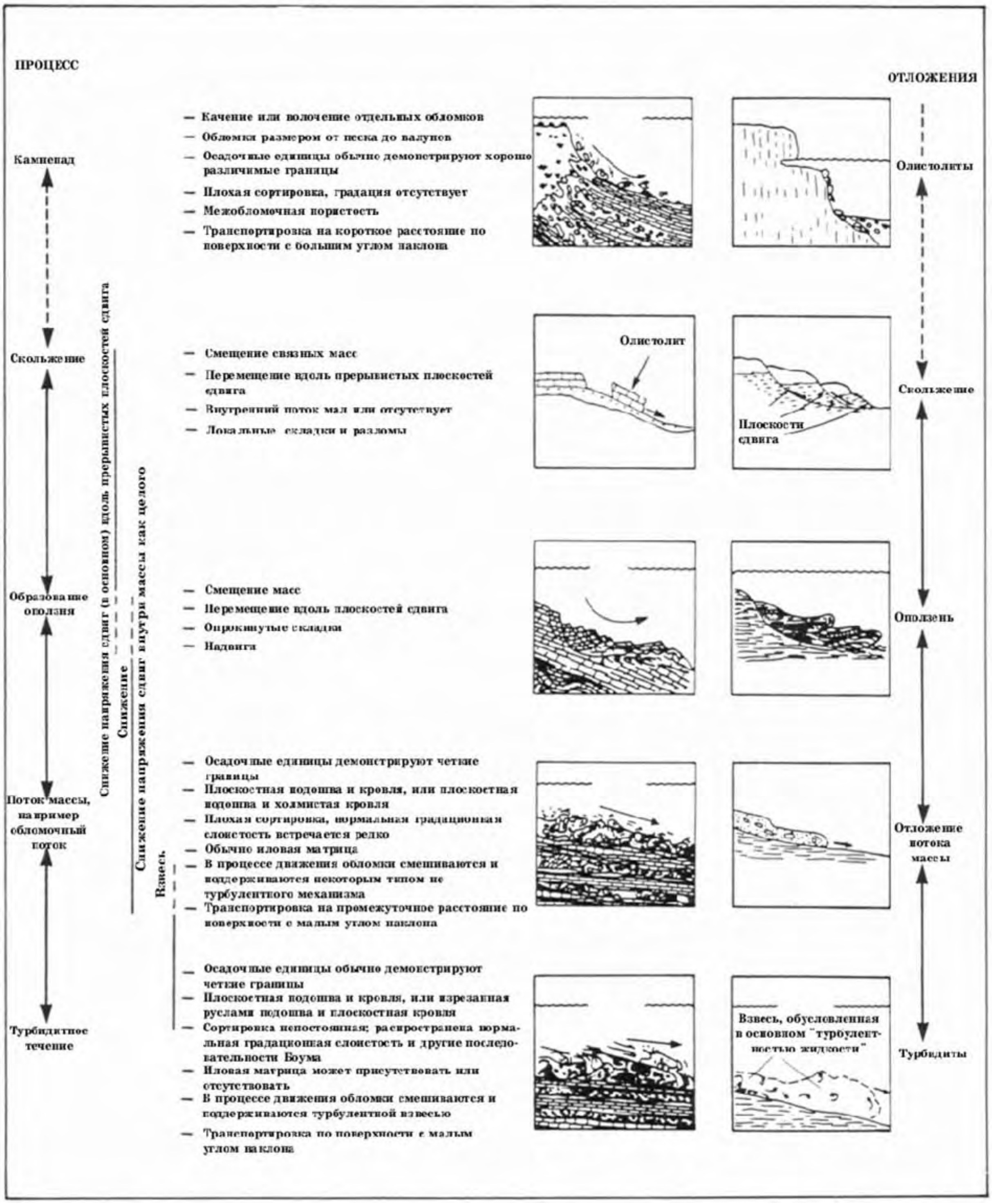



**Рис.6.9-12. Основные типы процессов транспортировки под действием силы тяжести (из Dott, 1963, в упрощенном виде).**

Что касается затухающей энергии, эта волна формирует (рис.6.9-4): параллельные тонкие слои (единица B последовательности Боума), знаки ряби (единица C), и тонкие верхние параллельные слои (единица D). Интерпретация взаимосвязи различных процессов, происходящих в одном событии транспортировки масс под действием силы тяжести, показана на рис.6.9-15.

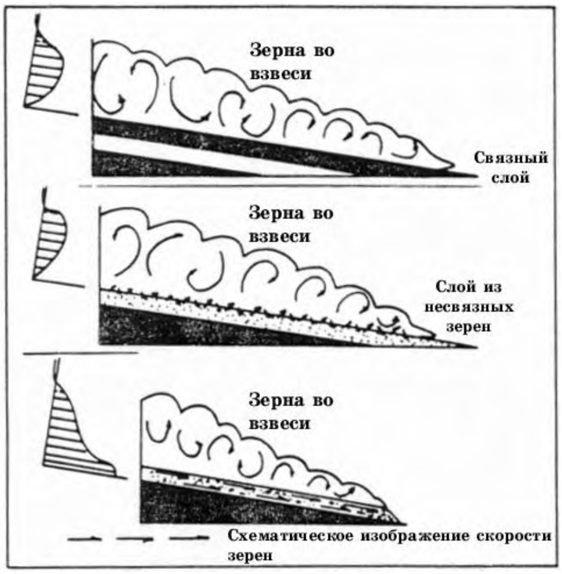
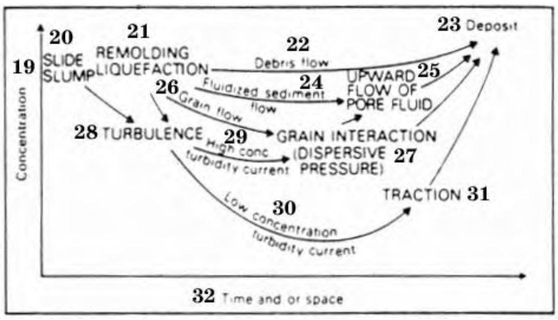



**Рис.6.9-13. Различные движения турбидитных течений в зависимости от связности подстилающего слоя (из Friedman и Sanders, 1978).**



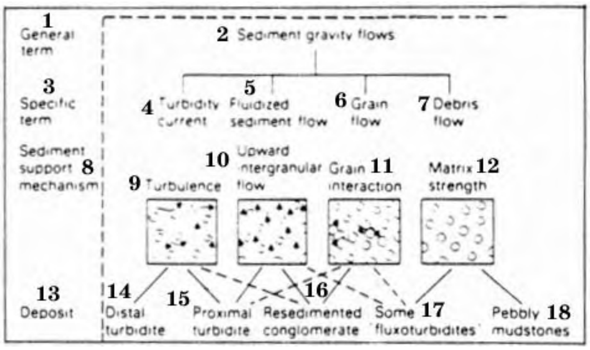




**Рис.6.9-14. Классификация гравитационного потока осадочного материала, основанная на механизме поддержки зерен (из Middleton и Hampton, 1973).**

(1- общий термин; 2- гравитационный поток осадочного материала; 3- специфичный термин; 4- турбидитное течение; 5- сжиженный поток осадочного материала; 6- поток зерен; 7- обломочный поток; 8- механизм поддержки осадочного материала; 9- турбулентность; 10- восходящий межзерновой поток; 11- взаимодействие зерен; 12- прочность матрицы; 13- отложения; 14- отдаленные турбидиты; 15- проксимальные турбидиты; 16- переотложенный конгломерат; 17- некоторое количество «флюксотурбидитов» («fluxoturbidites»); 18- галечниковые аргиллиты)

**Рис.6.9-15 Взаимосвязь различных процессов в одном событии транспортировке материала под действием силы тяжести (по Middleton и Hampton).**

(19- концентрация; 20- оползни; 21- разрыхление, сжижение; 22- обломочный поток; 23- отложения; 24- сжиженный поток осадочного материала; 25- восходящий поток порового флюида; 27- взаимодействие зерен (дисперсионное давление); 28- турбулентность; 29- турбидитное течение с высокой концентрацией; 30- турбидитное течение с низкой концентрацией; 31- волочение; 32- время и/или пространство)

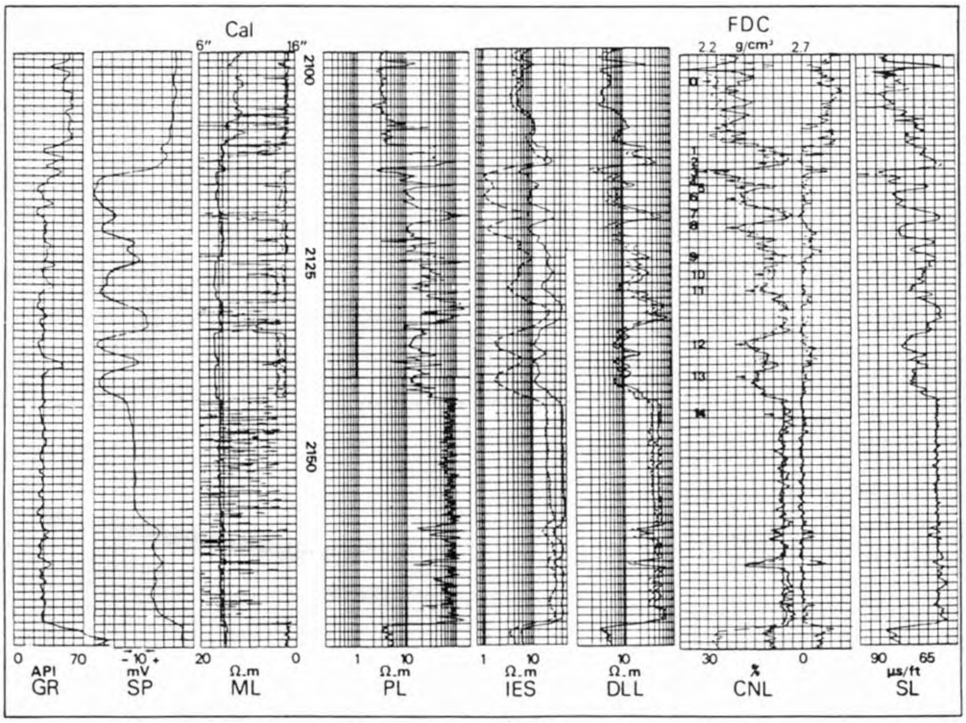



**Рис.8.9-16 Сводная диаграмма ГИС во флишевых и турбидитовых отложениях (из Payre и Serra, 1979). Соответствие турбидиту не является очевидным. Сделать вывод о турбидитовых отложениях можно только на основании показания наклономера (см. Рис.6.9-22).**

Рис.6.9-16. Сводная диаграмма во флишевых и в турбидитовых отложениях (из Payre и Serra, 1979). Из диаграммы не следует, что она соответствует турбидиту. Признаки турбидитовых отложений демонстрируют только данные наклономера (см. рис.6.9-22).

## 6.9.2.7. Характеристики коллектора

Поскольку пески обычно являются незрелыми, их характеристики часто умеренные до плохих. Проницаемость возрастает в направлении от отдаленных конусов к проксимальным конусам. Отдаленные пески образуют покровные слои без вертикальной проницаемости. Проксимальные пески могут быть мощными, с хорошей вертикальной проницаемостью, рукавообразной формы. Часто наблюдается избыточное давление.

## 6.9.3. КАРОТАЖНЫЕ СИГНАЛЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

### 6.9.3.1. Электролитофации

В соответствии с типом турбидитов (кремнисто-обломочным или биокластическим), следует рассмотреть два вида каротажных сигналов.

#### ***6.9.3.1.1.*** Состав

- *Кремнисто-обломочные турбидиты*

Содержание тория и калия, и, следовательно, уровень радиоактивности, может изменяться в турбидитовых отложениях в широких пределах, в зависимости от минералогической зрелости минералов, поступивших из исходных пород. На рис.6.9-16 показан пример зрелого материала с относительно низкой радиоактивностью (20-35 ед. API). На рис.6.9-18, напротив, показана очень высокая радиоактивность, отражающая незрелый материал с высоким содержанием калиевого полевого шпата и слюд, о чем свидетельствуют результаты интерпретации графиков взаимной зависимости на рис.6.9-19. На графике взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$, фигуративные точки попадают между линиями кварцевого песка и известняка (обычно ближе к последним – рис.6.9-17 и 6.9-19). Некоторые точки, близкие к области глинистого сланца, соответствуют пелагическим отложениям глинистого сланца (единица E последовательности Боума).

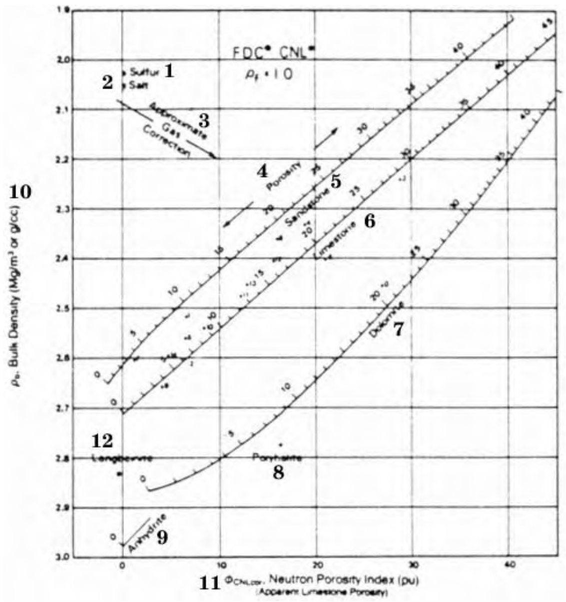



**Рис.6.9-17. График взаимной зависимости плотности – пористости по нейтронному каротажу, показывающий положение некоторых значений на рис.6.9-16 (из Payre и Serra, 1979).** (1- сера; 2- соль; 3- приблизительная поправка за влияние газа; 4- пористость; 5- песчаник; 6- известняк; 7- доломит; 8- полигалит; 9- ангидрит; 10- объемная плотность; 11- коэффициент пористости по нейтронному каротажу (единицы пористости) (кажущаяся пористость известняка); 12- лангбейнит)

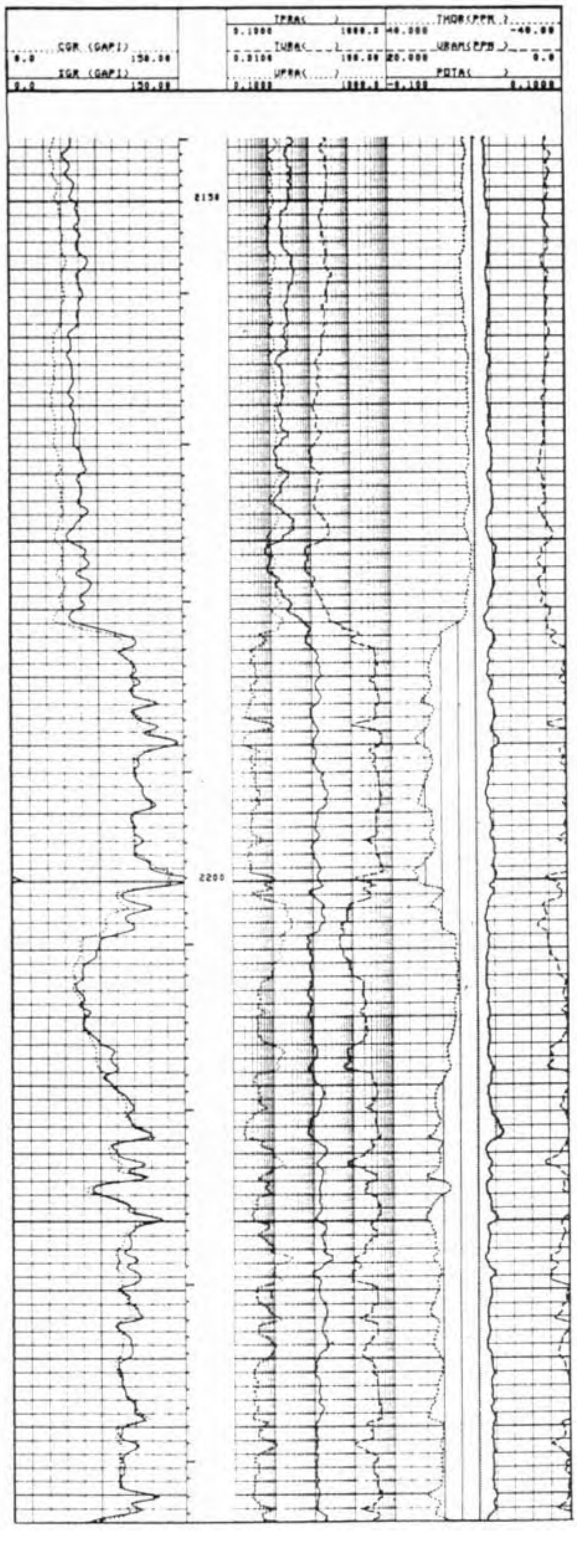



**Рис.6.9-18. Диаграмма NGS в пластах песчаника North Palk Bay, Индия (из Schlumberger, Well Evaluation Conference, Индия, 1983).**

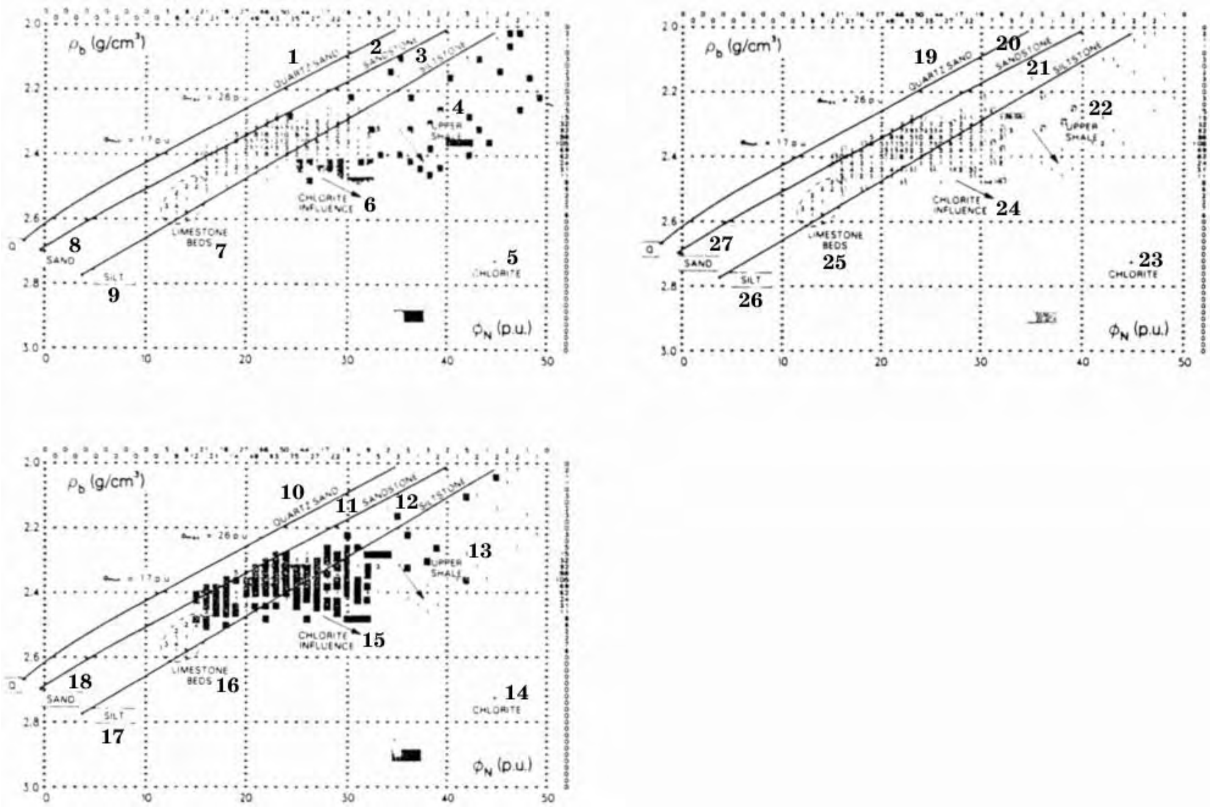



**Рис.6.9-19. Набор графиков взаимной зависимости, показывающих минералогию пластов на рис.6.9-18 (из Schlumberger, Well Evaluation Conference, Индия, 1983).**

