



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

СЕКВЕНТНАЯ СТРАТИГРАФИЯ. СЕМИНАРЫ

ГАБДУЛЛИН РУСЛАН РУСТЕМОВИЧ
ЯКОВИШИНА ЕЛЕНА ВАСИЛЬЕВНА

ГЕОЛФАК МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН
СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ. РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ
СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ.
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ
НА [VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).

ЕСЛИ ВЫ ОБНАРУЖИЛИ
ОШИБКИ ИЛИ ОПЕЧАТКИ,
ТО СООБЩИТЕ ОБ ЭТОМ,
НАПИСАВ СООБЩЕСТВУ
[VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).



БЛАГОДАРИМ ЗА ПОДГОТОВКУ КОНСПЕКТА
СТУДЕНТКУ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ
СЕАНОВУ АНАСТАСИЮ СЕРГЕЕВНУ



Содержание

Семинар 1. Выделение секвенций на сеймопрофилях	5
1.1. Выделение секвенций на идеальном сейсмическом профиле	5
1.2. Данные для анализа (геометрия напластования; клиноформные несогласия и др.).....	9
1.3. Пример анализа данных	10
Семинар 2. Выделение секвенций на сеймопрофилях. Часть 2	14
2.1. Выделение секвенций	14
2.2. Данные для анализа (геометрия напластования; клиноформные несогласия и др.).....	15
2.3. Связь профиля секвентной стратиграфии с хроностратиграфическим профилем. Задание	16
2.4. Формирование секвенции.....	17
2.5. Связь профиля секвентной стратиграфии с хроностратиграфическим профилем	19
2.6. Задание	22
Семинар 3. Сейсмофации	24
3.1. Типы сейсмофаций.....	24
3.2. Типы несогласий	27
3.3. Клиноформное несогласие	29
3.4. Примеры.....	30
3.6. Задание	35
Семинар 4. Секвентная стратиграфия в карбонатах	36
4.1. Типичная геометрия карбонатных платформ.....	36
4.2. Проградационный комплекс	37
Семинар 5. Секвенции кластических отложений	42
5.1. Иерархия стратиграфических секвенций.....	42
5.2. Мегасеквенции	42
5.3. Примеры секвенций разных порядков	43
Семинар 6. Связь геофизических данных каротажных диаграмм с секвенциями и трактами	48

6.1. Фации	48
6.2. Пакеты парасеквенций.....	49
6.3. Терминология	51
6.4. Системы осадконакопления обломочных пород	53
Семинар 7. Выделение секвенций и систем трактов на каротажных диаграммах	57
7.1. Виды каротажа	59
7.2. Задание (восстановить разрез по данным каротажа).....	60
7.3. Задание 2 (начертить гипотетические кривые каротажа)	61
7.4. Задание 3	66
7.5. Задание 4	67
Семинар 8. Связь секвентной и биостратиграфии	68
8.1. Связь палеоэкологии организмов и эвстатических вариаций	68
8.2. Выводы.....	81
Семинар 9. Седиментология эвстатических вариаций	82
9.1. Знакомство с литолого-палеонтологической коллекцией	82
9.2. Литологическая коллекция.....	91
9.3. Выводы.....	109
Семинар 10. Выделение секвенций и систем трактов в керне и на обнажении	110
10.1. Знакомство с литолого-палеонтологической коллекцией	110

Семинар 1

Выделение секвенций на сеймопрофилях

Основные принципы секвентной стратиграфии

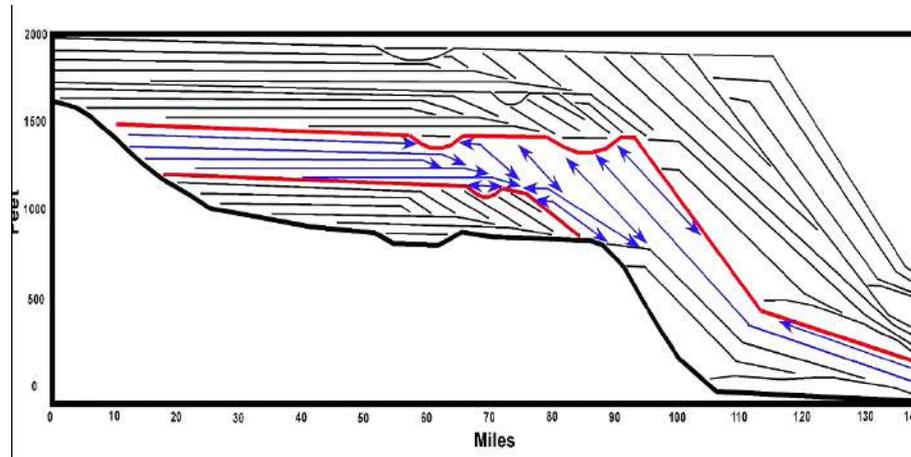


Рис. 1.1. Идеальный сейсмический профиль

Последовательность осадконакопления является фундаментальным принципом секвентной стратиграфии.

Секвенция – относительно согласная последовательность слоев, ограниченная в кровле и подошве несогласиями или коррелируемым согласным наслоением.

1.1. Выделение секвенций на идеальном сейсмическом профиле

Рассмотрим идеальный сейсмический профиль, на котором можем увидеть секвенции, согласия и несогласия (рис. 1.1). Секвенции лучше всего увидеть на пассивных окраинах, где идет последовательная смена отложений в определенные этапы времени, которые связаны с эвстатическими колебаниями уровня моря. Если мы говорим о секвенции – это время от одного максимального падения уровня моря до другого максимального падения уровня моря.

На рис. 1.1 представлен идеальный сейсмический профиль. Самая нижняя утолщенная линия - склон, подножие и шельф. Все остальные линии – отражающие поверхности от каждого слоя, который накопился в определенный момент времени. Эти слои как согласны, так и несогласны. Как определить секвенцию на таких профилях? Необходимо помнить, что секвенция состоит из трактов. Существуют три тракта, которые отвечают определенному стоянию уровня моря. Колебания уровня моря во времени происходят постоянно, и мы их можем увидеть. Есть максимум уровня моря и минимум уровня моря. Два минимума – граница секвенции

Мы можем увидеть несколько этапов формирования секвенций. Самая нижняя часть, от минимального уровня до стабилизации - low stand (LST) – **тракт низкого**

стояния. Этап, который продолжается от затопления бровки шельфа до максимума стояния уровня моря – **трансгрессивный тракт** – непродолжительный, осадков накапливается немного. После максимального стояния уровня моря снова начинает падать. Сначала осадки накапливаются на шельфе, далее только на дне бассейна. Если уровень моря падает не так быстро, он задерживается на бровке шельфа. Этот этап – **тракт высокого стояния.** Это полная секвенция (рис. 1).

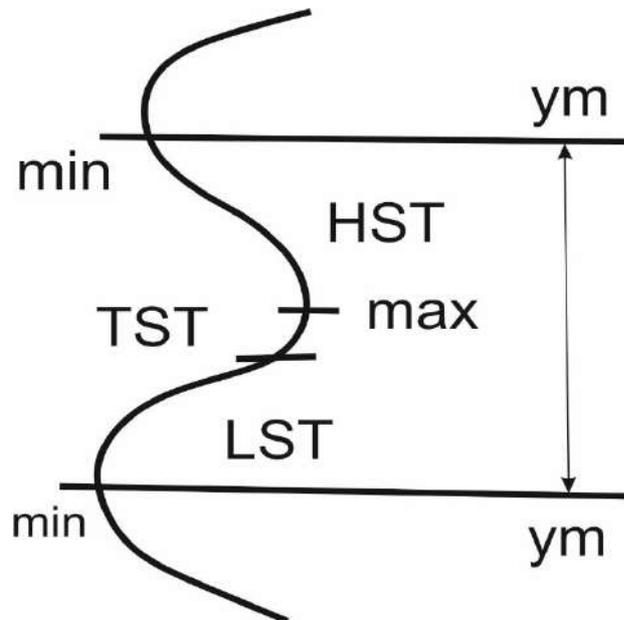


Рис. 1.2. Полная секвенция

Как это увидеть на профиле? Мы поняли, что на профиле каждая линия-отражение сейсмической поверхности каждого слоя, который накапливался в определенный момент времени. Есть склон, подножие и шельф. Есть в шельфе понижение рельефа во флювиальных равнинах – время, когда уровень моря упал так низко, что осадконакопление происходило только в пониженных частях рельефа – во врезанных долинах (рис. 1.3).

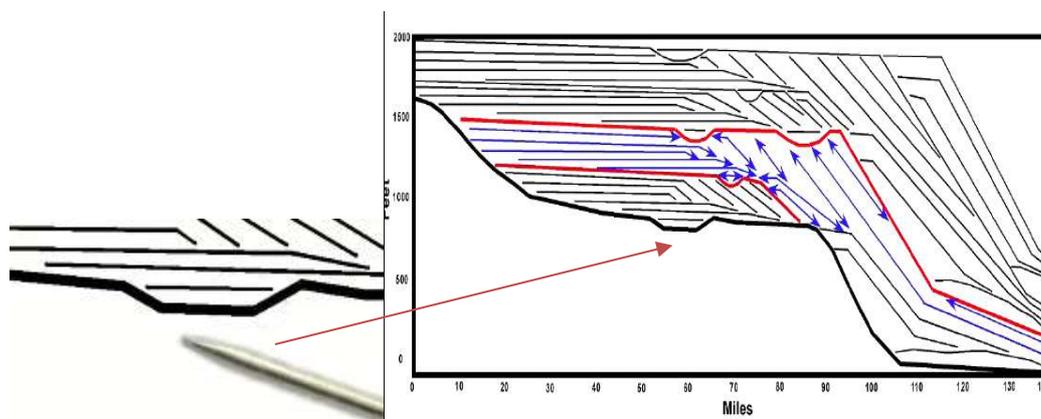


Рис. 1.3. Врезанная долина на сеймопрофиле

В это время еще может происходить осадконакопление на подножии и континентальном склоне океана. Если заполнилась врезанная долина, значит это был максимально низкий уровень моря, значит это нижняя граница секвенции. Далее мы видим некоторую последовательность. Первый слой отвечает тому, что осадконакопление происходит только на дне океана или моря (рис. 1.4). Это значит, что уровень моря стоит максимально низко, осадконакопление происходит в наиболее глубоких частях. Второй слой – уровень моря начинает подниматься, потому что пространство переходит на склон, осадок начинает заполнять пространство. Далее уровень моря поднимается еще выше.