(1,10,19- кварцевый песок; 2,11,20- песчаник; 3,12,21- алевролит; 4,13,22- верхний глинистый сланец; 5,14,23- хлорит; 6,15,24- влияние хлорита; 7,16,25- пласты известняка; 8,18,27- песок; 9,17,26- алеврит)

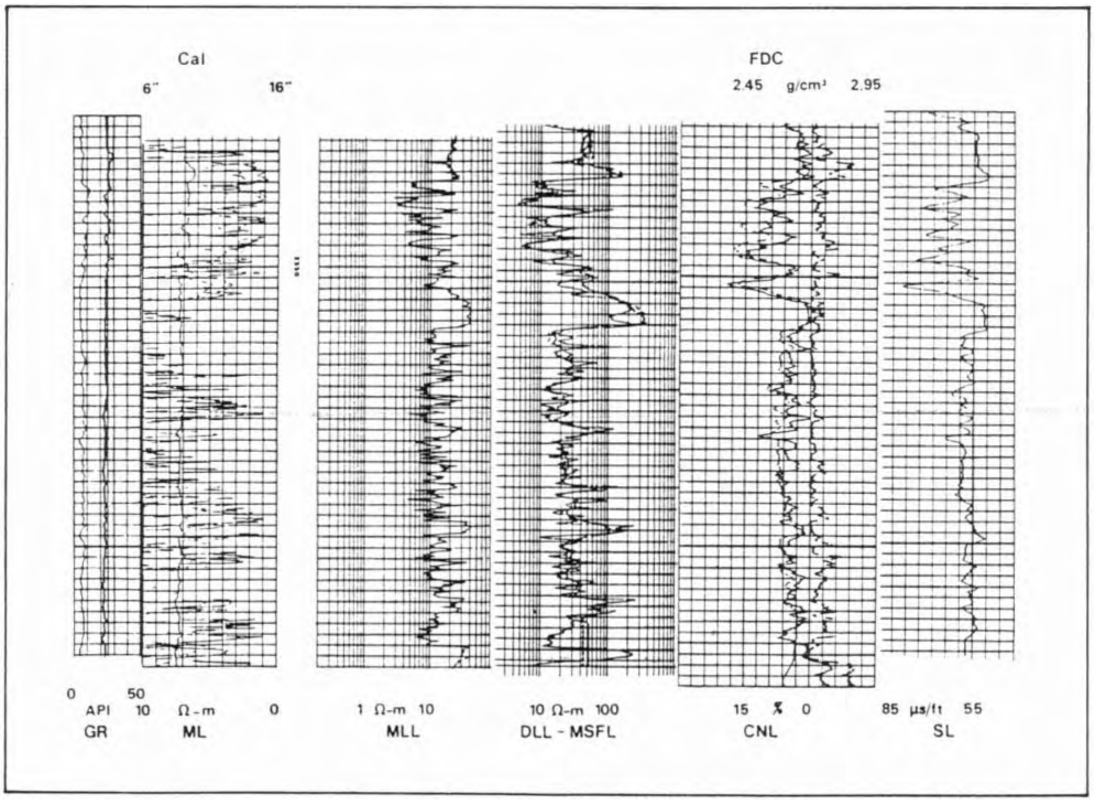



**Рис.6.9-20. Сводная диаграмма в карбонатном турбидите (из Payre и Serra, 1979). Данные ГИС не указывают на турбидитовые отложения. Интерпретация изображения GEODIP (рис.6.9-26) покажет последовательности и другие особенности, по которым можно судить о происхождении отложений.**

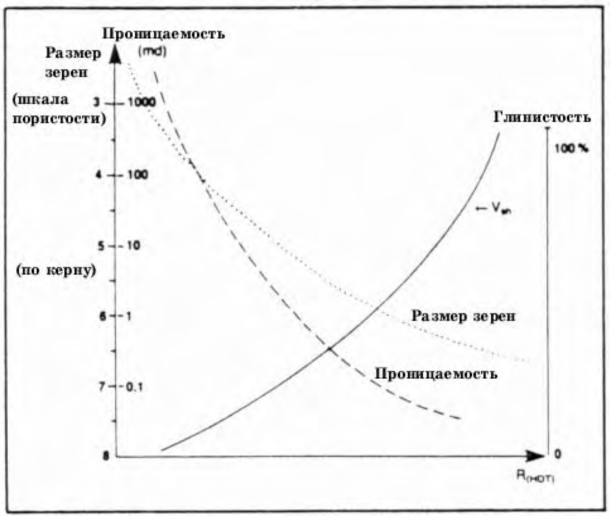



**Рис.6.9-21. Пример соотношения между кривой сопротивления наклономера с одной стороны, и размером зерен и проницаемостью с другой стороны.**

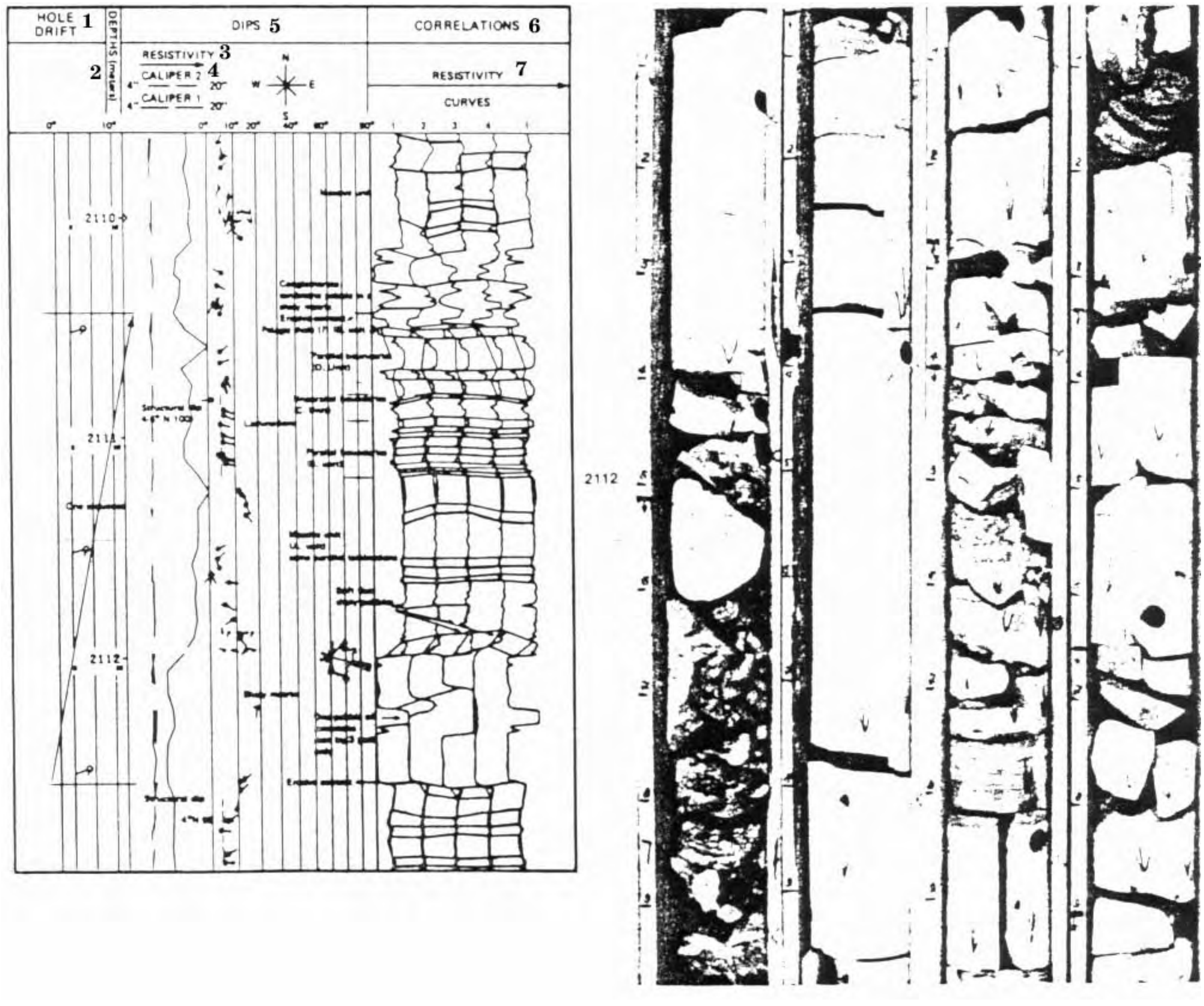



**Рис.6.9-22. Последовательность Боума, как она видна на данных наклономера (a), и ее интерпретация. (b) Фотография керна из этого же интервала (из Payre и Serra, 1979).**
(1- отклонение скважины; 2- глубины (в метрах); 3- сопротивление; 4- каверномер 2; 5- наклоны; 6- корреляции; 7- кривые сопротивления)

- *Биокластические (карбонатные) турбидиты*

Радиоактивность обычно низкая (менее 10 ед. API в примере на рис.6.9-20), что связано с очень низким содержанием тория и калия. В пелагических илах содержание калия может быть более высоким. На графике взаимной зависимости $\rho_b$ и $\varnothing_N$, фигуративные точки располагаются очень близко к линии известняка. Значения Pe указывают на кальцит как на основной минерал.

### *6.9.3.1.2.* Текстура

В кремнисто-обломочных турбидитах, представление об относительном размере зерен можно получить, исследуя графики взаимной зависимости (рис.6.9-19) или, лучше, эволюцию сопротивления наклономера, после калибровки по результатам анализа керна (рис.6.9-19). В карбонатном турбидите, форма кривых сопротивления наклономера может помочь распознать аргиллит, грейнстон или баундстон, или брекчию.

## 6.9.3.2. Картины наклонов

Как показано на рис.6.9-22, в случае проксимального конуса выноса, изменения величины и азимута падения отражают относительное положение в последовательности Боума: рассеянные наклоны или их отсутствие в единице A; незначительные изменения или их отсутствие (зеленая картина) в единице B или D; более заметные изменения величины и азимута падения в единице C. Изолированные тонкие пики проводимости в массивных песках (единица A) может соответствовать плоским обломкам глинистого сланца. Изолированные пики сопротивления в массивных песках могут соответствовать сцементированным шаровидным телам, которые являются результатом растворения биокластов и осаждения кальцита в качестве цемента в окружающем поровом пространстве (рис.6.9-23). Такие пики указывают на диагенетические эффекты.

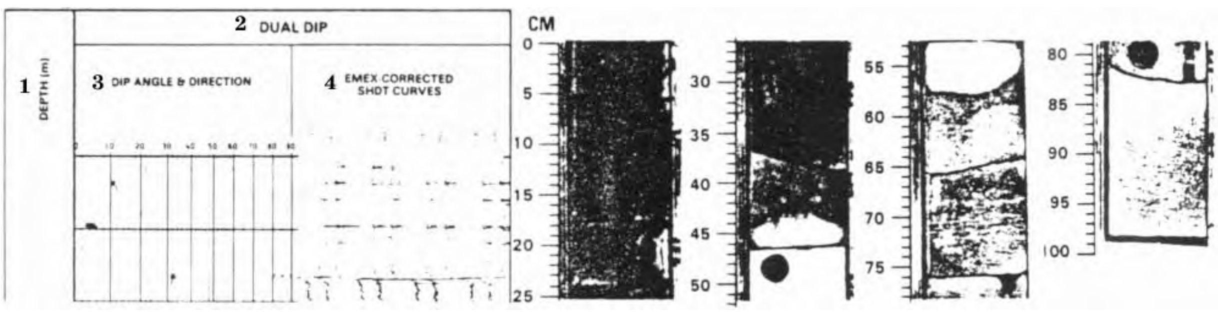



**Рис.6.9-23. Изолированные пики сопротивления в массивном песчанике, соответствующие сцементированным шаровидным телам, о чем свидетельствует LOCDIP (a) и подтверждает фотография керна (b) (из Delhomme и Serra, 1984).**

(1- глубина (в метрах); 2- двойной наклон; 3- угол и направление наклона; 4- кривые SHDT, исправленные за влияние EMEX (ток, испускаемый зондом в целом)

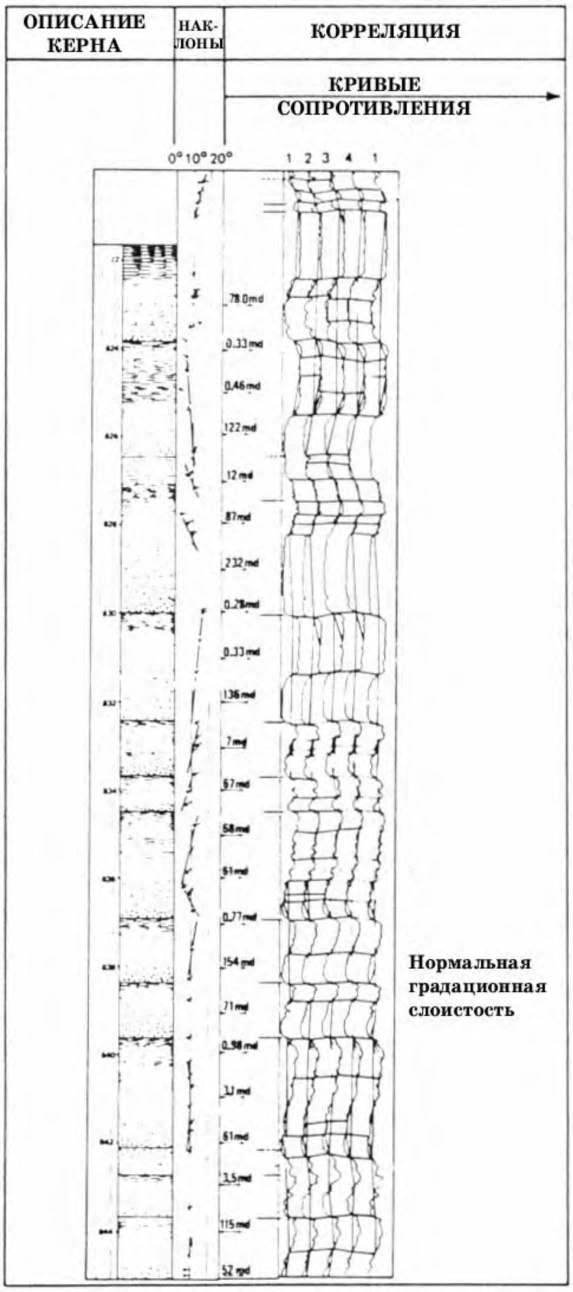



Рис.6.9-24a. **Пример нескольких турбидитовых последовательностей, выявленных с помощью наклономера. Эволюция сопротивления позволяет обнаружить последовательности, характеризующиеся уменьшением и увеличением размера зерен вверх по разрезу, а также мегапоследовательности, где мощность увеличивается или уменьшается вверх по разрезу.**


**Рис.6.9-24b. Увеличенное изображение одной последовательности из предыдущего примера.**

(5- D тонкослоистые глинистые сланцы с алевритистыми слойками; 6- C песчаник, среднезернистый до тонкозернистого, тонкая слоистость со знаками ряби или волнения; 7- B плоскопараллельные тонкие слои, тонкозернистые до среднезернистых; 8- A среднезернистый песчаник, нормально отсортированный, чистый; 9- нормальная градационная слоистость; 10- последовательность, характеризующаяся уменьшением размера зерен вверх по разрезу; 11,16- глинистые или алевритистые отложения; 12- более глинистые отложения; 13- более песчанистые отложения; 14- линия глин; 15- песчанистые отложения; 17- одна микропоследовательность; 18,19- корреляция; 20- линия чистого песка; 21- один фут; 22- одна последовательность; 23- структурный наклон: 7° восток северо-восток; 24- картина наклона; 25- картина течения)

Несколько изолированных пиков сопротивления на кривых сопротивления наклономера отражают сцементированные (matrix supported) конгломераты, если наблюдаются в подошве последовательности. Они могут соответствовать эрозии кровли предыдущих отложений фронтом мутьевого потока, и смешиванию песчаников единицы D или C с пелагическими глинистыми сланцами единицы E. Когда изолированные пики сопротивления наблюдаются где-либо в массивном песке, они соответствуют, в основном, сцементированным шаровидным телам. Могут наблюдаться синие картины, которые, возможно, отражают распространение конуса выноса. Красные картины могут соответствовать облеканию предыдущих отложений или заполнению русел (рис.6.9-24b). Изменения азимута, наблюдаемые в длинном интервале, который включает несколько последовательностей, могут дать представление о значительной ширине конуса выноса вследствие боковой авульсии.