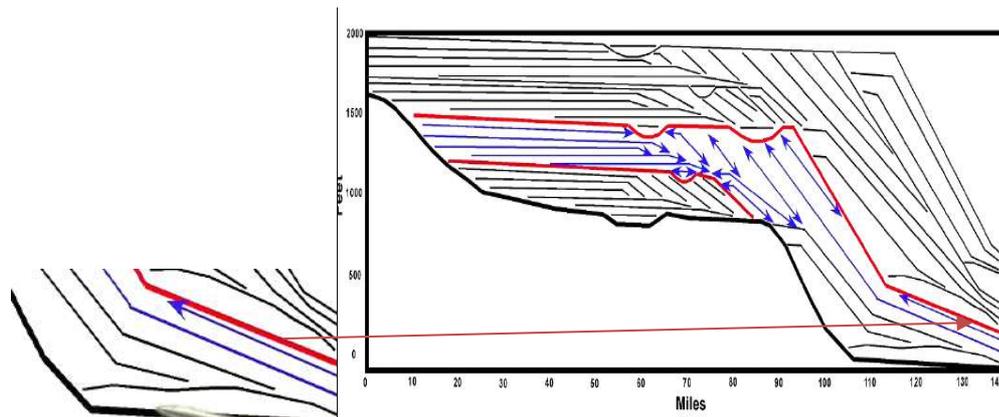


Рис. 1.4. Тракт низкого стояния

Далее мы видим, что сравнялись бровка шельфа и уровень моря (рис. 1.5). В этом случае начинает заливаться шельф и в понижениях рельефа формируется осадконакопление. Это ингрессия, затопление понижений рельефа, врезанной долины. Уровень моря начинает повышаться.

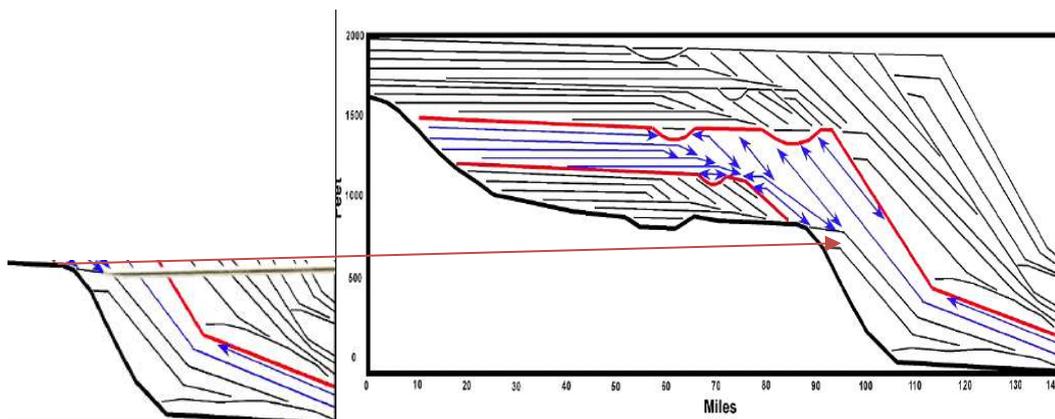


Рис. 1.5. Повышение уровня моря

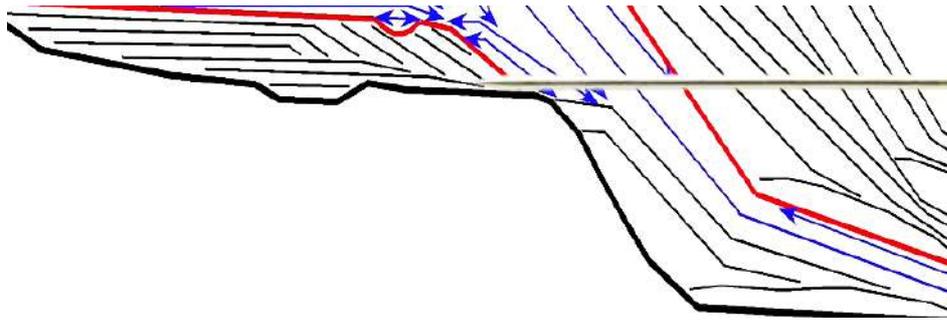


Рис. 1.6. Трансгрессивный тракт

Следующая линия говорит о том, что уровень моря настолько высок, что он затопил шельф. Уровень моря начинает повышаться и достигает своего максимального значения – трансгрессивный тракт (рис. 1.6).

Далее мы видим несогласия, уровень моря начинает понижаться – тракт высокого стояния. Проградация происходит в сторону мирового океана. Скорость осадконакопления больше, чем скорость падения уровня моря. Часть слоев эродировано. Далее видим, что уровень моря упал максимально низко (рис. 1.7). Мы увидели полную секвенцию.

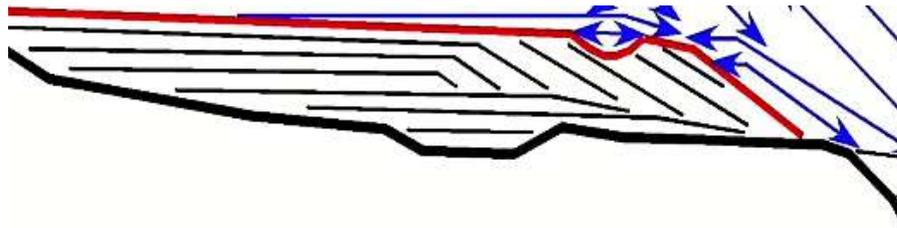


Рис. 1.7. Тракт высокого стояния

Далее видим следующую полную секвенцию (рис. 1.8).

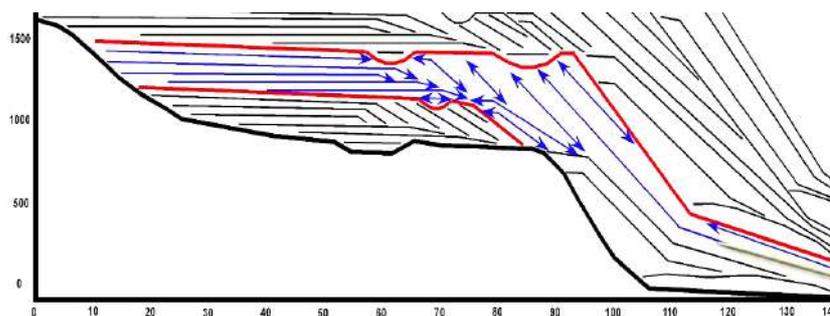


Рис. 1.8. Две секвенции (выделены красным цветом)

Соответственно, на рис. 1.1. мы можем выделить две секвенции.