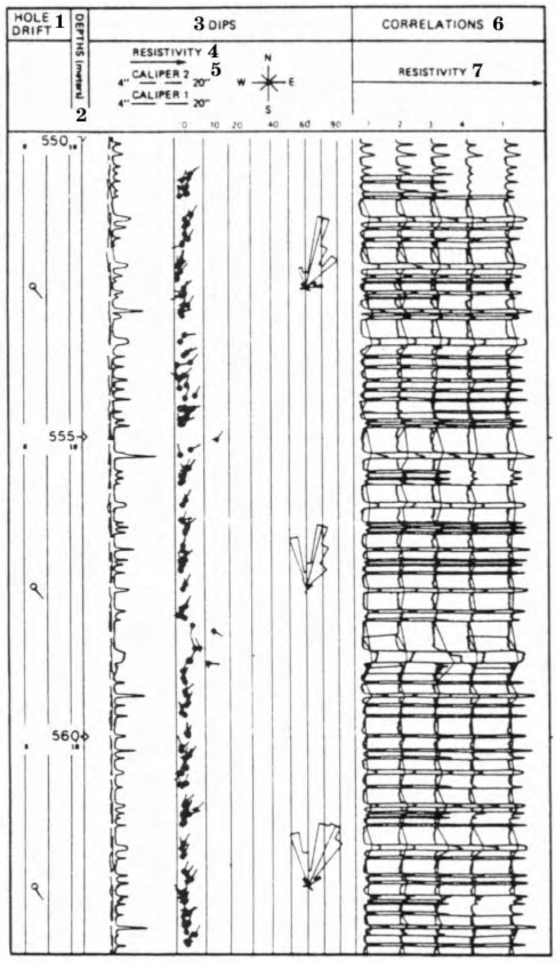



**Рис.6.9-25а. Пример сигналов наклономера в отдаленных турбидитах (векторная диаграмма GEODIP).**

(1- отклонение скважины; 2- глубины (в метрах); 3- наклоны; 4- сопротивление; 5- каверномер 2; 6- корреляции; 7- сопротивление)

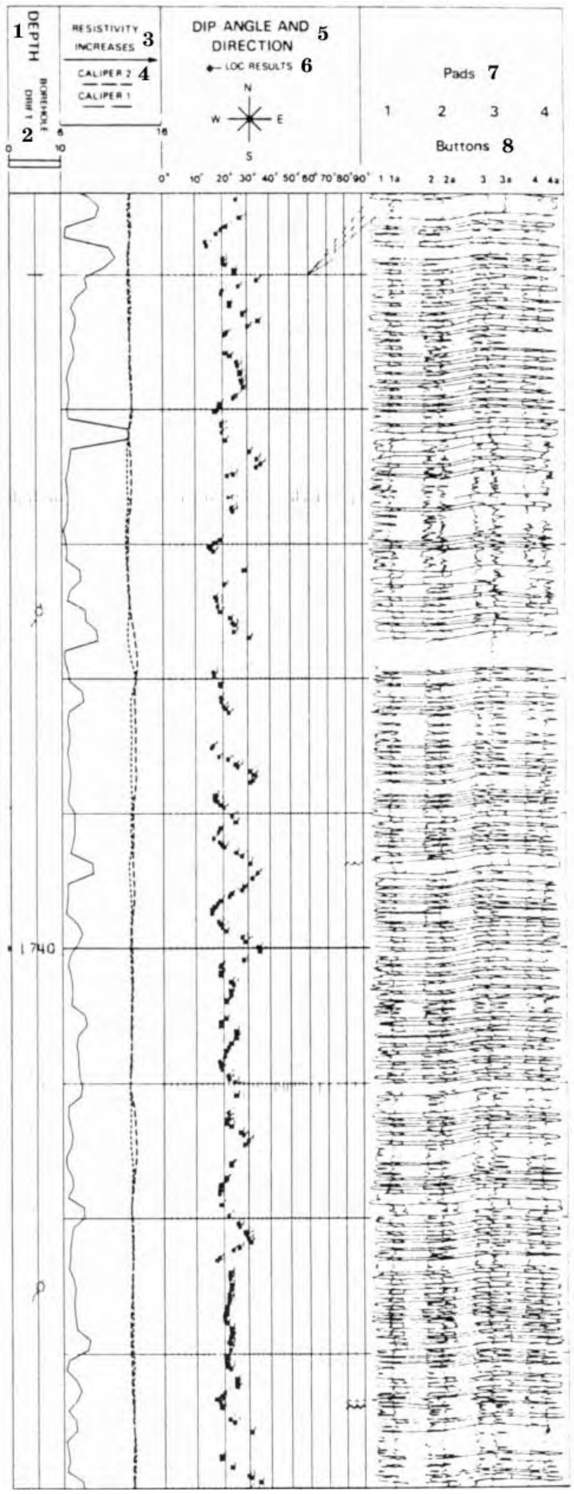



**Рис.6.9-25b. Пример сигналов наклономера в отдаленных турбидитах (векторная диаграмма LOCDIP), который показывает множество синих и красных картин. Они предполагают проградацию конуса выноса при направлении транспортировки на северо-восток, и облекание предыдущего конуса последующим конусом.**

(1- глубина; 2- отклонение скважины; 3- сопротивление возрастает; 4- каверномер 2; 5- угол и направление падения; 6- результаты LOC; 7- прижимные башмаки; 8- дисковые электроды)

В среднем и в отдаленном конусах выноса (рис. 6.9-24а и 6.9-25 соответственно), наклоны более согласованы по величине и по азимуту.

В отложениях потока масс (рис.6.9-26), найдено очень малое количество корреляций, что позволяет сделать вывод о рассеянных наклонах, со случайными изменениями азимута.

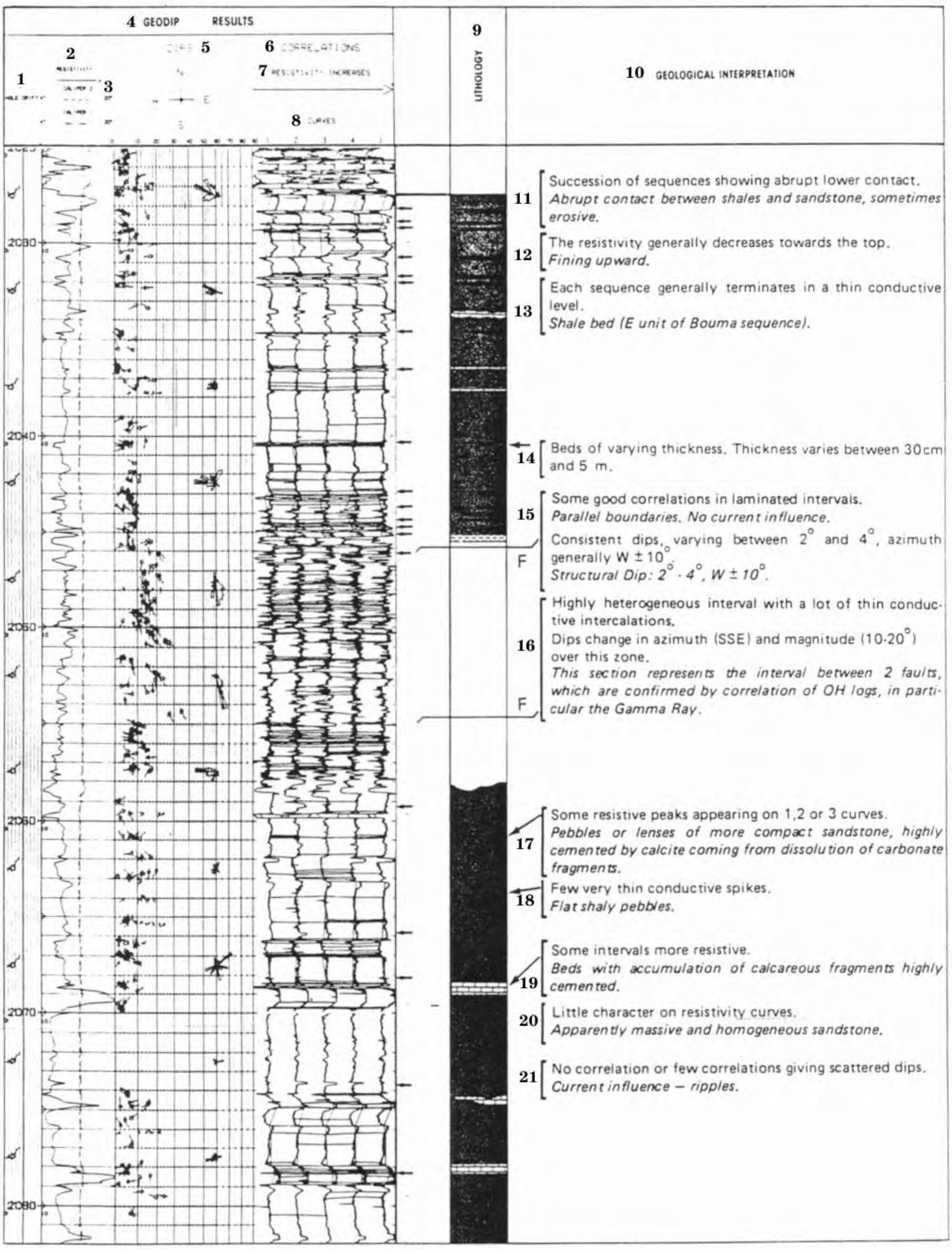



**Рис.6.9-26. Пример сигнала наклономера в отложениях потока масс (из Schlumberger, Well Evaluation Conference, Индия, 1983).**

(1- отклонение скважины; 2- сопротивление; 3- каверномер 2; 4- результаты GEODIP; 5- наклоны; 6- корреляции; 7- сопротивление возрастает; 8- кривые; 9- литология; 10- геологическая интерпретация↓

11 Ряд последовательностей, демонстрирующих резкий нижний контакт.
*Резкий контакт между глинистыми сланцами и песчаником, иногда эрозионный.*
-+\

12 В основном, сопротивление возрастает в направлении кровли.

*Уменьшение размера зерен вверх по разрезу*.

13 В общем случае, каждая последовательность заканчивается в тонком проводящем уровне.
*Слой глинистого сланца (единица Е последовательности Боума).*

14 Слои переменной мощности – от 30 см до 5 м.

15 Некоторое количество хороших корреляций в тонкослоистых интервалах.
*Параллельные границы. Влияние течения отсутствует*.

Согласованные наклоны, изменяющиеся от 2° до 4°; азимут в основном W (запад) ± 10°.
*Структурный наклон: 2° - 4°, W ± 10°*.

16 В этой зоне, наклоны изменяются по азимуту (юг юго-восток) и по величине (10-20°).
*Этот разрез представляет интервал между двумя разломами, которые подтверждаются корреляцией кривых ОН, в частности, ГК.*

17 На одной, двух или трех кривых появляются несколько пиков сопротивления.
*Гальки или линзы более плотного песчаника, хорошо сцементированного кальцитом, который является результатом выщелачивания обломков карбоната*.

18 Несколько очень узких спайков проводимости.
*Плоские глинистые гальки.*

19 Несколько интервалов с повышенным сопротивлением.
*Слои со скоплением хорошо сцементированных известковых обломков.*

20 Некоторое непостоянство кривых сопротивления.
*По-видимому, массивный и однородный песчаник.*

21 Несколько корреляций или их отсутствие, что позволяет сделать вывод о рассеянных наклонах.
Влияние течения – знаки ряби.

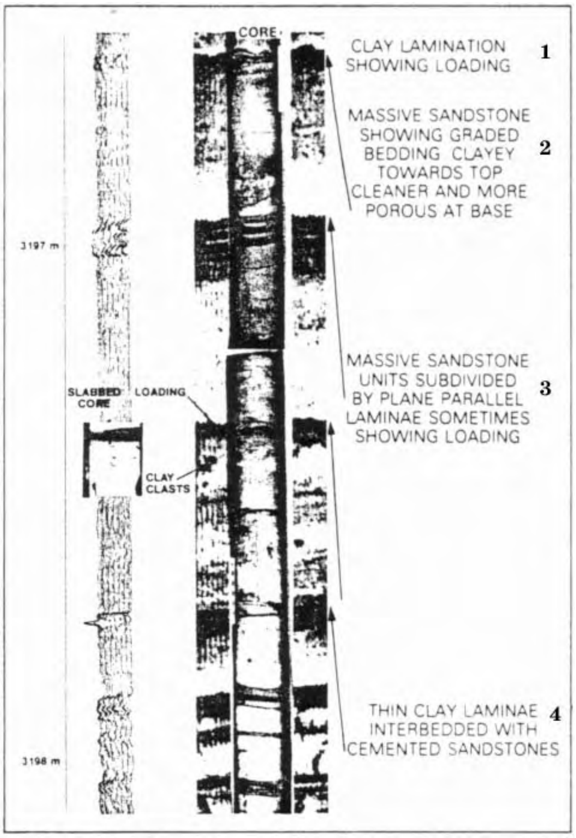



**Рис.6.9-27. Трассы и изображения FMS, показывающие все типичные элементы, которые встречаются в турбидитовых отложениях: знаки нагрузки, тонкая слоистость, градационная слоистость, глинистые обломки.**

(1- Тонкослоистая глина со знаками нагрузки; 2- Массивный песчаник, демонстрирующий градационную слоистость. В направлении кровли песчаник становится более глинистым, в направлении подошвы – более чистым и с повышенной пористостью; 3- Единицы массивного песчаника, разделяемые плоскими параллельными тонкими слоями, иногда со знаками нагрузки; 4- Тонкие слои глины, чередующиеся со сцементированными песчаниками.)

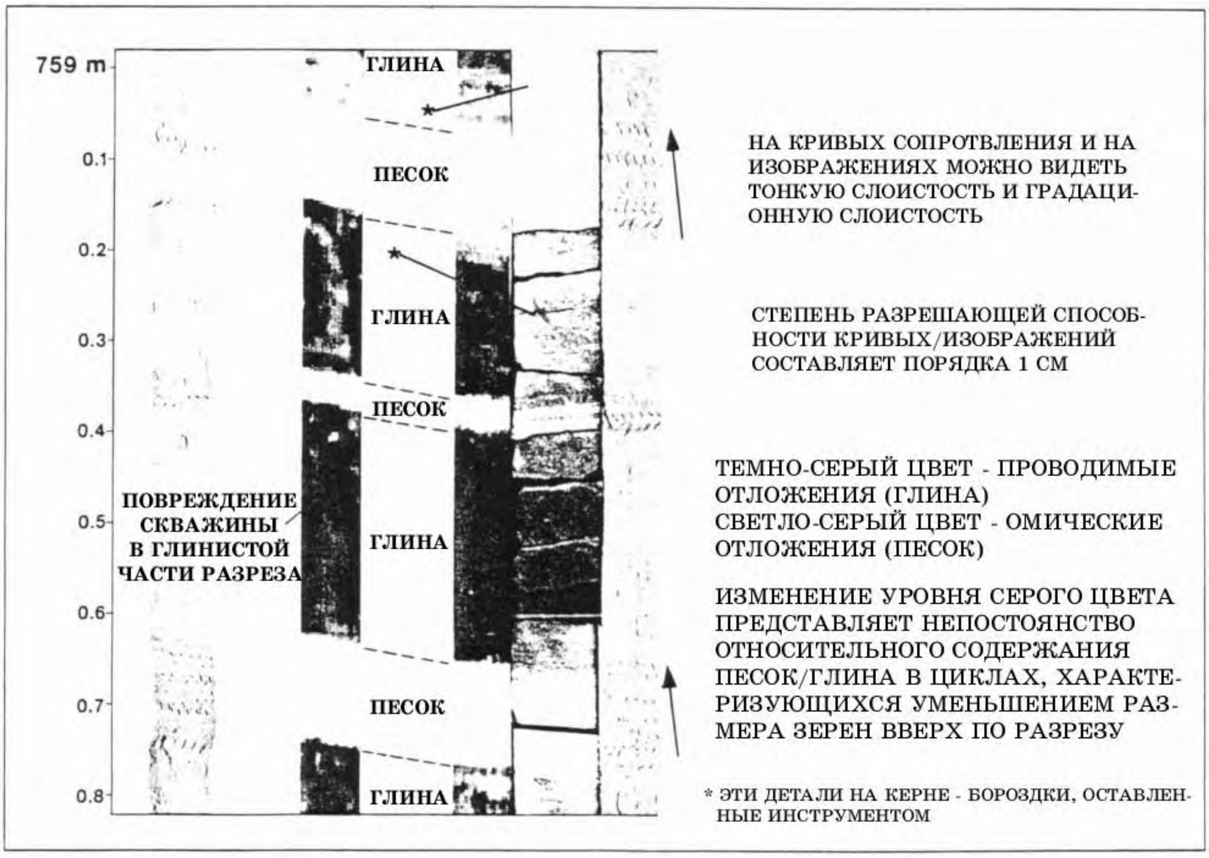



**Рис.6.9-28. Очень тонкая слоистость, выявленная на трассах и изображениях FMS в отдаленных турбидитах.**

В этом виде обстановки осадконакопления, изображения FMS позволяют распознавать некоторые элементы, такие как отпечатки нагрузки, окатыши, оползни. Конечно, легко наблюдается тонкая слоистость – плоскостная или волнистая (рис.6.9-27 и 6.9-28).

## 6.9.3.3. Границы

В общем случае наблюдаются резкие, четкие нижние контакты, которые лучше всего видны на кривых сопротивления наклономера. Иногда нижний контакт выглядит не плоскостным (4 измерения наклона на изображении GEODIP, волнистый символ на представлении LOCDIP или SYNDIP). Верхняя граница может быть постепенной в среднем конусе или резкой в отдаленном конусе. Границы между смежными последовательностями не всегда легко обнаруживаются в отложениях потока масс.

Сопоставление картин наклона с замерами на ориентированном керне (рис.6.9-29) показывает, что LOCDIP и GSB дают правильные ответы, которые могут быть интерпретированы.

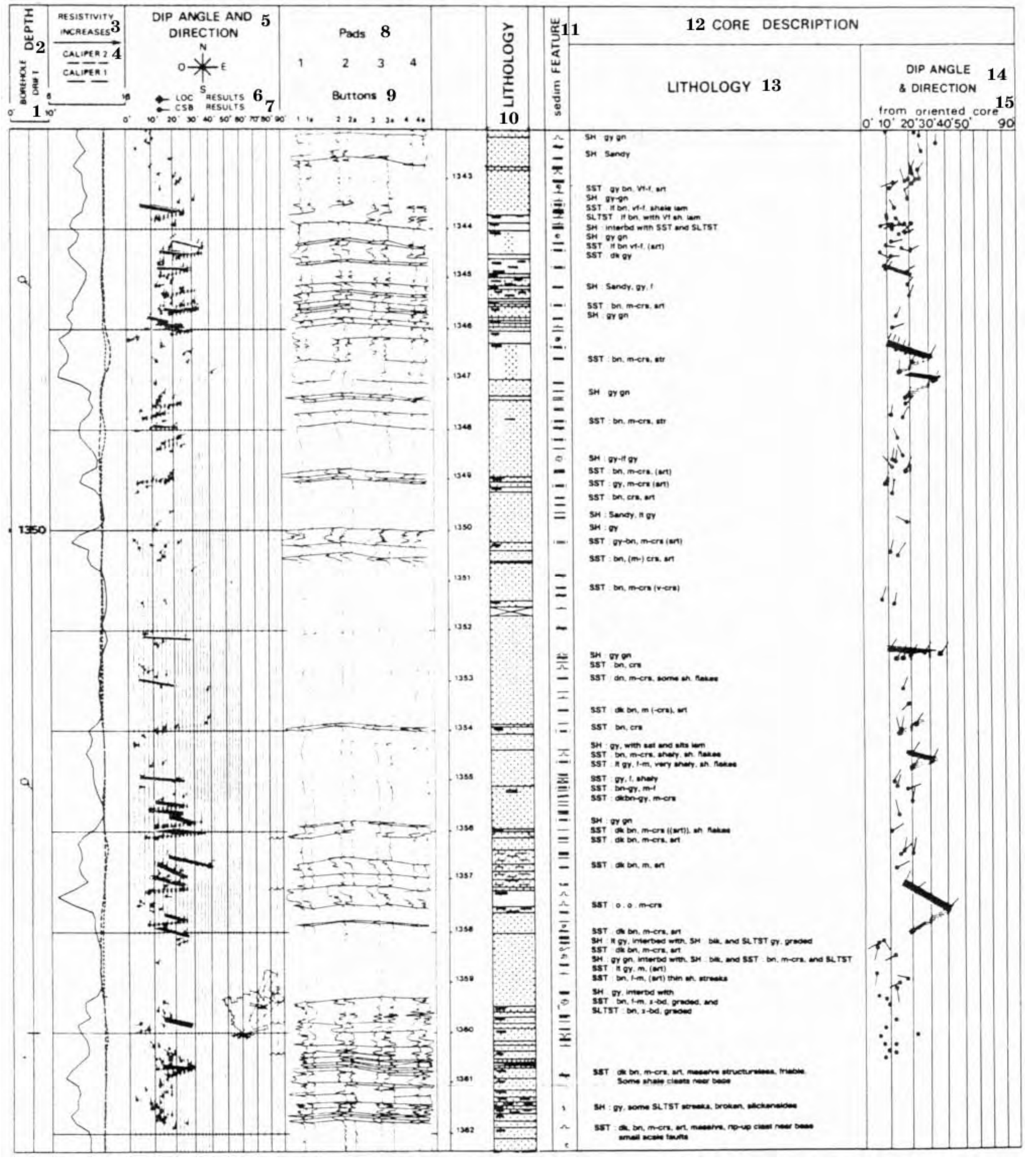



**Рис.6.9-29. Сопоставление векторных диаграмм LOCDIP и CSB с замерами на ориентированном керне показывает очень хорошее совпадение между двумя типами информации.**
(1- отклонение скважины; 2- глубина; 3- сопротивление возрастает; 4- каверномер 2; 5,14- угол и направление падения; 6- результаты LOCDIP; 7- результаты CSB; 8- прижимные башмаки; 9- дисковые электроды; 10- литология; 11- особенности отложений; 12- описание керна; 13- литология; 15- по ориентированному керну; SST = песчаник; SH – глинистый сланец)

## 6.9.3.4. Электрокомплексы

Можно наблюдать многочисленные сходные последовательности (рис.6.9.25). Кривые сопротивления наклономера очень часто демонстрируют непрерывные эволюции, которые в большинстве случаев отражают последовательности, характеризующиеся уменьшением размера зерен вверх по разрезу.

Могут, однако, присутствовать последовательности, характеризующиеся увеличением размера зерен вверх по разрезу. Легко выявляются мегапоследовательности, характеризующиеся увеличением размера зерен и мощности вверх по разрезу (рис.6.9.24а и 6.9-31).

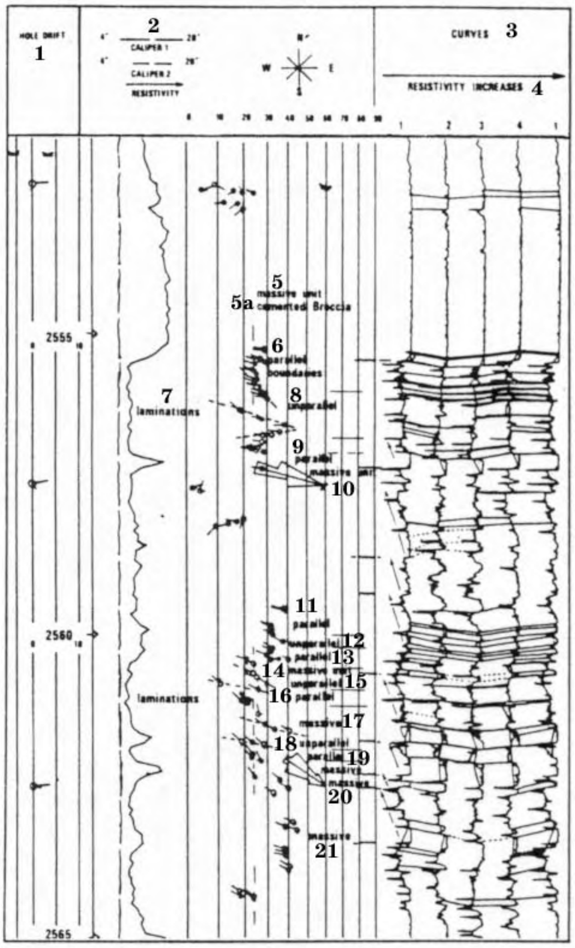



**Рис.6.9-30. Пример сигнала наклономера в карбонатном турбидите (из Payre и Serra, 1979).**
(1- отклонение скважины; 2- каверномер 1; 3- кривые; 4- сопротивление возрастает; 5,10,14,17,20,21- массивная единица; 5а- сцементированная брекчия; 6,9,11,13,16,19- параллельные границы; 7- тонкие слоистость;8,12,15,18- непараллельные границы)

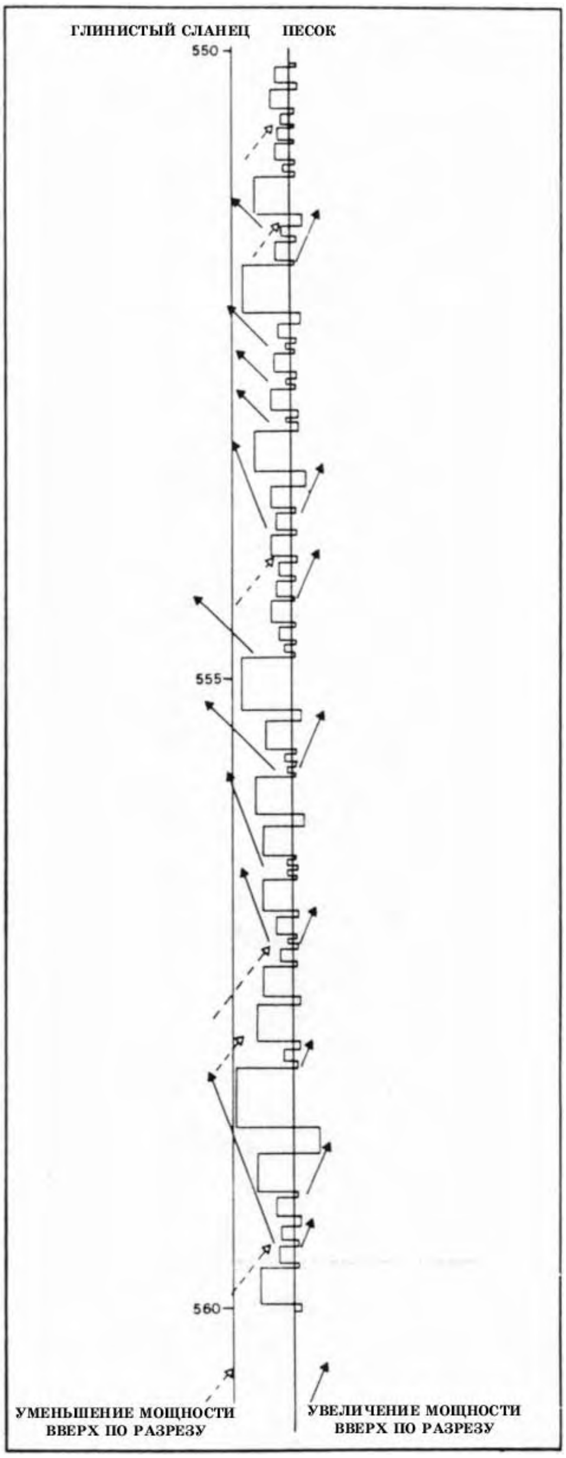



**Рис.6.9-31. Эволюция мощности слоев глинистого сланца и песка на рис.6.9-26.**

## 6.9.3.5. Мощность

Мощность отдельных последовательностей может изменяться от нескольких дециметров до 3-4 метров. Наблюдается общее увеличение мощности вверх по разрезу (рис.6.9-31 и 6.9-32).

Интервал, показанный на рис.6.9-33, иллюстрирует мегапоследовательность в турбидитовой обстановке осадконакопления. Нижний участок соответствует отдаленному конусу выноса с тонкими слоями песков и глинистых сланцев (по LITHO интервал распознается как глинистые пески). Средний участок соответствует среднему конусу выноса. Можно видеть, что мощность песчаных слоев увеличивается, и пески становятся “чище”. Верхний участок соответствует верхнему конусу выноса. Происходит наращивание песков по вертикали, и они образуют очень мощный слой. Можно прийти к выводу, что в данном примере размер зерен и мощность слоев возрастают от подошвы к кровле. Интерпретация частотных диаграмм азимутов в песках и в глинистых сланцах указывает на общее направление транспортировки и на облекание лопастей отложениями глинистых сланцев.

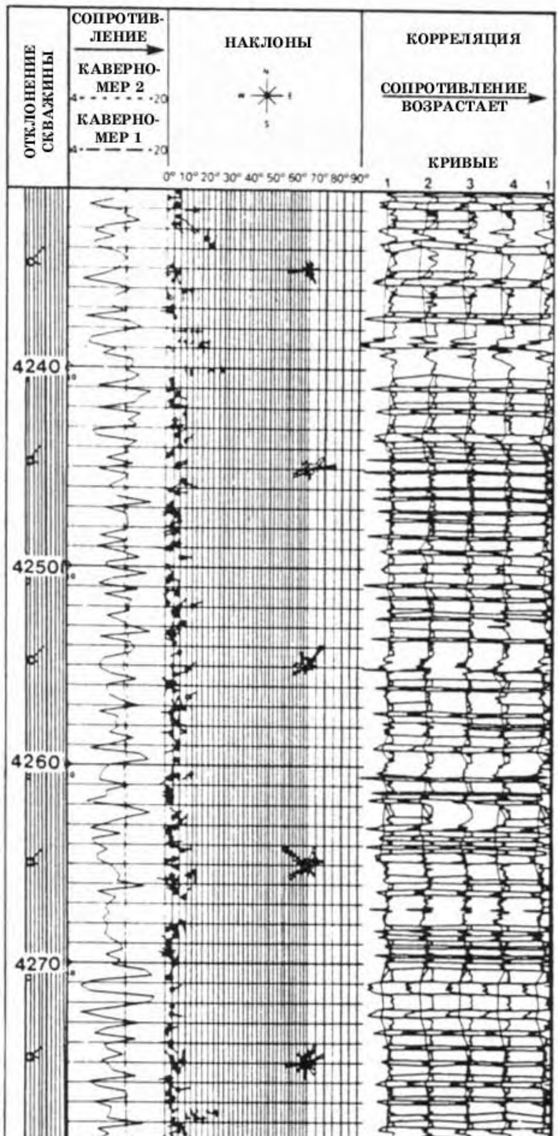



Рис.6.9.32. Другой пример сигналов наклоно-

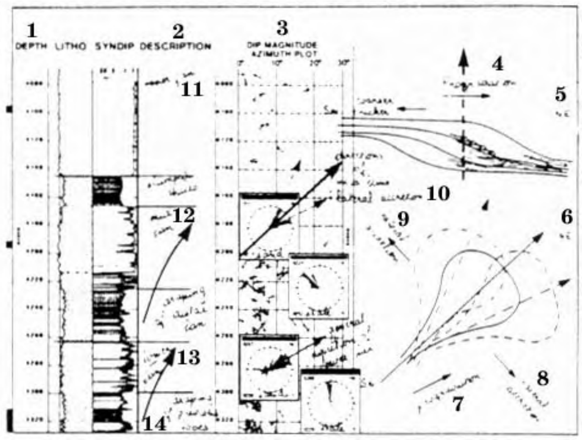



**Рис.6.9-33. Результаты LITHO, SYNDIP и частотные диаграммы азимутов в турбидитовой обстановке осадконакопления, и их интерпретация.**

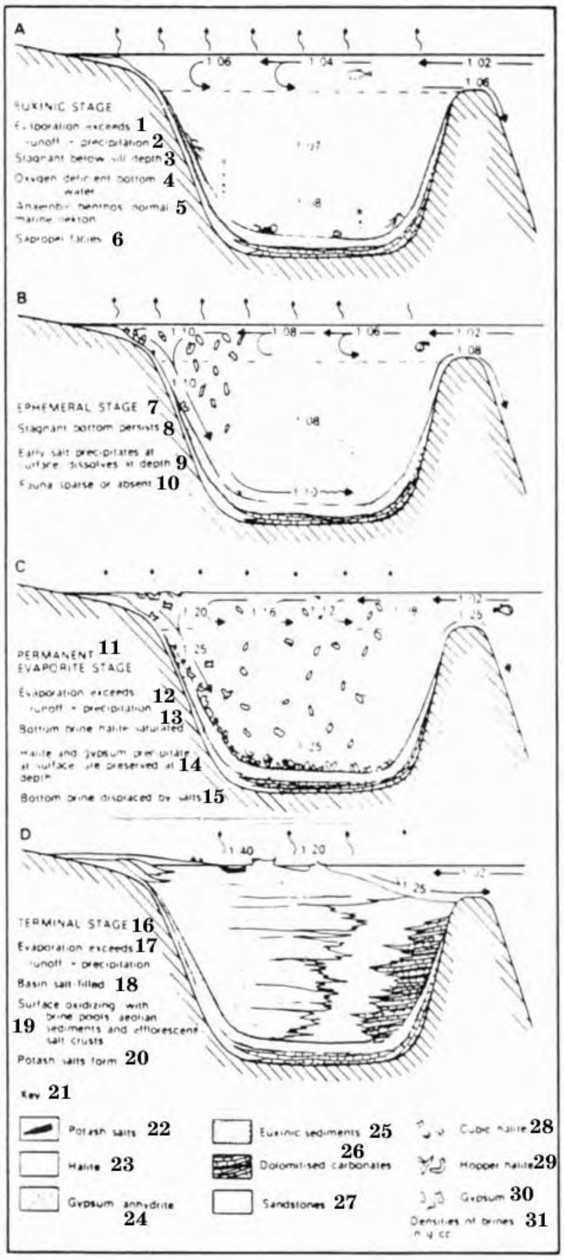
(1- глубина; 2- описание; 3- величина наклона диаграмма азимутов; 4,7- проградация; 5,6- северо-восток; 8,9,10- латеральное наращивание; 11- верхний конус; 12- средний конус; 13- нижний конус; 14- облекание предыдущих лопастей)

**мера в карбонатном турбидите. Обратите внимание на ритмическое осадконакопление и на мощность каждой последовательности**.

## *6.10. "ГЛУБОКОВОДНАЯ" ЭВАПОРИТОВАЯ ОБСТАНОВКА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ*

### 6.10.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Обстановка, характеризуемая осаждением минералов путем испарения массы воды (рассола), и разделения по плотности внутри этой массы. Это разделение непрерывно или периодически поддерживается морской водой, поступающей через мелководный барьер в ограниченный или замкнутый бассейн, не обязательно очень глубокий (рис.6.10-1).



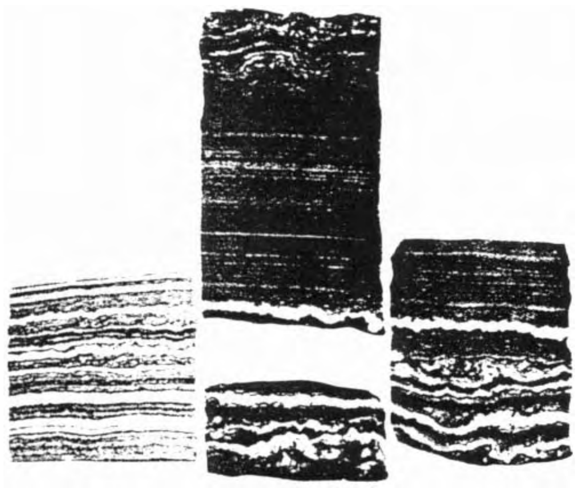



**Рис.6.10-2. Пример тонких слоев карбоната-ангидрита, коррелируемых на несколько километров (из Kendal, 1984).**

**Рис.6.10-1. Модель отложения глубоководных эвапоритов (по Schmalz, 1969).**
(1- эвксинная стадия; 2- испарение превышает сток + осаждение; 3- застойная среда ниже глубины порога; 4- придонные воды с дефицитом кислорода; 5- анаэробный бентос, нормальный морской нектон; 6- сапропелевая фация; 7- стадия пересыхания; 8- сохраняется застойная придонная среда; 9- ранняя соль осаждается на поверхности и растворяется на глубине; 10- фауна редкая или отсутствует; 11- долговременная стадия испарения; 12- испарение превышает сток + осаждение; 13- придонная рапа, насыщенная галитом; 14- галит и гипс, осажденные на поверхности, сохраняются на глубине; 15- придонная рапа, замещенная солями; 16- конечная стадия; 17- испарение превышает сток + осаждение; 18- бассейн, заполненный солью; 19- окисление поверхности с солеными озерками, эоловыми осадками и выцветшими соляными корками; 20- образование солей калия; 21- обозначения; 22 соли калия; 23- галит; 24- гипс, ангидрит; 25-эвксинные осадки; 26- доломитизированные карбонаты; 27- песчаники; 28- кубический галит; 29- воронкообразный галит; 30- гипс; 31- плотность рапы в г/куб. см)

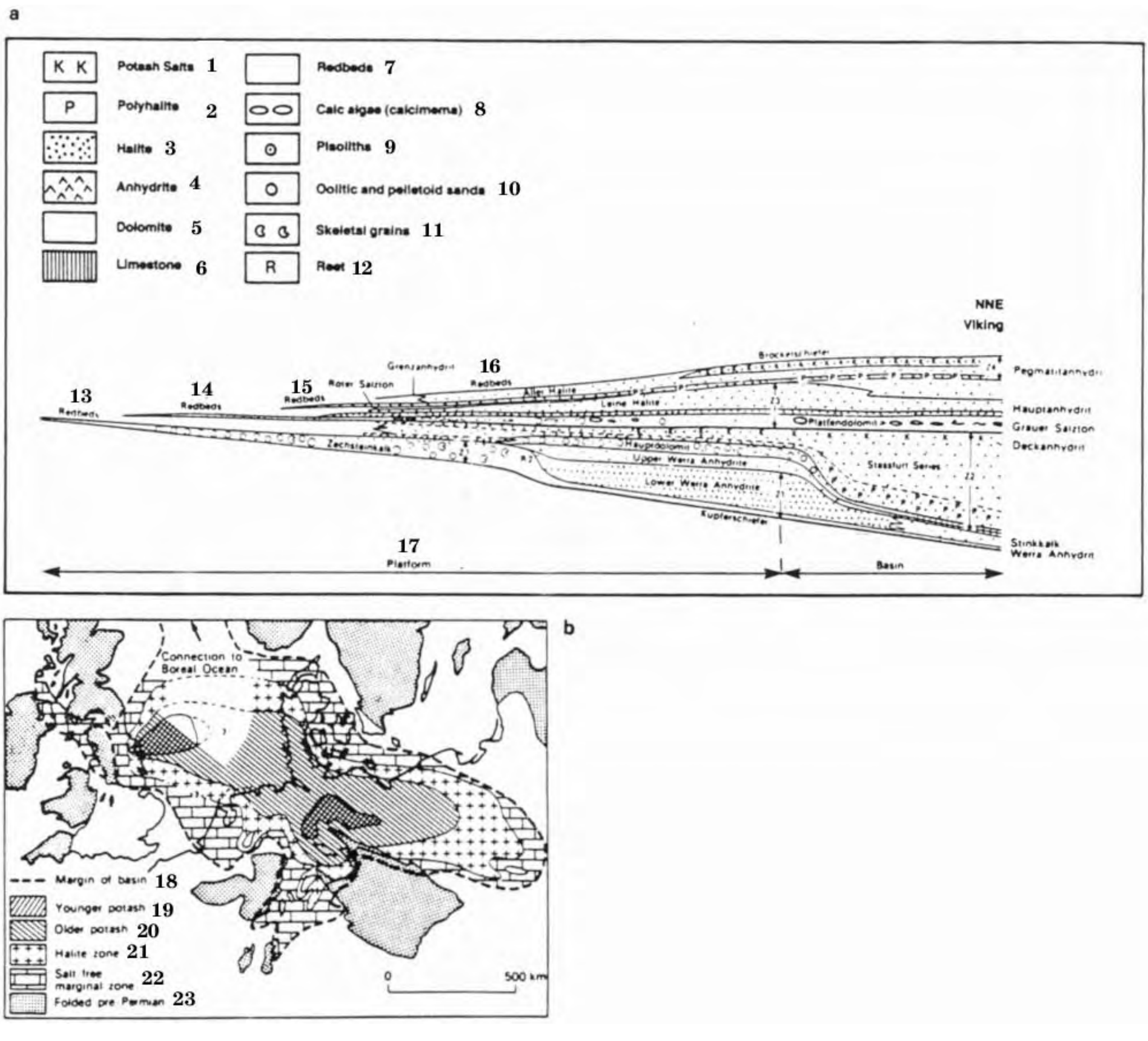



**Рис.6.10.3. Обобщенный разрез цехштайнского бассейна в Северном море, демонстрирующий циклы (из Taylor и Colter, 1975) с перераспределением фаций (из Borchert и Muir, 1964).**