1.2. Данные для анализа (геометрия напластования; клиноформные несогласия и др.)

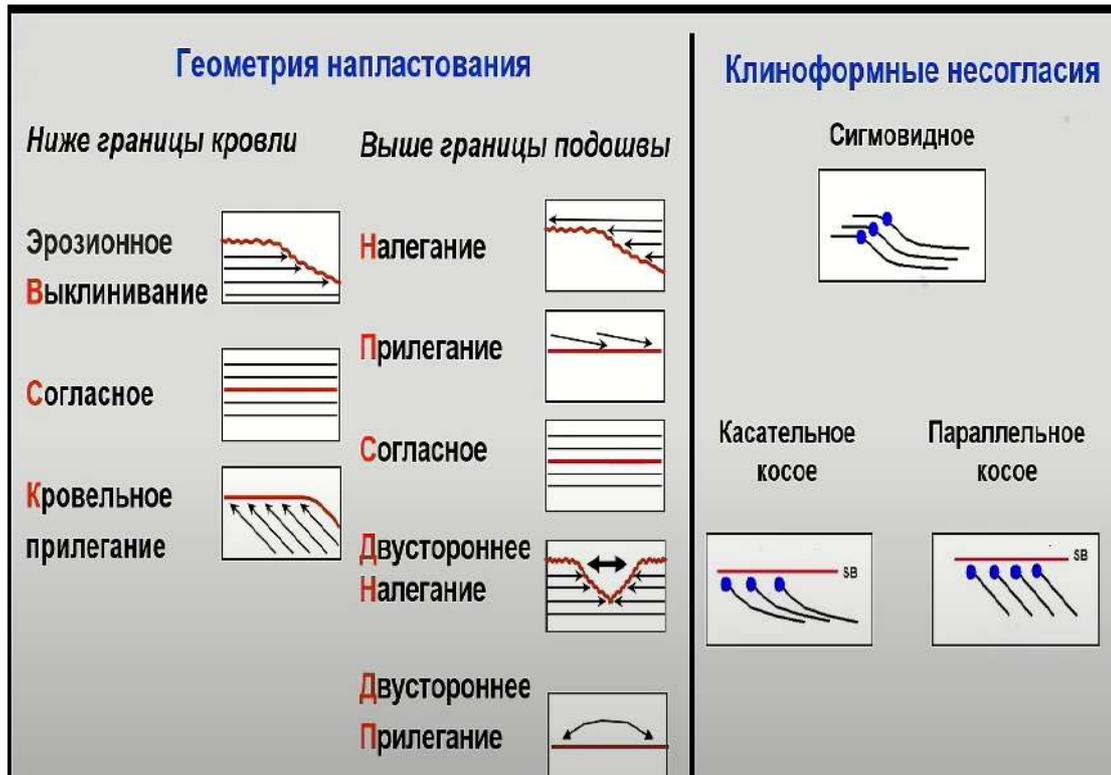


Рис. 1.9. Геометрия напластования на сейсмических профилях

Если уровень моря разный, то и, соответственно, при падении уровня моря в участках, где происходит регрессия, осадки эродированы. Это кровельное прилегание. То есть по кровле выше все эродировано.

Согласное залегание – мы можем его увидеть и при низком, и при высоких стояниях в разных частях.

Эрозионное срезание – когда идет выклинивание и срезание ранее накопленных отложений.

В идеализированном профиле необходимо проанализировать все несогласия. Именно несогласия могут позволить выделить тракты. После выделения трактов можно выделить и секвенции.

Рассмотрим рис. 1.10. Внизу профиля двустороннее облежание, далее идет налегание, вышележащие слои – прилегание. Внизу наблюдаются некоторые слои, которые накапливаются на дне, далее часть осадков начинает налегать на склон. Слои образуют определенные клиноформы, заполняя бассейн, далее виден перегиб в рельефе – бровка шельфа. Как только бровка шельфа затопливается – меняется тип – это прилегание. Следующее – согласные слои на шельфе. Далее в некий момент времени

слои начинают идти в другую сторону. Как только увидели момент несогласий – трансгрессивная граница. Там, где меняется тип несогласий – максимум затопления. Далее – тракт высокого стояния. Как только поменяется тип несогласия – станет ясно, что поменялся уровень моря и это является границей секвенции. Иногда некоторые части секвенций не сохраняются. Есть границы секвенции, есть трансгрессивная поверхность, есть граница максимума затопления, которая отвечает максимальному затоплению и является границей между трансгрессивным трактом и трактом высокого стояния. Анализируя несогласия, необходимо выделить секвенции. Прилегание – в тракте низкого стояния. Двустороннее прилегание - в месте врезанной долины. Это соответствует началу трансгрессивного тракта – трансгрессивной поверхности.

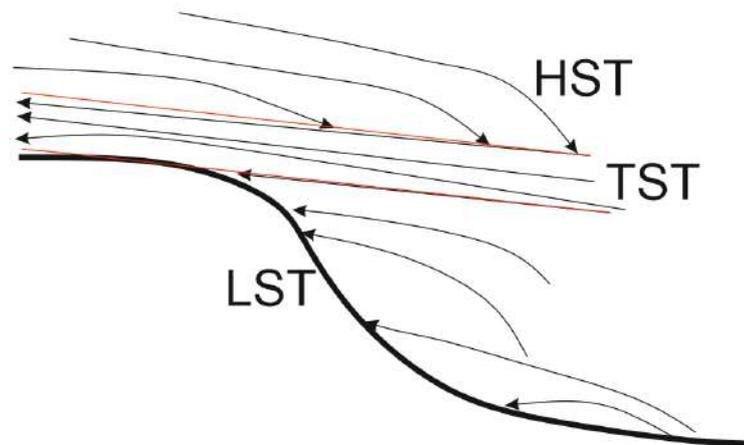


Рис. 1.10. Секвенция на сейсмическом профиле

• Параллельные • (тонкие)		Бугристые/ Хаотические	
• Параллельные • (мощные)		Отсутствие отражений	
• Параллельные/ • Прерывистые		Плохое качество данных	
• Субпараллельные		Эрозионные врезы	
• Хаотические		Повернутые блоки	

Рис. 1.11. Типы сейсмических отражений внутри последовательности

1.3. Пример анализа данных

Задача – проанализировать разрез (рис. 1.12).