(1- соли калия; 2- полигалит; 3- галит; 4- ангидрит; 5- доломит; 6- известняк; 7,13,14,15,16- красноцветы; 8- известковые водоросли (calcimema); 9- пизолиты; 10- оолитовые и пеллетоидные пески; 11- скелетные зерна; 12- риф (?); 17- платформа; 18- бассейн; 18- край бассейна; 19- более поздний поташ; 20- более древний поташ; 21- зона галита; 22- краевая бессолевая зона; 23- складчатые допермские отложения)

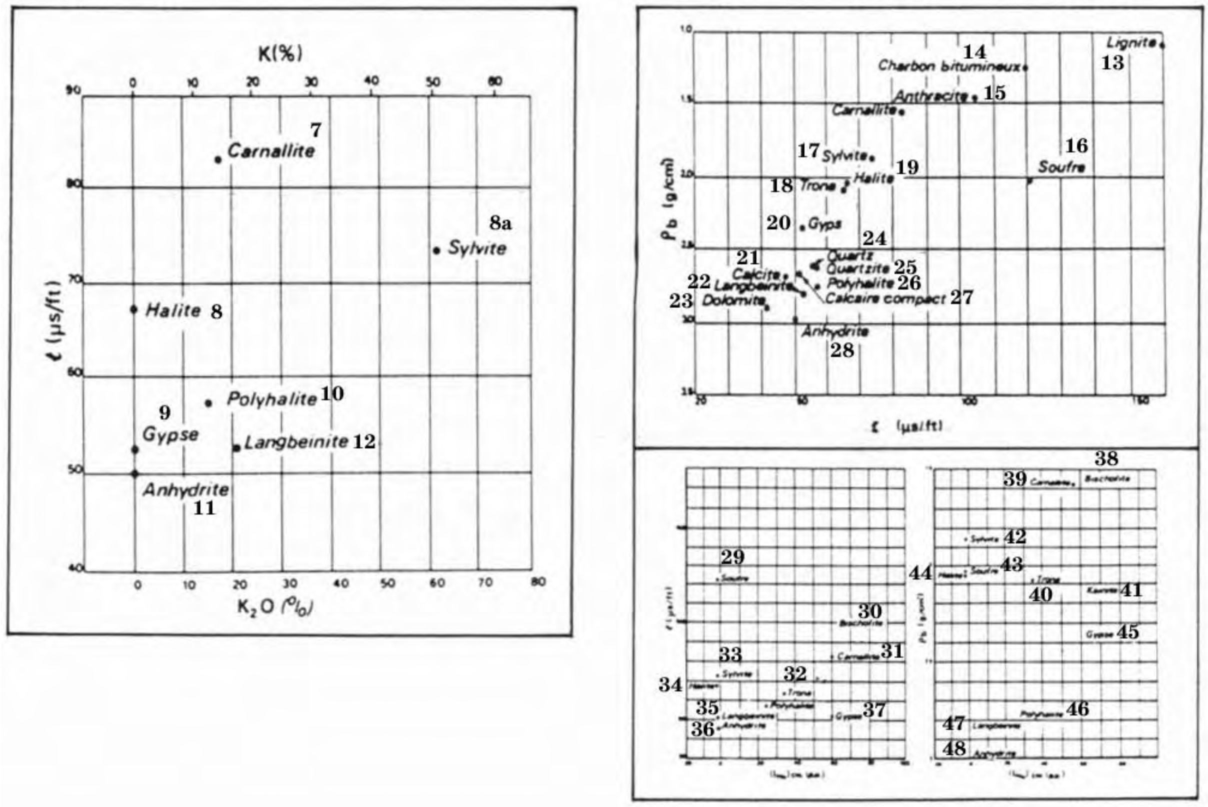



**Рис.6.10-4. Несколько графиков взаимной зависимости, показывающих положение основных эвапоритовых минералов**.

(7- карналлит; 8- галит; 8а- сильвин; 9- гипс; 10- полигалит; 11- ангидрит; 12- лангбейнит; 13- лигнит; 14- битуминозный уголь; 15- антрацит; 16- soufre; 17- сильвин; 18- trone; 19- галит; 20- гипс; 21- кальцит; 22- лангбейнит; 23- доломит; 24- кварц; 25- кварцит; 26- полигалит; 27- плотный calcaire; 28- ангидрит; 29- soufre; 30- бишофит; 31- карналлит; 32- trone; 33- сильвин; 34- галит; 35- лангбейнит; 36- ангидрит; 37- гипс; 38- 39- карналлит; 40- trone; 41- каинит; 42- сильвин; 43- soufre; 44- галит; 45- гипс; 46- полигалит; 47- лангбейнит; 48- ангидрит)

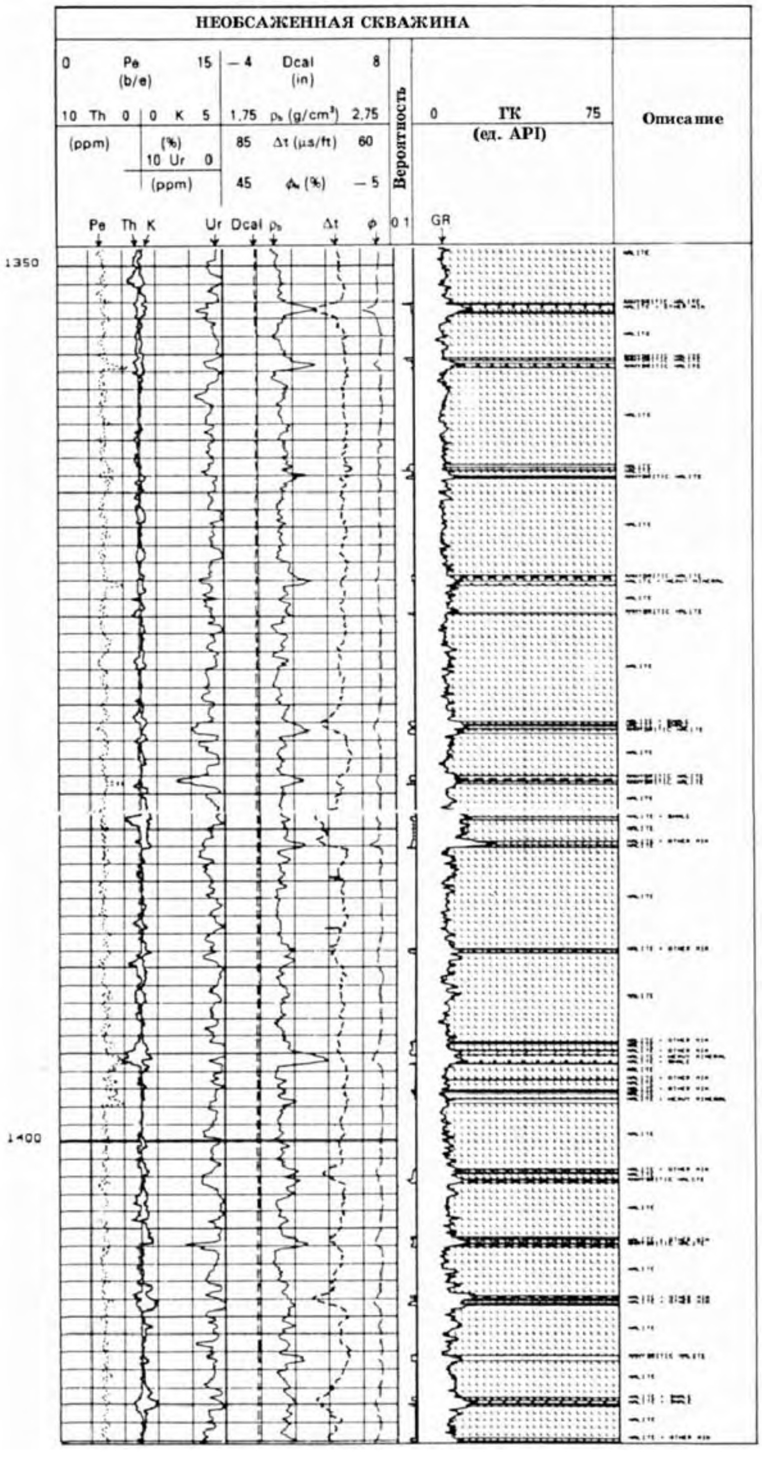

НЕОБСАЖЕННАЯ СКВАЖИНА
0 Pe 15
(b/e)
— 4 Dcal 8
(in)
10 Th 0
0 K 5
(ppm)
(%)
10 Ur 0
(ppm)
1,75 ρb (g/cm³) 2,75
85 Δt (μs/ft) 60
45 φN (%) — 5
Вероятность
0 ГК 75
(ед. API)
Описание
Pe Th K Ur Dcal ρb Δt φ
0 1
GR
1350
1400

**Рис.6.10-5. (a) Кроссплоты АК, показывающие основные минералы, которые присутствуют в интервале (галит, ангидрит и полигалит), и расчет их относительного содержания. (b) Соответствующая сводная диаграмма из нижнего цехштайна в Северном море (из Serra, 1980).**

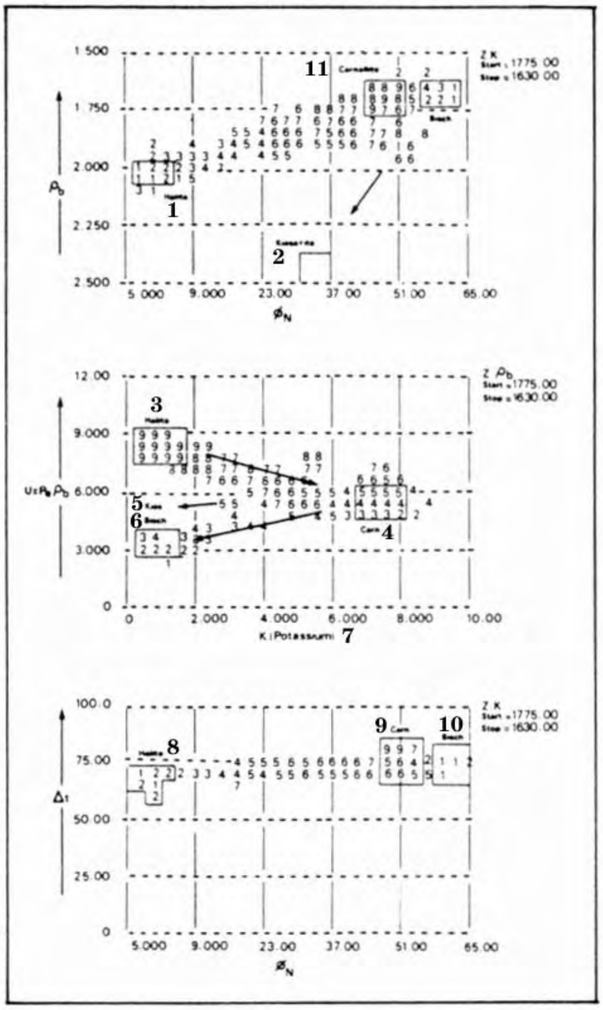



**Рис.6.10-6. Несколько кроссплотов, показывающих присутствие галита, карналлита, бишофита и кизерита в отложениях верхнего цехштайна (Z3) на севере Нидерландов (из Haile и Blunden, 1984).**
(1,3,8- галит; 2,5- кизерит; 4,9,11- карналлит; 6,10- бишофит)

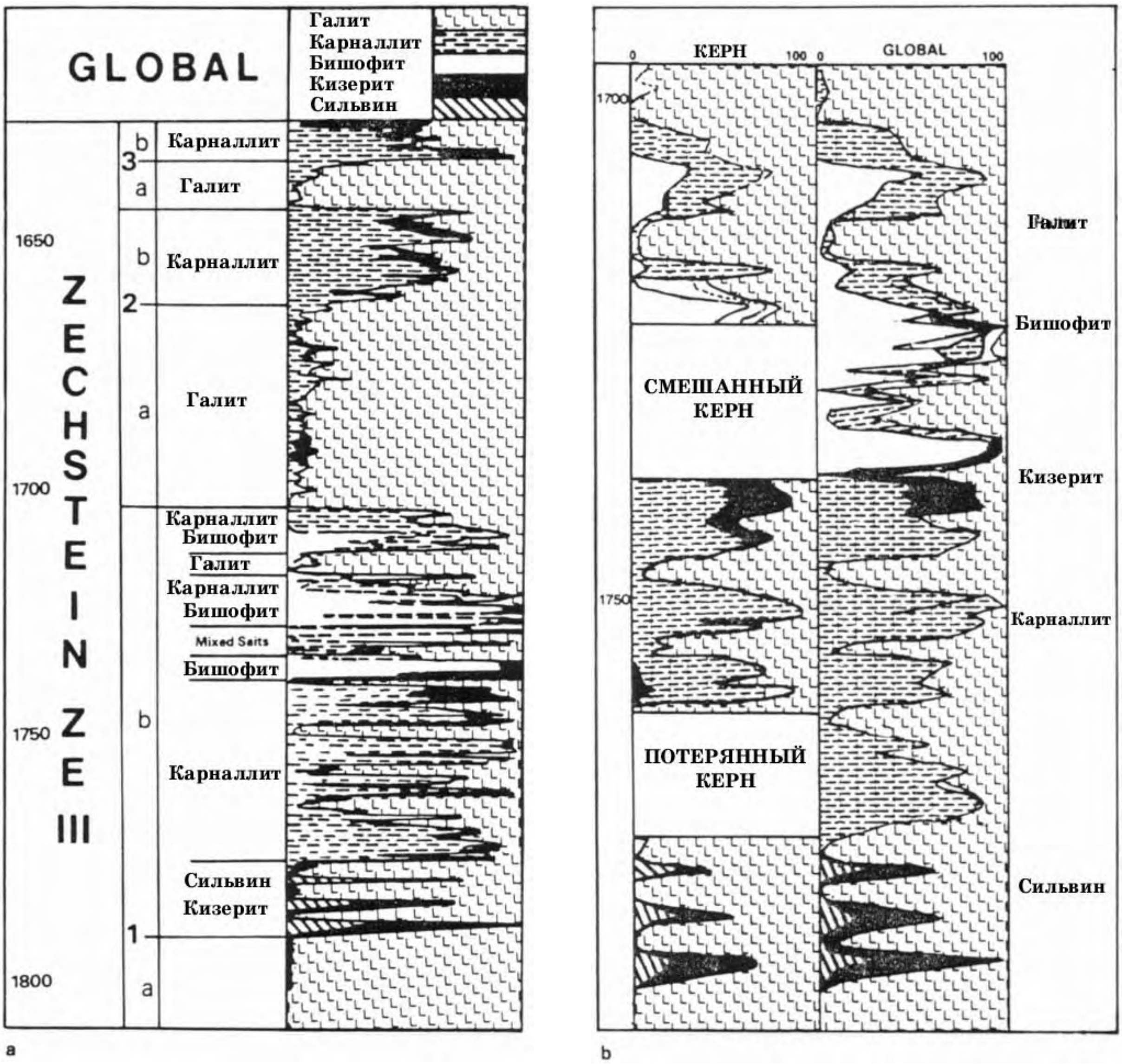



**Рис.6.10-7. Результаты расчета относительного содержания минералов с помощью программы GLOBAL и сравнение с результатами анализа керна (из Haile и Blunden, 1984).**

## 6.10.2 ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ФАЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

### 6.10.2.1. Состав

Основные минералы, присутствующие в этой среде – сульфаты (преимущественно гипс или ангидрит, второстепенные минералы – полигалит или лангбейнит), хлориты (преимущественно галит, второстепенные минералы – карналлит, тахигидрит или бишофит) и иногда, в малых количествах, карбонаты, глины, органическое вещество и кварц.

Первоначальные текстуры и структуры не известны хорошо, поскольку их могут скрыть ранние диагенетические процессы кристаллизации, растворения и перекристаллизации. Однако для галита описаны, по меньшей мере, три основные фации: детритовый галит, кристаллический или шевронный галит, кубы галита вытеснения (displacive halite cubes).

### 6.10.2.2. Последовательности

Тонкие слои ангидрита-карбоната часто присутствуют в прослоях галита (рис.6.10-2), а также глины или алевритистого кварца. При этом образуются тонкие циклы или последовательности, отражающие условия “регрессии” или “трансгрессии” (более или менее ограниченную, возрастающую или убывающую подпитку солью).

В крупном масштабе описаны циклы (цехштайн в Северном море, рис.6.10-3, прерия или маскег в Саскатчеван-Альберта), которые начинаются с доломитов, ангидрита, иногда с залежей полигалита, галита и поташа, по мере осаждения последнего в рассолах с более ограниченным распространением. Этот тип последовательности имеет место в более ограниченных условиях.

### 6.10.2.3. Геометрия тел

Этот тип эвапоритов может образовывать очень мощные отложения (до 1200 м) значительной протяженности (рис.6.10-3).

## 6.10.3. КАРОТАЖНЫЕ СИГНАЛЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Хорошо известно, что данные ГИС могут быть использованы для идентификации эвапоритовых минералов, поскольку эти минералы имеют один и тот же общий состав и являются непористыми. Следовательно, они обладают одинаковым набором характеристик по данным ГИС, что позволяет идентифицировать их на графике взаимной зависимости любого типа.

### *6.10.3.1. Электролитофации*

Можно идентифицировать минералы, анализируя графики взаимной зависимости (рис.6.10.4). Если присутствует только один чистый минерал (галит или ангидрит), фигуративные точки располагаются близко к идеальному положению. Если порода образована двумя или более минералами, фигуративные точки будут располагаться на линии, соединяющей фигуративные точки двух чистых минералов (или вблизи этой линии), или внутри поверхности или объема, ограниченного фигуративными точками минералов, которые присутствуют в смеси (рис.6.10.5). Количественная интерпретация с помощью программы GLOBAL может быть использована для расчета относительного содержания каждого минерала (рис.6.10.6 и 6.10.7). Калиевые эвапориты распознаются по их очень высокой радиоактивности или по содержанию калия, получаемому с помощью средства NGS. Слои глинистого сланца различаются по содержанию тория и калия.

### *6.10.3.2. Форма кривых наклономера и картины наклонов*

Эвапориты характеризуются очень высоким сопротивлением, но данные SHDT и EMEX показывают изменения с контрастностью, достаточной для выделения тонких слоев или более проводимых пород (карбонатов, глинистых сланцев) и, следовательно, позволяют рассчитать углы падения (рис.6.10.8).

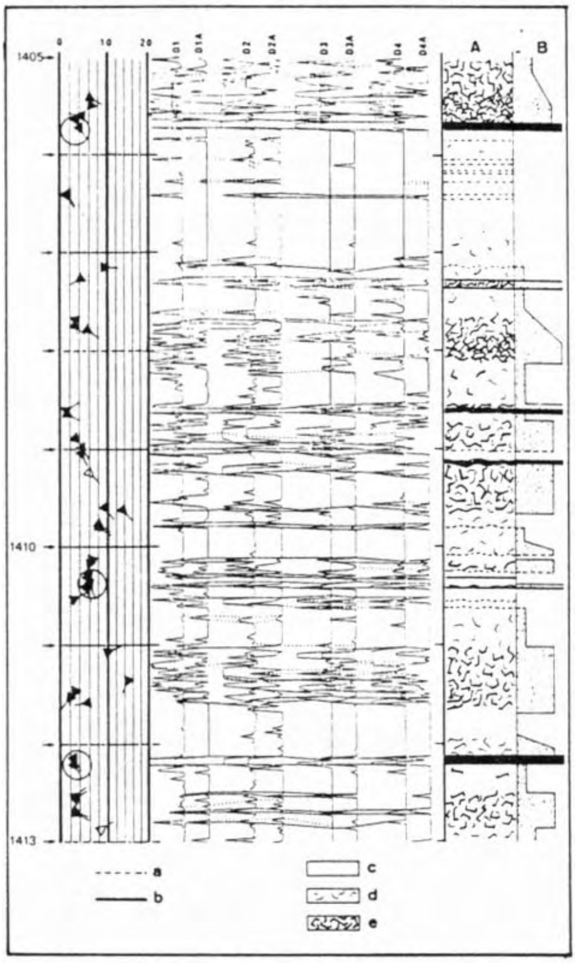



**Рис.6.10.8. Пример данных SHDT в эвапоритах (в основном галит), иллюстрирующий очень тонкие слои смесей карбонатов и ангидрита, или даже глинистого сланца с органическим веществом.**

## 6.11 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


AGER, D.V. (1974). - Storm deposits in the Jurassic of the Moroccan High. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology,* **15**, *p. 83-93.*

AHLBRANDT, T.S., & FRYBERGER, S.G. (1982). - Introduction to Eolian Deposits. *In : Scholle, P.A., & Spearing, D. (eds.) : Sandstone Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **31.**

ALLEN, J.R.L. (1963). - The classification of cross-stratified units, with notes on their origin. *Sedimentology,* **2**, *p. 93-114.*

ALLEN, J.R.L. (1965). - A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. *Sedimentology, special issue,* **5**, *p. 89-191.*

ALLEN, J.R.L. (1965). - Late Quaternary Niger Delta and adjacent areas : Sedimentary environments and lithofacies. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **49**, *p. 547-600.*

ALLEN, J.R.L. (1965). - Coastal geomorphology of Eastern Nigeria : beach ridges, barrier island and vegetated tidal flats. *Geol. en Mijnbouw,* **44.**

ALLEN, J.R.L. (1968). - Current Ripples. *North-Holland, Amsterdam.*

ALLEN, J.R.L. (1970). - Sediments of the modern Niger Delta : a summary and review. *In : Deltaic Sedimentation, Modern and Ancient, SEPM special pub.* **15**, *p. 138-151.*

ALLEN, J.R.L. (1970). - Physical Processes of Sedimentation. *Elsevier, New York.*

ALLEN, J.R.L. (1984). - Sedimentary structures. Their character and physical basis. *Developments in sedimentology,* **30**, *Elsevier, Amsterdam.*

*Amer. Assoc. Petroleum Geol.* (1971). - Origin of Evaporites. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., reprint series* **2.**

*Amer. Assoc. Petroleum Geol.* (1972). - Continental Shelves - Origin and Significance. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., reprint series* **3.**

*Amer. Assoc. Petroleum Geol.* (1973). - Sandstone Reservoirs and Stratigraphic Concepts, I, & II. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., reprint series* **7**, **& 8.**

*Amer. Assoc. Petroleum Geol.* (1974). - Facies and the Reconstruction of Environments. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., reprint series* **10.**

*Amer. Assoc. Petroleum Geol.* (1976). - Modern Deltas. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., reprint series* **18.**

*Amer. Assoc. Petroleum Geol.* (1976). - Ancient Deltas. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., reprint series* **19.**

*Amer. Assoc. Petroleum Geol.* (1976). - Deltaic and shallow marine sandstones : sedimentation, tectonics and petroleum occurrences. *Continuing Education Course Note Series* **2**, *by WEIMER, R.J.*

ASQUITH, G.B. (1979). - Subsurface carbonate depositional models - a concise review. *Penn Well, Tulsa.*

ASQUITH, G.B. (1982). - Basic Well Log Analysis for Geologists. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Methods in Exploration Series.*

BAGNOLD, R.A. (1941). - The physics of blow sand and desert dunes. *Methuen (London).*

BARWIS, J.H. (1978). - Stratigraphy of Kiawah Island beach ridges. *Southeastern Geology,* **19**, *p. 111-122.*

BATES, C.C. (1953). - Rational theory of delta formation. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **37**, *p. 2119-2162.*

BATHURST, R.G.C. (1976). - Carbonate Sediments and their Diagenesis. *Developments in Sedimentology,* **12**, *Elsevier, Amsterdam.*

BEARD, D.C., & WEYL, P.K. (1973). - Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **57**, *p. 349-369.*

BERG, R.R. (1968). - Point-bar origin of Fall River Sandstone Reservoirs, Northeastern Wyoming. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **52**, *11, p. 2116-2122.*

BERG, R.R. (1975). - Depositional environment of Upper Cretaceous Sussex Sandstone, House Creek Field, Wyoming. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **59**, *p. 2099-2110.*

BERNARD, H.A., MAJOR, C.F., PARROTT, B.S., & LeBLANC, R.J., Sr., (1970). - Recent sediments of southeast Texas. *Texas Bur. Econ. Geol. Guidebook,* **11**, *Austin, Texas.*

BIGARELLA, J.J. (1972). - Eolian Environments -their Characteristics, Recognition, and Importance. In : *"Recognition of Ancient Sedimentary Environments", edited by RIGBY, J.K., & HAMBLIN, W.K., SEPM, special publication* **16.**

BIGELOW, E.L. (1985). - Making more intelligent use of Log derived Dip measurements. Parts I to V. *The Log Analyst,* **26**, *1 to 5.*

BLATT, H. (1979). - Diagenetic processes in Sandstones. *SEPM, Special Paper* **26**.

BLATT, H., MIDDLETON, G., & MURRAY, R. (1972, 1980). - Origin of Sedimentary Rocks. 1st and 2nd ed. *Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.*

BLISSENBACH, E. (1954). - Geology of alluvial fans in semiarid regions. *Geol. Soc. America Bull.,* **65**, *p. 175-189.*

BOERSMA, J.R., MEENE, E.A. van de, & TJALSMA, R.C. (1968). - Intricated cross-stratification due to interaction of a mega ripple withits lee-side system of backflow ripple (upper point bar deposits, lower Rhine). *Sedimentology,* **11**, *p. 147-162.*

BOUMA, A.H. (1962). - Sedimentology of some Flysch Deposits. *Elsevier, Amsterdam.*

BOUMA, A.H., & BROUWER, A. (eds) (1964). -Turbidites. *Elsevier, Amsterdam.*

BOUMA, A.H., & HOLLISTER, C.D. (1973). -Deep ocean basin sedimentation. *SEPM, Pacific Section, Short Course, Anaheim.*

BOUMA, A.H., MOORE, G.T., & COLEMAN, J.M. (1978). - Framework, Facies, and Oil-Trapping Characteristics of the Upper Coninental Margin. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Studies in Geology,* **7**.

BOUMA, A.H., BERRYHILL, H.L., BRENNER, R.L., & KNEBEL, H.J. (1982). - Continental Shelf and Epicontinental Seaways. *In : Scholle, P.A., & Spearing, D. (eds.) : Sandstone Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **31**.

BORCHERT, H., & MUIR, R.O. (1964). - Salt deposits. The origin, metamorphism and deformation of Evaporites. *Van Nostrand, London.*

BROUSSARD, M.L. (ed.) (1975). - Deltas. Models for exploration. *Houston Geological Society.*

BULL, W.B. (1960). - Geometry of alluvial fans in western Fresno County, California. *Geol. Soc. America Bull.,* **71**, *p. 1836-1837.*

BULL, W.B. (1963). - Alluvial fan deposits in western Fresno County, California. *J. Geol.,* **71**, *p. 243-251.*

BULL, W.B. (1972). - Recognition of Alluvial-Fan Deposits in the Stratigraphic Record. In : *"Recognition of Ancient Sedimentary Environments", edited by RIGBY, J.K., & HAMBLIN, W.K., SEPM, special publication* **16**.

BULL, W.B. (1977). - The alluvial fan environment. *Progress in Physical Geography,* **1**, *p. 224-270.*

BURKE, J.A., CAMPBELL, Jr. R.L., & SCHMIDT, A.W. (1969). - The Litho-Porosity Cross Plot. *SPWLA, 10th Ann. Log. Symp. Trans., paper Y.*

BUSCH, D.A. (1974). - Stratigraphic Traps in Sandstones - Exploration Techniques. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **21**.

CAMPBELL, C.V. (1967). - Lamina, Laminaset, Bed and Bedset. *Sedimentology,* **8**, *p. 7-26.*

CAMPBELL, R.L. (1968). - Stratigraphic applications of dipmeter data in Mid-Continent. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **52**, *9, p. 1700-1719.*

CANT D.J. (1982). - Fluvial facies models and their application. *In : Scholle, P.A., & Spearing, D. (eds.) : Sandstone Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **31**.

CAROZZI, A.V. (Ed.) (1975). - Sedimentary Rocks. *Benchmark Papers in Geology,* **15**, *Dowden, Hutchinson, & Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania.*

CARTER, C.H. (1978). - A regressive barrier and barrier-protected deposit : depositional environment and geographic setting of the Late Tertiary Cohansey Sand. *Jour. sediment. Petrology,* **48**, *p. 933-950.*

*Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz naturel* (1966). -Essai de normalisation, & caractérisation des principales structures sédimentaires. *Ed. Technip, Paris.*

*Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz naturel* (1974). -Méthodes modernes de géologie de terrain. 1 -Principes d'analyses sédimentologiques. *Ed. Technip, Paris.*

CHAUVEL, Y. (1984). - Applications of the SHDT stratigraphic high resolution dipmeter to the study of depositional environments. *SPWLA, 25th Ann. Log. Symp. Trans., New Orleans.*

CHILINGARIAN, G.V., & WOLF, K.H. (Eds) (1975). - Compaction of Coarse-Grained Sediments. *Developments in Sedimentology,* **18A**, & **18B**, *Elsevier, Amsterdam.*

CHOQUETTE, P.W., & PRAY, L.C. (1970). -Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **54**, *p. 207-250.*

CLARKE, F.W., & WASHINGTON, H.S. (1924). -The composition of the Earth's Crust. *U. S. Geol. Survey, Profess. Paper 127.*

CLAVIER, C., & RUST, D.H. (1976). - MID-PLOT : a new Lithology Technique. *The Log Analyst, 17, 6.*

CLIFTON, H.E. (1982). - Estuarine Deposits. *In : Scholle, P.A., & Spearing, D. (eds.) : Sandstone Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **31**.

COLACICCHI, R., PASSERI, L., & PIALLI, G. (1975). - Evidences of tidal environment deposition in the Calcare Massiccio Formation (Central Apennines-Lower Lias. In : *Tidal Deposits : a Casebook of Recent Examples and Fossil Counterparts (Ed. by GINSBURG, R.N.), p. 345-353. Springer, Berlin.*

COLEMAN, J.M., & GAGLIANO, S.M. (1964). -Cyclic Sedimentation in the Mississippi river deltaic plain. *Gulf-Coast Ass. Geol. Socs. Trans.,* **14**, *p. 67-80.*

COLEMAN, J.M., GAGLIANO, S.M., & SMITH, W.G. (1970). - Sedimentation in a Malaysian high tide tropical delta. *In : Deltaic Sedimentation Modern and Ancient. (Ed. by Morgan, J.P.) SEPM, special publ.* **15**.

COLEMAN, J.M., & PRIOR, D.B. (1980). - Deltaic Sand Bodies. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Continuing Education Course Note Series* **15.**

COLEMAN, J.M., & PRIOR, D.B. (1982). - Deltaic Environments. *In : Scholle, P.A., & Spearing, D. (eds.) : Sandstone Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **31.**

COLEMAN, J.M., & WRIGHT, L.D. (1975). -Modern river deltas : variability of processes and sand bodies. *In : Delats, Models for Exploration. (Ed. by Broussard, M.L.), Houston Geol. Soc., p. 99-149.*

COLLINSON J.D., & THOMPSON, D.B. (1982). -Sedimentary Structures. *George Allen & Unwin Publ. Ltd., London.*

CONYBEARE, C.E.B. (1976). - Geomorphology of oil and gas Fields in sandstone bodies. *Elsevier, Amsterdam.*

COOK, H.E., & ENOS, P. (eds) (1977). - Deep-Water Carbonate Environments. *SEPM, special publication* **25.**

COOK, H.E., & MULLINS, H.T. (1983). - Basin Margin Environment. *In : Scholle, P.A. et al.,* (eds.) : Carbonate Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem. **33.**

CROSBY, E.J. (1972). - Classification of Sedimentary Environments. In : *"Recognition of Ancient Sedimentary Environments", edited by RIGBY, J.K., & HAMBLIN, W.K., SEPM, special publication* **16.**

CURRY, W.H., & CURRY, W.H. III (1972). - South Glenrock Oilfield, Wyoming : Prediscovery, Thinking and Post-Discovery Description. *In Stratigraphic Oil and Gas Fields - Classification, Exploration Methods, and Case Histories, Amer. Assoc. Petroleum Geol., Memoir* **16**, *p. 415-427.*

CURTIS, D.M. (1970). - Miocene deltaic sedimentation, Louisiana Gulf Coast. In : *Deltaic sedimentation modern and ancient (Ed. by MORGAN, J.P. & SHAVER, R.H.) SEPM, special pub.* **15.**

CURTIS, D.M. (1976). - Sedimentary Processes : Diagenesis. *SEPM, Reprint series* **1.**

DAPPLES, E.C. (1967). - Silica as an Agent in Diagenesis. In : *Diagenesis in Sediments, LARSEN, G., & CHILINGAR, C.V., Eds, p. 91-125, Elsevier,Amsterdam.*

DAPPLES, E.C. (1972). - Some concepts of Cementation and Lithification of Sandstones. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **56**, *p. 3-26.*

DAVIES, D.K., ETHRIDGE, F.G., & BERG, R.R. (1971). - Recognition of barrier environments. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **55**, *p. 550-566.*

DAVIS, R.A., & ETHINGTON, R.L. (eds) (1976). -Beach and Nearshore Sedimentation. *SEPM, special publication* **24.**

DAVIS, R.A. Jr., FOX, W.T., HAYES, M.O., & BOOTHROYD, J.C. (1972). - Comparison of ridge-and-runnel systems in tidal and non-tidal environments. *J. sediment. Petrol.,* **32**, *p. 413-421.*

DEAN, W.E., & FOUCH, T.D. (1983). - Lacustrine Environment. *In : Scholle, P.A. et al.,* (eds.) : Carbonate Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem. **33.**

DELFINER, P., PEYRET, O., & SERRA, O. (1984). - Automatic determination of Lithology from Well Logs. *59th Ann. Techn. Conf. SPE of AIME, Houston, Texas; paper nº SPE 13290.*

DELHOMME, J.P., & SERRA, O. (1984). - Dipmeter-derived Logs for Sedimentological Analysis. *SPWLA, 9th Europ. Intern. Format. Eval. Trans., paper 50.*

DICKEY, P.A. (1979). - Petroleum Development Geology. *Petroleum Publishing Co., Tulsa.*

DICKINSON, K.A., BERRYHILL, H.L., Jr., & HOLMES, C.W. (1972). - Criteria for Recognizing Ancient Barrier Coastlines. In : *"Recognition of Ancient Sedimentary Environments", edited by RIGBY, J.K., & HAMBLIN, W.K., SEPM, special publication* **16.**

DICKINSON, W.R. (ed) (1974). - Tectonics and Sedimentation. *SEPM, special publication* **22.**

DOEGLAS, D.J. (1962). - The structure of sedimentary deposits of braided rivers. *Sedimentology,* **1**, *p. 167-190.*

DONALDSON, A.C., MARTIN, R.H., & KANES, W.H. (1970). - Holocene Guadalupe delta of Texas Gulf Coast. *In : Deltaic Sedimentation Modern and Ancient. (Ed. by Morgan, J.P.) SEPM, special publ.* **15.**

DOTT, R.H. (1963). - Dynamics of gravity depositional processes. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **47**, *p. 104-108.*

DOTT, R.H. Jr., & SHAVER, R.H. (eds) (1974). -Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation. *SEPM, special publication* **19.**

DUFF, P. McL. D., HALLAM, A., & WALTON, E.K. (1967). - Cyclic Sedimentation. *Developments in Sedimentology,* **10**, *Elsevier, Amsterdam.*

DUNHAM, R.J. (1962). - Classification of Carbonate Rocks according to Depositional Texture. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **1**, *p. 108-121.*

DZULYNSKI, S., & WALTON, E.K. (1965). -Sedimentary Features of Flysch and Greywackes. *Developments in Sedimentology,* **7**, *Elsevier, Amsterdam.*

EASTERBROOK, D.J. (1982). - Glacial sediments. In : *Sandstone Depositional Environments (Ed. by SCHOLLE, P.A., & SPEARING, D.) Amer. Assoc. Petroleum Geol.*

EDMUNDSON, H., & RAYMER, L.L. (1979). -Radioactive parameters for Common Minerals. *SPWLA, 20th Ann. Log. Symp. Trans., paper O.*

EDWARDS, M.B. (1978). - Glacial Environments. *In : Sedimentary Environments and Facies. (Ed. by Reading, H.G.) Blackwell Scientific Publications, Oxford.*

EINSELE, G. (1963). - Über Art und Richtung der Sedimentation im klastischen rheinischen Oberdevon (Famenne). *Abhandl. Hess. Landesamtes Bodenforsch,* **43**, *60.*

ELLIOTT, T. (1974). - Abandonment facies of high-constructive lobate deltas, with an example from the Yoredale Series. *Proc. Geol. Assoc.*, **85**, *p. 359-366.*

ELLIOTT, T. (1974). - Interdistributary bay sequences and their genesis. *Sedimentology*, **21**, *p. 611-622.*

ELLIOTT, T. (1978). - Clastic Shorelines. *In : Sedimentary Environments and Facies. (Ed. by Reading, H.G.) Blackwell Scientific Publications, Oxford.*

ELLIOTT, T. (1978). - Deltas. *In : Sedimentary Environments and Facies. (Ed. by Reading, H.G.) Blackwell Scientific Publications, Oxford.*

ENOS, P. (1983). - Shelf Environment. *In : Scholle, P.A. et al., (eds.) : Carbonate Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **33**.