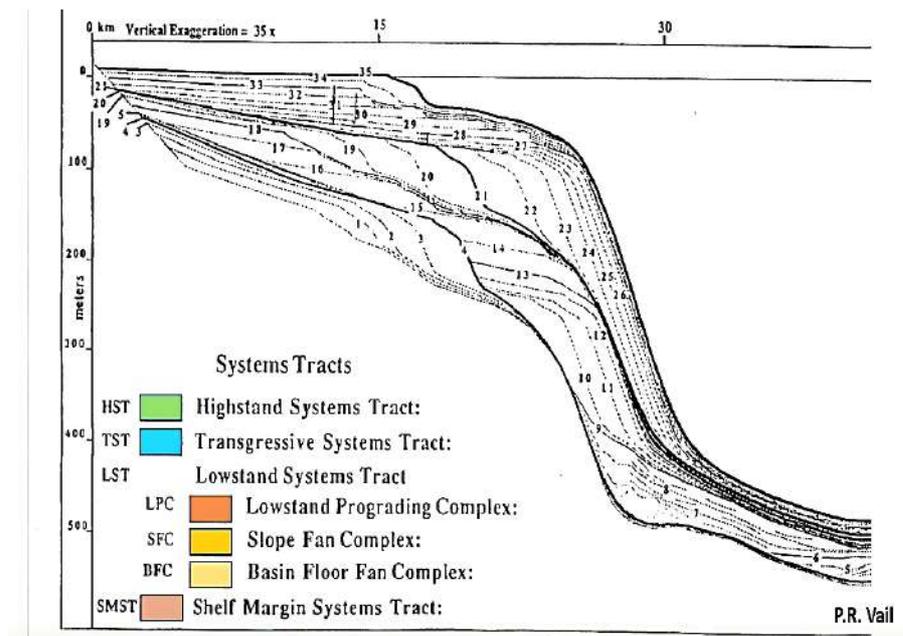


Рис. 1.12. Идеальный сейсмический профиль

Цифры обозначают то, что это каждая отражающая поверхность. Каждая линия подписана. С 1ой по 4ую линии – проградация (когда уровень моря отступает). Дельта реки прогадирует, она выступает в море. Уровень моря отступает и движется в сторону бассейна. Ретроградация – поднятие уровня моря и затопление шельфа. С 1ой по 4ую – проградация. Каждая линия смещается в сторону бассейна. Далее 5, 6 линии – осадконакопление происходит только на дне бассейна. Все остальное либо не накапливается, либо эродировано. Скорее всего, уровень моря упал так низко, что осадконакопление происходит только в нижней части. С 6 по 9 линии – отложения, которые формируются на склоне бассейна. Начинает потихоньку заполняться осадками и прилегать к континентальному склону. Это склоновые осадки. Отложения с 10 по 14 – проградация, иногда агградация (скорость седиментации равна скорости поднятия/падения уровня моря). Если уровень моря поднимается – тракт низкого стояния. До 14ой линии – тракт низкого стояния (от 5 до 14ой). 15 линия – первая линия, которая выше бровки шельфа. Если уровень моря выше бровки шельфа – трансгрессивная граница. С этого момента начинается трансгрессия. Начинается трансгрессивный тракт. Далее осадки ретроградируют в сторону суши. Тип несогласия поменялся, мы нашли границу. 14-18 линии – границы, которые идут в одном и том же направлении, они ретроградируют, осадки накапливаются все дальше от склона и все ближе к континенту, начиная с 19ой поверхности абсолютно меняется тип несогласий, осадки начинают проградировать в сторону бассейна, так как уровень моря начинает падать, и осадки движутся в другом направлении. Начиная с 19ой, 20, 21 линии – характерная проградация в сторону бассейна. Когда уровень моря падает – максимальная граница затопления – тракт высокого стояния. С 21ой по 27 линии – агградация, скорость седиментации равна скорости падения уровня моря. Это значит, что осадков приносится

примерно столько же, сколько появляется аккумуляционного пространства. Большинство осадков образуют характерные клиноформы, большинство осадков формируются на континентальном склоне. На самом склоне и подножии осадков почти не накапливается, несогласированное осадконакопление. Начиная с 27го, 28 линии мы увидим, что идет смена несогласий, она соответствует поднятию уровня моря, там есть отступающая ступени, которые формируются при ретроградации, при значительном поднятии уровня. Это секвенция 2го типа. Начиная с 34ой и 35ой поверхности, видим, что снова меняется тип несогласий. Это говорит о том, что уровень моря начинает падать, это уровень высокого стояния уровня моря. Есть окраинно-шельфовый тракт. Это аналог низкого стояния уровня моря, но сам уровень моря не падает так низко. На бланковке можно выделить две секвенции. А если учесть нижнюю часть 1-4 – три секвенции.

Задание. Необходимо нарисовать все несогласия и выделить все границы, подписать границы секвенции, выделить и подписать границы трактов, раскрасить бланковку и подписать фации.