ENOS, P., & MOORE, C.H. (1983). - Fore-reef Slope Environment. *In : Scholle, P.A. et al., (eds.) : Carbonate Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **33**.

ETHRIDGE, F.G., & FLORES, R.M. (eds) (1981). -Recent and Ancient Nonmarine Depositional Environments : Models for Exploration. *SEPM, special publication* **31**.

FAIRBRIDGE, R.W. (1967). - Phases of Diagenesis and Authigenesis. In : *Diagenesis in Sediments, LARSEN, G., & CHILINGAR, G.V., Eds, p. 19-89, Elsevier, Amsterdam.*

FERM, J.C. (1970). - Allegheny deltaic deposits. *In : Deltaic Sedimentation Modern and Ancient. (Ed. by Morgan, J.P.) SEPM special publ.* **15**.

FISCHER, A.G. (1964). - The Lofer cyclothems of the Alpine Triassic. *In : Symposium on Cyclic Sedimentation (Ed. by MERRIAM, D.F.), p. 107-149. Bull. geol. Surv. Kansas,* **169**.

FISCHER, A.G. (1975). - Tidal deposits, Dachstein Limestone of the North Alpine Triassic. In : *Tidal Deposits : a casebook of recent examples and fossils counterparts (Ed. by GINSBURG, R.N.), p. 235-242, Springer, Berlin.*

FISHER, W.L., & McGOWEN, J.H. (1969). -Depositional systems in Wilcox Group (Eocene) of Texas and their Relation to Occurrence of Oil and Gas. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **53**, *p. 30-54.*

FISHER, W.L., BROWN, L.F., SCOTT, A.J., & McGOWEN, J.H. (1969). -Delta systems in the exploration for oil and gas. *Bur. econ. Geol., Univ. Texas, Austin.*

FISHER, J.H. (ed.) (1977). - Reefs and Evaporites - Concepts and Depositional Models. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Studies in Geology* **5**.

FLINT, R.F. (1971). - Glacial and Quaternary Geology. *John Wiley & Sons, New York.*

FOLK, R.L. (1959). - Practical Petrographic Classification of Limestones. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **43**, *p. 1-38.*

FOLK, R.L. (1962). - Spectral subdivision of Limestone Types. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **1**, *p. 64-84.*

FONS, L. Sr. (1969). - Geological application of well logs. *SPWLA, 10th Ann. Log. Symp. Trans.*

FOUCH, T.D., & DEAN, W.E. (1982). - Lacustrine Environments. *In : Scholle, P.A., & Spearing, D. (eds.) : Sandstone Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **31**.

FRASER, H.J. (1935). - Experimental study of porosity and permeability of clastic sediments. *J. Geol.*, **43**, *p. 910-1010.*

FRIEDMAN, G.M. (1964). - Early diagenesis and lithification in carbonate sediments. *J. sediment. Petrol.*, **34**, *p. 777-813.*

FRIEDMAN, G.M. (ed.) (1969). - Depositional Environments in Carbonate rocks. *Soc. econ. Paleont. Mineral., special publication* **14**.

FRIEDMAN, G.M., & ALI, S.A. (1981). - Diagenesis of Carbonate Rocks : Cement-Porosity Relationships. *SEPM Reprint series* **10**.

FRIEDMAN, G.M., & SANDERS, J.E. (1978). -Principles of Sedimentology. *John Wiley, & Sons, New York.*

FROST, S.H., WEISS, M.P. & SAUNDERS, J.B. (1977). - Reefs and related Carbonates - Ecology and Sedimentology. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Studies in Geology* **4**.

FRYBERGER, S.G. (1979). - Dune forms and wind regimes. In : *A Study of Global Sand Seas (Ed. by McKEE, E.D.), U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 1052.*

FRYBERGER, S.G. (1979). - Eolian-Fluviatile (continental) origin of ancient stratigraphic trap for petroleum in Weber Sandstone, Rangely oil field, Colorado. *Mountain Geologist*, **16**, *p. 1-36.*

FÜCHTBAUER, H. (1967). - Influence of different types of diagenesis on sandstone porosity. *Proc. 7th Wld Petrol. Cong., Mexico, p. 353-369.*

GALLOWAY, W.E. (1975). - Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems.

GALLOWAY, W.E. (1977). - Catahoula formation of the Texas Coastal Plain : Depositional systems, composition, structural developement, ground-waterflow history, and uranium distribution. Bur. Geol. Univ. Texas, Austin, Rept. Invest. N° 87.

GALLOWAY, W.E. (1981). - Depositional architecture of Cenozoic Gulf Coastal Plain Fluvial Systems. *SEPM, special publication* **31**.

GALLOWAY, W.E, & BROWN, L.F. Jr. (1973). -Depositional systems and shelf-slope relations on cratonic basin margin, Uppermost Pennsylvanian of north-central Texas. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **57**, *p. 1185-1218.*

GALLOWAY, W.E., & HOBDAY, D.K. (1983). -Terrigenous Clastic Depositional Systems. *Springer, New York.*

GARRELS, R.M., & MACKENSIE, F.T. (1971). -Evolution of Sedimentary rocks. *Norton, W.W., & Co, New York.*

GARY, M., McAFEE, R.Jr., & WOLF, C.L. (1972). - Glossary of Geology. *Amer. Geol. Institute, Washington, D.C.*

GERSIB, G.A., & McCABE, P.J. (1981). - Continental coal-bearing sediments of the Porthood Formation (Carboniferous), Cape Linzee, Nova Scotia, Canada. *SEPM, special publication* **31**, *p. 95-108.* GIGNOUX, M. (1950). - Géologie stratigraphique. *Masson, Paris.*

GILREATH, J.A., & MARICELLI, J.J. (1964). -Detailed Stratigraphic Control through dip Computations. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **48**, *12, p. 1904-1910.*

GILREATH, J.A., HEALY, J.S., & YELVERTON, J.N. (1969). - Depositional Environments Defined by Dipmeter Interpretation. *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.*, **19**, *p. 101-111.*

GILREATH, J.A., & STEPHENS, R.W. (1971). -Distributary Front Deposits Interpreted from Dipmeter Patterns. *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.*, **21**, *p. 233-243.*

GILREATH, J.A., & STEPHENS, R.W. (1975). -Interpretation of Log Responses in a Deltaic Environment. *Amer. Assoc. Petroleum Geol. Marine Geology Workshop, Dallas, Texas.*

GINSBURG, R.A. (1975). - Tidal Deposits. *Springer, New York.*

GLENNIE, K.W. (1970). - Desert Sedimentary Environments. *Developments in Sedimentology*, **14**, *Elsevier, Amsterdam.*

GLENNIE, K.W. (1972). - Permian Rotliegendes of Northwest Europe interpreted in light of Modern Desert Sedimentation Studies. *Bull. Amer Assoc. Petroleum Geol.*, **56**, *6.*

GOETZ, J.I., PRINS, W.J., & LOGAR, J.F. (1977). - Reservoir Delineation by Wireline Techniques. *paper presented at 6th Ann. Conv. Indonesia Petroleum Assoc., Jakarta, May 1977.*

GORSLINE, D.S., & EMERY, K.O. (1959). -Turbidity-current deposits in San Pedro and Santa Monica basins off southern California. *Bull. geol. Soc. Amer.*, **70**, *p. 279-290.*

GRABAU, A.W. (1903). - Paleozoic coral reefs. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **14**, *p. 337-352.*

GRANDVILLE, B.F. de la (1981). - Appraisal and Development of a Structural and Stratigraphic Trap Oil Field with Reservoirs in Glacial to Periglacial Clastics. *Middle East Oil Technical Conference of SPE, Bahrain, March 9-12, 1981.*

GRIM, R.E. (1958). - Concept of diagenesis in argillaceous sediments. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **42**, *p. 246-253.*

GRIM, R.E. (1968). - Clay Mineralogy. 2nd ed. *McGraw Hill, New York.*

HAILE, P.M., & BLUNDEN, H.A. (1984). - Zechstein Magnesium rich Evaporite Deposits of northern Netherlands and their volumetric analysis by GLOBAL. *SAID-SPWLA, 9th International Log Symp. Trans., Paris, paper 37.*

HALLEY, R.B., HARRIS, P.M., & HINE, A.C. (1983). - Bank Margin Environment. *In : Scholle, P.A. et al., (eds.) : Carbonate Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **33.**

HECKEL, P.H. (1972). - Recognition of Ancient Shallow Marine Environments. In : *"Recognition of Ancient Sedimentary Environments", edited by RIGBY, J.K., & HAMBLIN, W.K., SEPM, special publication* **16.**

HEPP, V., & DUMESTRE, A.C. (1975). - CLUSTER - A method for selecting the most probable dip results from dipmeter survey. *SPE of AIME, 50th Ann. Fall Mtg., Dallas, Paper SPE 5543.*

HOBSON, G.D., & TIRATSOO, E.N. (1975). -Introduction to Petroleum Geology. *Scientific Press Ltd, Beaconsfield, England.*

HOOKE, R. LEB. (1967). - Processes on arid-region alluvial fans. *J. Geol.*, **75**, *p. 438-460.*

HORNE, J.C., & FERM, J.S. (1978). - Carboniferous depositional environments : eastern Kentucky and southern West Virginia. *Department of Geology, University of South Carolina.*

HOUBOLT, J.J.H.C. (1968). - Recent sediments in the southern bight of the North Sea. *Geol. Mijnb.*, **47**, *p. 245-273.*

HOWELL, D.G., & NORMARK, W.R. (1982). -Sedimentology of Submarine Fans. *In : Scholle, P.A., & Spearing, D. (eds.) : Sandstone Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **31.**

HUTTON, J. (1788). - Theory of the earth. *Royal Soc. Edinburgh, Trans.*, **1**, *p. 209-304.*

INDEN, R.F., & MOORE, C.H. (1983). - Beach Environment. *In : Scholle, P.A. et al.*, (eds.) : Carbonate Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem. **33.**

INGRAM, R.L. (1954). - Terminology for the thickness of stratification and parting units in sedimentary rocks. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **65**, *p. 937-938.*

JAMES, N.P. (1979). - Shallowing-upward Sequences in Carbonates. *In : Facies Models. (Ed. by Walker, R.G.). Geoscience Canada Reprint Series 1.*

JAMES, N.P. (1979). - Reefs. *In : Facies Models. (Ed. by Walker, R.G.). Geoscience Canada Reprint Series 1.*

JAMES, N.P. (1983). - Reef Environment. *In : Scholle, P.A. et al., (eds.) : Carbonate Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **33.**

JOPLING, A.V., & McDONALD, B.C. (eds) (1975). - Glacio fluvial and Glaciolacustrine Sedimentation. *SEPM, special publication* **23.**

KEIGHIN, C.W., & FOUCH, T.D. (1981). - Depositional environments and diagenesis of some non marine upper Cretaceous Reservoir rocks, Uinta Basin, Utah. *SEPM, special publication* **31.**

KENDALL, A.C. (1984). - Evaporites. *In : Walker, R.G. ed. : Facies Models 2d ed., Geoscience Canada.*

KLEIN, G. deVries (1970). - Depositional and dispersal dynamics of intertidal sand bars. *J. sedim. Petrol.*, **40**, *p. 1095-1127.*

KLEIN, G. deVries (1980). - Sandstone Depositional Models for Exploration for fossils fuels. 2nd ed. *CEPCO. Div., Burgess Publishing Co.*

KRUEGER, W.C. (1968). - Depositional environments of sandstones as interpreted from electrical measurements. An introduction. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc., 18th ann. Mtg.*, **18**.

KRUIT, C., BROUWER, J., KNOX, G., SCHÖLLNBERGER, W., & VLIET, A. van (1975). -Une excursion aux cônes d'alluvions en eau profonde d'âge Tertiaire près de San Sebastian (province de Guipùzcoa, Espagne). *9th Int. Congr. Sedimentol., Nice, excursion* **23**.

KRUMBEIN, W.C. (1942). - Physical and Chemical Changes in Sediments after Deposition. *J. sediment. Petrol.*, **12**, *p. 111-117.*

KRUMBEIN, W.C., & SLOSS, L.L. (1963). -Stratigraphy and Sedimentation. 2nd ed. *W.H. Freeman, & Co., San Francisco.*

KRYNINE, P.D. (1948). - The megascopic study and field classification of sedimentary rocks. *J. Geol.*, **56**, *p. 130-166.*

KUENEN, Ph. H. (1953). - Graded bedding, with observations on Lower Paleozoic rocks of Britain. *Verhandel. koninkl. Ned. Akad. Wetenschap., Afdel. Natuurk., Sect. I*, **20**, *3, p. 1-47.*

KUENEN, Ph. H. (1953). - Significant features of graded bedding. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **37**, *p. 1044-1066.*

KUKAL, Z. (1970). - Geology of recent sediments. *Academia, Prague.*

LANDES, K.K. (1951). - Petroleum Geology. *John Wiley, & Sons, New York.*

LAPORTE, L.F. (ed) (1974). - Reefs in Time and Space. *SEPM, special publication* **18**.

LARSEN, G, & CHILINGAR, G.V. (1967). - Diagenesis in Sediments. *Elsevier, Amsterdam.*

LeBLANC, R.J., Sr., (1972). - Geometry of sandstone reservoir bodies. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Memoir* **18**, *p. 133-177.*

LEE, C.H. (1919). - Geology and groundwaters of the western part of San Diego County, California. *Wat.-Supply Irrig. Pap. Wash.*, **446**, *121 p.*

LEET, L.Don, JUDSON, S., & KAUFFMAN, M.E. (1978). - Physical Geology. 5th ed. *Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.*

LEOPOLD, L.B., & WOLMAN, M.G. (1960). -River meanders. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **71**, *p. 769-793.*

LINK, P.K. (1982). - Basic Petroleum Geology. *OGCI Publications, Tulsa.*

LOMBARD, A. (1956). - Géologie Sédimentaire. Les séries marines. *Masson, Paris.*

LOMBARD, A. (1972). - Séries sédimentaires. Genèse - Evolution. *Masson, Paris.*

LONGMAN, M.W. (1980). - Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **64**, *p. 461-487.*

LUCIA, F.J. (1972). - Recognition of Evaporite-Carbonate Shoreline Sedimentation. In : *"Recognition of Ancient Sedimentary Environments", edited by RIGBY, J.K., & HAMBLIN, W.K., SEPM, special publication* **16**.

MATTHEWS, R.K. (1974). - Dynamic Stratigraphy. An introduction to Sedimentation and Stratigraphy. *Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.*

MAYER, C., & SIBBIT, A. (1980). - GLOBAL, a new Approach to Computer-processed Log Interpretation. *SPE of AIME, ann. Fall Mtg., Dallas, SPE 9341.*

McCUBBIN, D.G. (1982). - Barrier-Island and Strand-Plain Facies. *In : Scholle, P.A., & Spearing, D. (eds.) : Sandstone Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **31**.

McGOWEN, J.H., & GARNER, L.E. (1970). -Physiographic features and stratification types of coarse-grained point bars : Modern and ancient examples. *Sedimentology*, **14**, *p. 77-111.*

McGOWEN, J.H., & GROAT, C.G. (1971). - Van Horn Sandstone, West Texas : An alluvial fan model for mineral exploration. *Bur. Econ. Geol. Univ. Tex., Rept. Invest. 72, 57 p.*

McKEE, E.D. (1957). - Flume experiments on the production of stratification and cross-stratification. *J. sediment. Petrol.*, **27**, *p. 129-134.*

McKEE, E.D. (1966). - Structures of dunes at White Sands National Monument, New Mexico (and comparison with structures of dunes from other selected areas). *Sedimentology*, **7**, *p. 1-69.*

McKEE, E.D., & WARD, W.C. (1983). - Eolian Environment. *In : Scholle, P.A. et al., (eds.) : Carbonate Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **33**.

McKEE, E.D., & WEIR, G.W.(1953). - Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks. *Bull. geol. Soc. Amer.*, **64**, *p. 381-390.*

MIALL, A.D. (1977). - A review of the braided-river depositional environment. *Earth Sci. Rev.*, **13**, *p. 1-62.*

MIALL, A.D. (ed.) (1978). - Fluvial Sedimentology. *Canad. Soc. Petroleum Geol., Mem.* **5**.

MIALL, A.D. (1979). - Deltas. *In : Facies Models. (ed. by Walker, R.G.). Geoscience Canada Reprint Series 1.*

MIALL, A.D. (1984). - Principles of Sedimentary Basin Analysis. *Springer, New York.*

MIDDLETON, G.V. (ed.) (1965). - Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation. *SEPM, Spec. Pub.* **12**.

MIDDLETON, G.V. (1976). - Hydraulic interpretation of sand size distributions. *J. Geology*, **84**, *p. 405-426.*

MIDDLETON, G.V., BOUMA, A.H. *et al.*, (1973). -Turbidites and deep-water sedimentation. *SEPM, Pacific Section, Short Course, Anaheim.*

MIDDLETON, G.V., & HAMPTON, M.A. (1973). -Sediment gravity flow : Mechanics of flow and deposition. *SEPM, Pacific Section, Short Course, Anaheim.*

MIDDLETON, G.V., & HAMPTON, M.A. (1976). -Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity flows. In : *Marine Sediment Transport and Environmental Management (Ed. by STANLEY, D.J., & SWIFT, D.J.P.), p. 197-218. Joh Wiley, New York.*

MILLOT, (1970). - Geology of clays. *Springer, Berlin.*

MONS, F., & BABOUR, K. (1981). - Vertical Seismic Profiling : Recording, Processing, Applications.