Перегибы в рельефе важны для анализа (рис. 1.13).

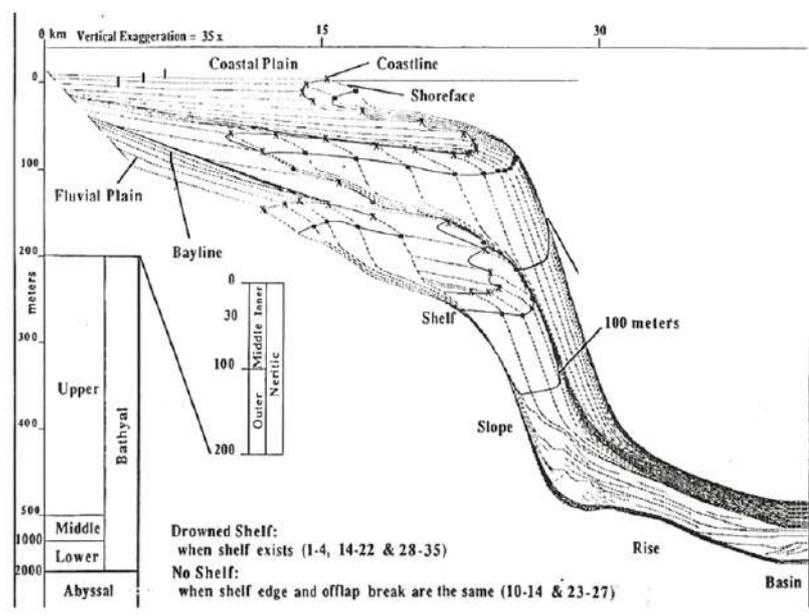


Рис. 1.13. Батиметрия

Батиметрия связана с профилем рельефа (рис. 1.13). Смещение бровки шельфа – агградационный комплекс. Если он начинает смещаться в сторону суши – ретроградационный комплекс, проградационный комплекс – когда резкое смещение в сторону бассейна. При ретроградационном комплексе часто формируются ступени. При проградационном комплексе – клиноформы. Агградационный комплекс – бассейн плавно заполняется осадками.

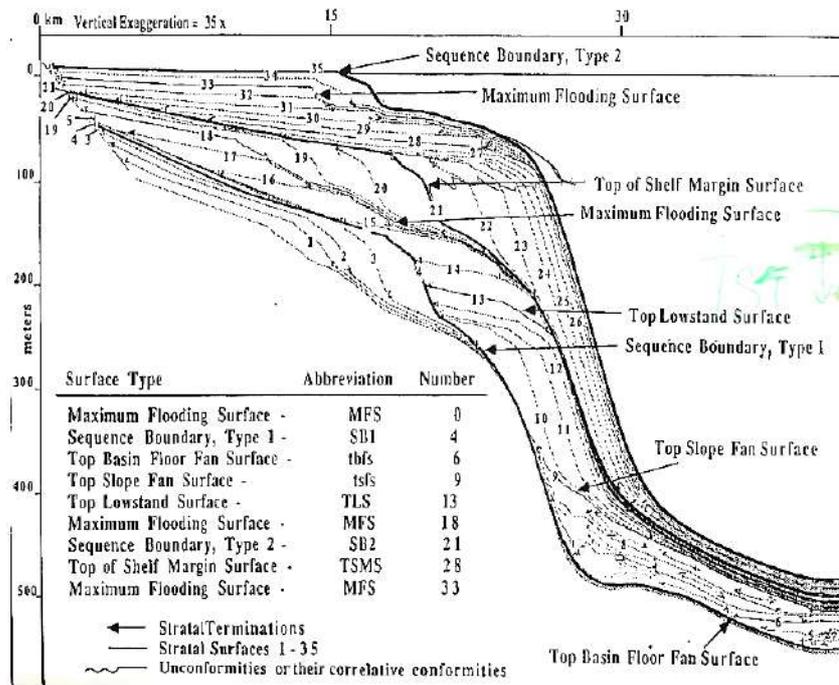


Рис. 1.14. Результат

Тракт высокого стояния – высокий тракт – аллювиальные долины – зеленый цвет. Трансгрессивный тракт – синего цвета. Как цвет моря. Тракт низкого стояния – осадки накапливаются только на склоне и подножии, это терригенные осадки, поэтому коричневый цвет.

Семинар 2

Выделение секвенций на сейсмопрофилях. Часть 2.

2.1. Выделение секвенций

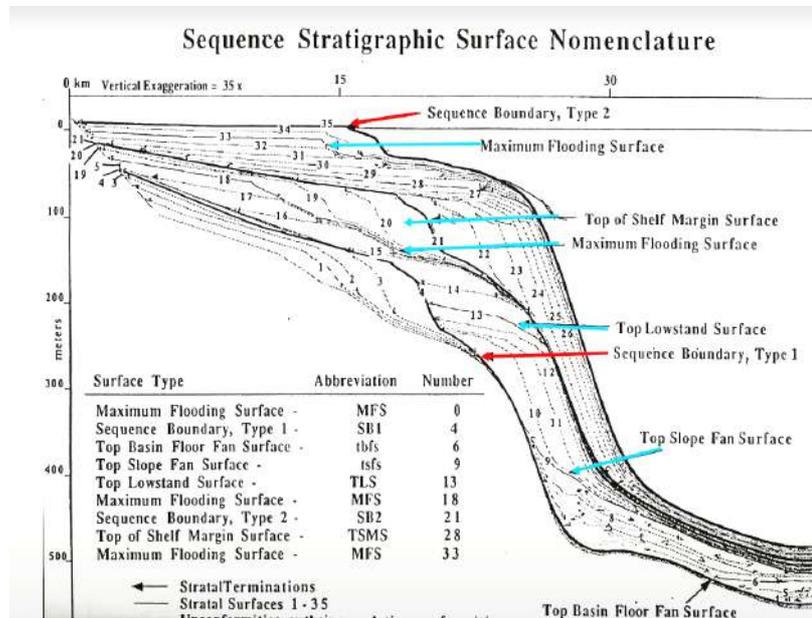


Рис. 2.1. Результат выделения секвенции из предыдущей работы

В первом практическом занятии необходимо было исследовать идеальный сейсмический профиль, на котором каждая поверхность была обозначена цифрой и необходимо было найти тракты и секвенции (рис. 1.2).

Первое, что необходимо было показать – бассейновые фации (нижняя часть). Склоновые фации – 9ая линия, фации поднятия уровня моря также находятся на склоне. Сама секвенция начинается от максимального падения уровня моря, мы видим весь цикл колебания уровня. В максимальном цикле мы выделяем определенные тракты. Тракт низкого стояния – от самого низкого падения, это бассейновые отложения, первый этап формирования тракта низкого стояния. Второй этап – формирование склоновых отложений, происходит поднятие. Отложения проградируют в сторону бассейна. Отложения с 10-14 линии соответствуют началу поднятия уровня моря – началу трансгрессии. Поднятие уровня до бровки шельфа – перегиб в рельефе. Как только видим первый день заполнения шельфа – с этого момента начинается трансгрессивный тракт. Это трансгрессивная поверхность. Настоящая трансгрессия – тогда, когда затопливается шельф. Это трансгрессивный тракт. С этого момента начинается следующий этап формирования секвенций. Эта поверхность, линия 15, соответствует трансгрессивной поверхности. Это граница между трактом низкого стояния и трансгрессивным трактом. Далее мы видим отступающие ступени 16-18 поверхности. Это ретроградация. Происходит наступление моря и отступление суши. Это ретроградационный комплекс.

Мы это видим по несогласиям. Более мелководные отложения сменяются более глубоководными. Поверхность 18 – максимум затопления. Это был самый глубокий бассейн, уровень моря стоял максимально высоко. С этого момента происходит падение уровня моря. Трансгрессивный тракт сменяется трактом высокого стояния. Проградация, сменяется несогласие. Происходит проградация дельты, когда дельта движется в сторону бассейна. Проградационные комплексы показывают, что комплекс осадков начинают двигаться в сторону бассейна – 19,20, 21 – проградационные поверхности. Уровень моря постепенно начинает падать. Тракт высокого стояния продолжается до падения уровня моря. Мы выделили все три тракта, следовательно, у нас есть полная секвенция. От одного до другого падения уровня моря. 4-21 линии ограничивают секвенцию. Следующая поверхность 22-24-агградационные комплексы. Агградационные комплексы могут соответствовать тракту низкого стояния или окраинно-шельфовому комплексу. Окраинно-шельфовый комплекс – скорость седиментации равна падению/поднятию уровня моря. Накопление осадков равно скорости поднятия уровня моря. Море начинает подниматься, но так медленно, что осадки его компенсируют. С какого-то момента 27, 28 линия – начинает изменяться тип осадконакопления, ретроградационный тип меняется на агградационный. Видим отступающие ступни до 33. Поверхности движутся обратно в сторону суши – это ретроградационные комплексы. Мелководные отложения сменяются глубоководными. Мы выделили секвенцию 2 типа. Окраинно-шельфовый тракт соответствует тракту низкого стояния. Далее трансгрессивный тракт. С 34-35 поверхности осадконакопление движется снова в сторону бассейна. Снова мы видим падение уровня моря, следовательно, мы выделили еще одну секвенцию. Не обязательно в реальных разрезах встречаются все тракты. Часто бывает, что некоторые тракты не сохраняются. Например, трансгрессивный тракт, так как эти отложения незначительные по мощности. При падении уровня моря часто эти отложения могут эродироваться, и мы можем их не увидеть. Данная модель – идеальная.

2.2. Данные для анализа (геометрия напластования; клиноформные несогласия и др.)

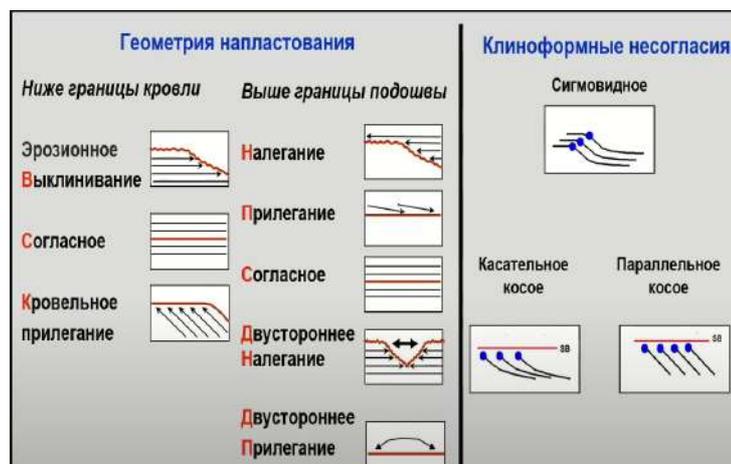


Рис. 2.2. Геометрия напластования на сейсмических профилях

Тракты прослеживались по несогласиям. Может быть кровельное прилегание – верхняя часть срезана. Согласная граница может быть в разных типах. Эрозионное выклинивание – срезаются накопленные отложения. Налегание – к некоторой поверхности налегают более крутые поверхности. уровень повышается – налегание, уровень моря понижается – прилегание. Но это не обязательно. Согласная граница во всех трактах может прослеживаться. Тракт высокого стояния или трансгрессивный тракт. В глубокой части мы видим согласную границу, в мелкой части он может быть уже несогласным. Это необходимо отслеживать и анализировать. Двустороннее налегание – есть некоторые врезанные поверхности, это либо флювиальные равнины (мелководная часть), либо это может накапливаться в очень глубоководной части за счет турбидитных потоков. Также могут быть донные течения, которые могут образовывать такие врезанные долины.