MOORE, R.C. (1949). - Meaning of facies. *Geol. Soc. Amer., Mem.* **39**, *p. 1-34.*

MORGAN, J.P. (ed.) (1970). - Deltaic Sedimentation Modern and Ancient. *SEPM, Spec. Pub.* **15.**

MUTTI, E., & RICCI-LUCCHI, F. (1972). - Le torbiditi dell'Appennino settentrionale : introduzione all'analisi di facies. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, **11**, *p. 161-199.*

NELSON, B.W. (1970). - Hydrography, sediment dispersal, and recent historical development of the Po river delta, Italy. *In : Deltaic Sedimentation, modern and ancient. (Ed. by Morgan, J.P.). SEPM special publ.* **15.**

NELSON, C.H., & KULM, V. (1973). - Submarine fans and channels. *SEPM, Pacific Section, Short Course, Anaheim.*

NILSEN, T.H. (1969). - Old red sedimentation in the Buelandet-Vaerlandet Devonian district, western Norway. *Sediment. Geol.*, **3**, *p. 35-57.*

NILSEN, T.H. (1982). - Alluvial Fan Deposits. *In : Scholle, P.A., & Spearing, D. (eds.) : Sandstone Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **31.**

NORWOOD, E.M. Jr., & HOLLAND, D.S. (1974). - Lithofacies mapping. A descriptive tool for ancient delta systems of the Louisiana outer continental shelf. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, **24.**

NURMI, R.D. (1978). - Use of well logs in evaporite sequences. *In : Marine Evaporites (Ed. by Dean, W.E, & Schreiber, B.C.). SEPM, short course* **4**, *p. 144-176.*

NURMI, R.D. (1984). - Geological evaluation of stratigraphic high resolution dipmeter data. *SPWLA, 25th Ann. Log. Symp. Trans., New Orleans.*

OOMKENS, E. (1970). - Depositional sequences ans sand distribution in the postglacial Rhône delta complex. *In : SEPM, special pub.* **15.**

OTTO, G.H. (1938). - The sedimentation unit and its use in field sampling. *J. Geol.*, **46**, *p. 569-582.*

PAYRE, X., & SERRA, O. (1979). - A case study - Turbidites recognized through dipmeter. *SPWLA, 6th Europ. Log. Symp. Trans., London, paper K.*

PERRIN, G. (1975). - Comparaison entre des structures sédimentaires à l'affleurement et les pendagemétries de sondages. *Bull. Centre Rech. Pau, SNPA*, **9**, *p. 147-181.*

PETTIJOHN, F.J. (1930). - Imbricate arrangement of pebbles in apre-Cambrian conglomerate. *Jour. Geol.*, **38**, *p. 568-573.*

PETTIJOHN, F.J. (1975). - Sedimentary Rocks. 3rd ed. *Harper, & Row, Publishers, New York.*

PETTIJOHN, F.J., & POTTER, P.E. (1964). - Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures. *Springer, New York.*

PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E., & SIEVER, R. (1972). - Sand and Sandstone. *Springer, New York.*

PICARD, M.D., & HIGH, L.R. (1972). - Criteria for Recognizing Lacustrine Rocks. In : *"Recognition of Ancient Sedimentary Environments", edited by RIGBY, J.K., & HAMBLIN, W.K., SEPM, special publication* **16.**

PIRIE, G. (1982). - Geology and log study of tight gas sandstones : Cotton Valley Group. *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.*, **32**, *p. 77-88.*

PIRSON, S.J. (1977). - Geologic Well Log Analysis. 2nd ed. *Gulf Publishing Co., Houston.*

POTTER, P.E., & PETTIJOHN, F.J. (1977). -Paleocurrents and Basin Analysis. 2nd ed. *Springer, New York.*

POWERS, M.C. (1967). - Fluid release mechanisms in compacting marine mudrocks and their importance in oil exploration. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **51**, *p. 1240-1253.*

PRAY, L.C., & MURRAY, R.C. (Eds) (1965). -Dolomitization and Limestone Diagenesis. *SEPM, Special Publication* **13.**

PRESS, F., & SIEVER, R. (1982). - Earth. 3rd ed. *W.H. Freeman, & Co, San Francisco.*

RAAF, J.F.M. de (1968). - Turbidites et associations sédimentaires apparentées, I and II. *Kon. Ned. Akad. Wetensch., Amsterdam, Verh.,series B*, **71**, *p. 1-23.*

RAAF, J.F.M. de, READING, H.G., & WALKER, R.G. (1965). - Cyclic sedimentation in the Lower Westphalian of north Devon, England. *Sedimentology*, **4**, *p. 1-52.*

READING, H.G. (Ed.) (1978). - Sedimentary Environments and Facies. *Blackwell Scientific Publications, Oxford.*

REINECK, H.E. (1972). - Tidal Flats. In : *"Recognition of Ancient Sedimentary Environments", edited by RIGBY, J.K., & HAMBLIN, W.K., SEPM, special publication* **16.**

REINECK, H.E., & SINGH, I.B. (1971). - Der Golf von Gaeta/Tyrrhenisches Meer. 3. Die Gefüge von Vorstrand-und Schelfsedimenten. *Senckenbergiana maritima*, **3**, *p. 185-201.*

REINECK, H.E., & SINGH, I.B. (1975, 1980). -Depositional Sedimentary Environments. 1st and 2nd ed. *Springer, New York.*

REINSON, G.E. (1979). - Barrier-Island Systems. *In : Walker, R.G. ed. : Facies Models, 1st ed., Geoscience Canada.*

REINSON, G.E. (1984). - Barrier-Island and Associated Strand-Plain Systems. *In : Walker, R.G. ed. : Facies Models, 2d ed., Geoscience Canada.*

RIDER, M.H., & LAURIER, D. (1979). - Sedimentology using a computer treatment of well logs. *SPWLA, 6th Europ. Symp. Trans., paper J.*

RIEKE, H.H. III, & CHILINGARIAN, G.V. (1974). -Compaction of Argillaceous Sediments. *Developments in Sedimentology*, **16**, *Elsevier, Amsterdam.*

RIGBY, J.K., & RAMBLIN, W.K. (eds) (1972). -Recognition of Ancient Sedimentary Environments. *SEPM, special publication* **16.**

RUSSELL, W.L. (1951). - Principles of Petroleum Geology. *McGraw-Hill Book Co., New York.*

RUST, B.R. (1972). - Structure and process in a braided river. *Sedimentology,* **18,** *p. 221-246.*

RUST, B.R. (1972). - Pebble orientation in fluvial sediments. *J. sediment. Petrol.,* **42,** *p. 384-388.*

SABINS, F.F. (1972). - Comparison of Bisti and Horseshoe Canyon Stratigraphic Traps, San Juan Basin, New Mexico. *In Stratigraphic Oil and Gas Fields - Classification, Exploration Methods, and Case Histories, Amer. Assoc. Petroleum Geol., Memoir* **16,** *p. 610-622.*

SALLEE, J.E., & WOOD, B.R. (1982). - Use of the Dipmeter to Improve Formation Evaluation in Thin-Bedded Sand/Shale Sequences. *Offshore South East Asia 82 Conference, 9-12 Feb., Singapore.*

SCHEIDEGGER, A.E., & POTTER, P.E. (1971). -Downcurrent decline of grain size and thickness of single turbidite beds : a semi-quantitative analysis. *Sedimentology,* **17,** *p. 41-49.*

*Schlumberger Ltd* (1970). - Fundamentals of Dipmeter Interpretation.

*Schlumberger Ltd* (1972). - Log Interpretation. Volume I - Principles.

*Schlumberger Ltd* (1974). - Log Interpretation. Volume II - Applications.

*Services Techniques Schlumberger* (1974). -Well Evaluation Conference. North Sea.

*Schlumberger* (1979). - Well Evaluation Conference. Algeria.

*Schlumberger Ltd* (1981). - Dipmeter Interpretation. Volume 1 - Fundamentals.

*Schlumberger Middle East S.A.* (1981). - Well Evaluation Conference. United Arab Emirates/ Qatar.

*S.P.E. Schlumberger* (1982). - Well Evaluation Developments. Continental Europe.

*Schlumberger Technical Services, Inc.* (1982). -Essentials of Natural Gamma ray Spectrometry Interpretation.

*Schlumberger* (1983). - Well Evaluation Conference. Afrique de l'Ouest.

*Schlumberger Technical Services, Inc.* (1983). -Well Evaluation Conference. India.

*Schlumberger Middle East S.A.* (1984). - Well Evaluation Conference. Egypt.

*Schlumberger Offshore Services* (1984). - Evaluacion de Formaciones en Mexico.

SCHMALZ, R.F. (1969). Deep-water evaporite deposition : a genetic model. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **53,** *p. 798-823.*

SCHOLLE, P.A., & SPEARING, D. (Ed.) (1982). -Sandstone Depositional Environments. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem.* **31.**

SCHOLLE, P.A., ARTHUR, M.A., & EKDALE, A.A. (1983). - Pelagic Environment. *In : Scholle, P.A. et al.,* (eds.) : Carbonate Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem. **33.**

SCHWARTZ, M.L. (ed.) (1973). - Barrier islands. *Stroudsburg, PA., Dowden, Hutchinson and Ross, 451 p.*

SCHWARZACHER, W. (1953). - Cross-bedding and grain size in the Lower Cretaceous sands of East Anglia. *Geol. Mag.,* **90,** *p. 324-330.*

SCOTT, K.M. (1966). - Sedimentology and dispersal pattern of a Cretaceous flysch sequence, Patagonian Andes, southern Chile. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **50,** *p. 74-107.*

SCRUTON, P.C. (1956). - Oceanography of Mississippi delta sedimentary environments. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **40** *p. 2864-2952.*

SCRUTON, P.C. (1960). - Delta building and the deltaic sequence. *In : SHEPARD et al.,* (ed.), Recent sediments, northwest Gulfof Mexico : Tulsa, Okla., Amer. Assoc. Petroleum Geol.

SELLEY, R.C. (1966). - Petrography of the Torridonian rocks of Raasay and Scalpay, Inverness-shire. *Proc. geol. Ass. London,* **77,** *p. 293-314.*

SELLEY, R.C. (1970). - Studies of sequence in sediments using a simple mathematical device. *J. geol. Soc. London, Quart. Jour.,* **125,** *p. 557-581.*

SELLEY, R.C. (1970, 1978). - Ancient Sedimentary Environments. 1st and 2nd ed. *Chapman, & Hall, London.*

SELLEY, R.C. (1972). - Diagnosis of marine and non-marine environments from the Cambro-Ordovician sandstones of Jordan. *J. geol. Soc. London,* **128,** *p. 135-160.*

SELLEY, R.C. (1976). - An Introduction to Sedimentology. *Academic Press, London.*

SELLEY, R.C. (1978). - Concepts and methods of subsurface facies analysis. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Continuing Education Course Note Series* **9.**

SELLEY, R.C. (1979). - Dipmeter and log motifs in North Sea submarine-fan sands. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.,* **63,** *6, p. 905-917.*

SELLWOOD, B.W. (1978). - Shallow-water Carbonate Environments. *In : Sedimentary Environments and Facies. (Ed. by Reading, H.G.) Blackwell Scientific Publications, Oxford.*

*Society of Economic Paleontologists and Mineralogists* (1975). - Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences. *SEPM short course* **2.**

SERRA, O. (1972). - Diagraphies, & Stratigraphie. In : *Mém. B.R.G.M.,* **77,** *p. 775-832.*

SERRA, O. (1973). - Interprétation Géologique des diagraphies en Séries Carbonatées. *Bull. Centre Rech. Pau - SNPA,* **7,** *1, p. 265-284.*

SERRA, O. (1974). - Interprétation géologique des Séries deltaïques à partir des diagraphies différées. *Rev. A.F.T.P.,* **227,** *Oct., p. 9-17.*

SERRA, O. (1977). - Méthode rapide d'analyse faciologique par diagraphies différées. *SPWLA, 5th Europ. Symp. Trans., Paris, paper 9.*

SERRA, O. (1980). - Aspects diagraphiques des Evaporites. *Bull. Centre Rech. Pau - SNPA,* **4,** *1, p. 411-431.*

SERRA, O. (1984). - Fundamentals of Well-Log Interpretation. Volume 1 : The Acquisition of Logging Data. *Developments in Petroleum Science*, **15A**, *440 p., Elsevier, Amsterdam*.

SERRA, O., & ABBOTT, H. (1980). - The Contribution of Logging data to Sedimentology and Stratigraphy. *55th Ann. Fall Techn. conf. SPE of AIME, paper SPE 9270, and in SPE J., Feb. 1982.*

SERRA, O., BALDWIN, J., & QUIREIN, J. (1980). - Theory, Interpretation and practical Application of Natural Gamma ray Spectroscopy. *SPWLA, 21st Ann. Log. Symp. Trans., paper Q.*

SERRA, O., & SULPICE, L. (1975). - Sedimentological Analysis of shale-sandseries from well logs. *SPWLA, 16th Ann. Log. Symp. Trans., paper W.*

SERRA, O., & SULPICE, L. (1975). - Apports des diagraphies différées aux études sédimentologiques des séries argilo-sableuses traversées en sondage. *9th Cong. Intern. Sédiment., Nice, thème 3, p. 86-96.*

SHARP, R.P. (1960). - Glaciers. *The Condon Lectures, Oregon State system of education, Eugene, Oregon.*

SHELTON, J.S. (1966). - Geology Illustrated. *Freeman, & Co., New York.*

SHELTON, J.W. (1967). - Stratigraphic models and general criteria for recognition of alluvial, barrier-bar, and turbidity current sand deposits. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **5**, *12, p. 2441-2461.*

SHINN, E.A. (1983). - Tidal Flat Environment. *In : Scholle, P.A. et al.*, (eds.) : Carbonate Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem. **33**.

SHIRLEY, M.L. (ed.) (1966). - Deltas in their geologic framework. *Houston Geological Society.*

SHROCK, R.R. (1948). - Sequence in Layered Rocks. *McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.*

SPEARING, D.R. (1971). - Summary sheets of Sedimentary Deposits. *Published by Geol. Soc. America.*

SPEARING, D.R. (1976). - Upper Cretaceous Shannon Sandstone : an offshore, shallow-marine sand body. *Wyoming Geol. Ass. Guidebook, 28th Field Conf., p. 65-72.*

STEEL, R.J., MAEHLE, S., NILSEN, H., ROE, S.L., & SPINNANGR, A. (1977). - Coarsening upward cycles in the alluvium of Hornelen Basin (Devonian), Norway. Sedimentary response to tectonic events. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **88**, *p. 1124-1134.*

STEINMETZ, R. (1967). - Depositional history, primary sedimentary structures, cross bed dips, and grain size of an Arkansas river point bar at Wekiwa, Oklahoma. *Rep. F67-G-3 (In : REINECK, & SINGH, 1975).*

STOKES, W.L. (1968). - Multiple parallel truncation bedding planes - a feature of wind-deposited sandstone formations. *J. sediment. Petrol.*, **38**, *p. 510-516.*

STOW, D.A.V. (1985). - Deep-sea clastics : where are we and where are we going ? *In : Sedimentology. Recent developments and Applied Aspects. Ed by P.J. Brenchley & B.P.J. Williams. Blackwell Scientific Publications, Oxford.*

TAYLOR, J.C.M., & COLTER, V.S. (1975). -Zechstein of the English Sector of the southern North Sea Basin. *In : Petroleum and the Continental Shelf of North-West Europe. Vol. 1. Geology. (Ed. by A.W. Woodland). Applied Science Publishers, London.*

THEYS, P., LUTHI, S., & SERRA, O. (1983). - Use of dipmeter in Carbonates for detailed sedimentology and reservoir engineering studies.

VATAN, A. (1954). - Pétrographie sédimentaire. *Ed. Technip, Paris.*

TIXIER, M.P., & ALGER, R.P. (1967). - Log Evaluation of Non-Metallic Mineral Deposits. *SPWLA, 8th Ann. Log. Symp. Trans., paper R.*

VINCENT, P., GARTNER, J., & ATTALI, G. (1979). - GEODIP - An approach to detailed dip determination using correlation by pattern recognition. *J. Petroleum Technol., Feb. 1979, p. 234-240.*

VISHER, G.S. (1965). - Use of vertical profile in environmental reconstruction. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **49**, *p. 41-61.*

VISHER, G.S. (1969). - How to distinguish barrier bar and channel sands. *World Oil, May.*

VISHER, G.S. (1972). - Physical Characteristics of Fluvial Deposits. In : *"Recognition of Ancient Sedimentary Environments", edited by RIGBY, J.K., & HAMBLIN, W.K., SEPM, special publication* **16**.

WALKER, R.G. (1967). - Turbidite sedimentary structures and their relationship to proximal and distal depositional environments. *J. sedim. Petrol.*, **37**, *p. 25-43.*

WALKER, R.G. (1975). - Generalized facies models for resedimented conglomerates of turbidite association. *Bull. geol. Soc. Amer.*, **86**, *p. 737-748.*

WALKER, R.G. (1976). - Facies Models. Turbidites and associated coarse clastic deposits. *Geoscience Canada*, **3**, *p. 25-36.*

WALKER, R.G. (Ed.) (1979, 1984). - Facies Models. 1st and 2nd ed. *Geoscience Canada, reprint series 1, published by Geol. Assoc. Canada.*

WALKER, R.G., & MUTTI, E. (1973). - Turbidite facies and facies association. *SEPM, Pacific Section, Short Course, Anaheim.*

WALKER, T.R., & HARMS, J.C. (1972). - Eolian origin of Flagstone beds, Lyons sandstone (Permian), type area, Boulder County, Colorado. *Mountain Geologist*, **9**, *p. 279-288.*

WEBER, K.L. (1971). - Sedimentological aspects of oil fields in the Niger delta. *Amer. Assoc. Petroleum Geol. Bull.*, **49**, *6.*

WEIMER, R.J. (1976). - Deltaic and shallow Marine sandstones. Sedimentation, tectonics and Petroleum occurrences. *Amer. Assoc. Petroleum Geol., Continuing Education Course Note Series* **2**.

WIDDICOMBE, R.E., & NOON, P. (1984). -Multiwell FACIOLOG evaluation, Hartzog Draw Field, Powder River Basin, Wyoming. *SPWLA, 25th Ann. Log. Symp. Trans., New Orleans.*

WILLIAMS, P.F., & RUST, B.R. (1969). - The sedimentology of a braided river. *J. sediment. Petrol.*, **39**, *2, p. 649-679.*

WILSON, J.L. (1975). - Carbonate Facies in Geologic History. *Springer, New York.*

WILSON, J.L., & JORDAN, C. (1983). - Middle Shelf Environment. *In : Scholle, P.A. et al.*, (eds.) : Carbonate Depositional Environments; Amer. Assoc. Petroleum Geol., Mem. **33**.

WRIGHT, L.D., & COLEMAN, J.M. (1972). - River delta morphology, wave climate, and the role of the subaqueous profile. *Science*, **176**, *p. 284-288.*

WRIGHT, L.D., & COLEMAN, J.M. (1973). -Variations in morphology of major river deltas as functions of ocean wave and river discharge regimes. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **57**, *p. 370-398.*

WRIGHT, L.D., & COLEMAN, J.M. (1974). -Mississippi River mouth processes : effluent dynamics and morphologic development. *J. Geol.*, **82**, *p. 751-778.*

YOUNG, F.G., & REINSON, G.E. (1975). - Sedimentology of Blood Reserve and adjacent formations (Upper Cretaceous), St. Mary River, Southern Alberta. *In : Shawa, M.S., ed., Guidebook to selected sedimentary environments in south western Alberta, Canada. Can. Soc. Petroleum Geol., Field Conference.*

ZOBELL, C.E. (1942). - Changes produced by Microorganisms in Sediments after Deposition. *J. sediment. Petrol.*, **12**, *p. 127-136.*