Если говорить о терригенных осадках – это донные отложения, когда мутьевые потоки сходят с шельфа и образуют турбидитные потоки, это прилегание. Мы можем видеть рифы – прилегание двусторонне.

Далее мы говорили про клиноформы, которые характерны для тракта высокого стояния и для тракта низкого стояния. Необходимо определять какого типа это несогласие.

2.3. Связь профиля секвентной стратиграфии с хроностратиграфическим профилем. Задание

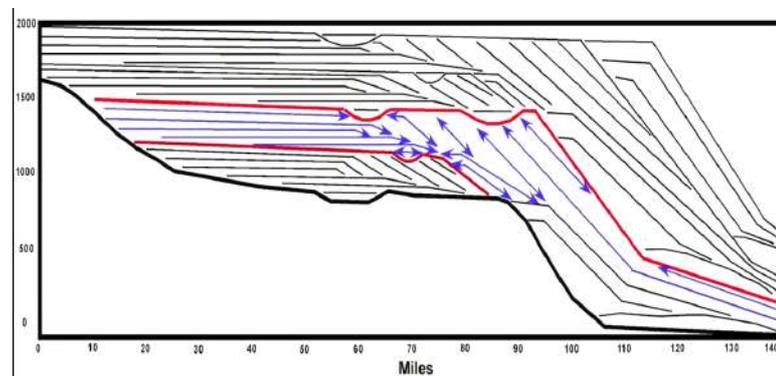


Рис. 2.3. Идеальный сейсмический профиль

Следующая работа – необходимо связать секвентную стратиграфию (рис. 2.3) с хроностратиграфическим профилем. Хроностратиграфический профиль – профиль, который показывает накопление осадков во времени. На рис. 2.3 мы видим идеальную картину и никаких перерывов выделить не можем. В хроностратиграфии мы можем проследить объем эрозии, можем определить в каких обстановках накапливались те или иные отложения. Для этого необходимо связать профиль секвентной стратиграфии с профилем хроностратиграфии.

Сначала необходимо выделить все типы несогласий. Мы видим, когда один тракт меняется на другой. У нас есть прилегание и налегание. Отложения накапливаются в разных обстановках. Как только меняется тип несогласия, значит что-то в природе поменялось. Красным цветом мы выделяем границы секвенций (рис. 2.4). Границы секвенции - от одного падения уровня моря до другого. Мы видим несколько секвенций по типу несогласий. Важны врезанные долины. Они могут быть как в мелководной части, так и в глубоководной. Ингрессия – момент, когда осадконакопление происходит только в понижениях.

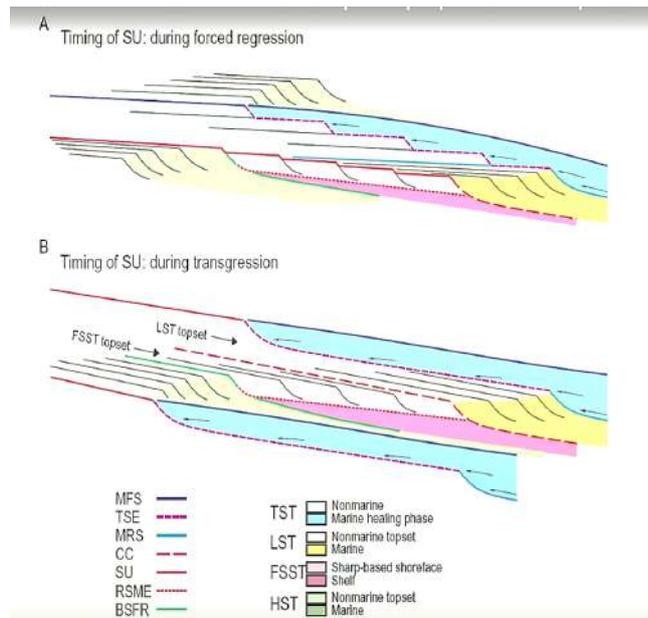
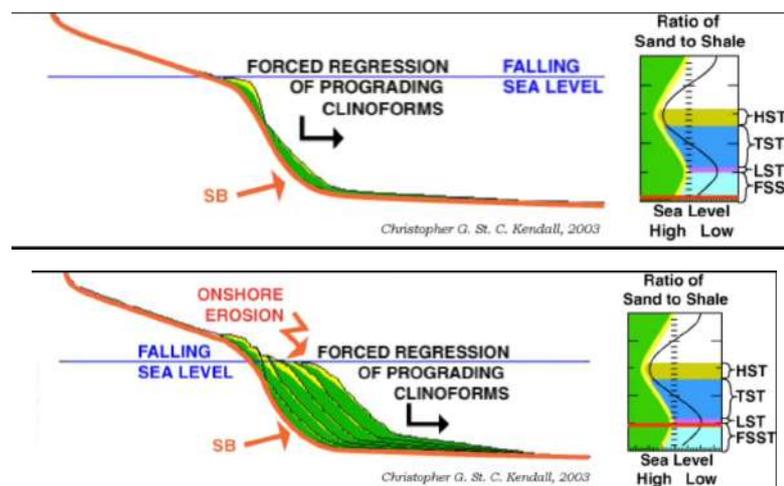


Рис. 2.4. Секвенции

Здесь (рис. 2.4) показано, как меняется уровень моря и как меняются типы несогласий.

2.4. Формирование секвенции



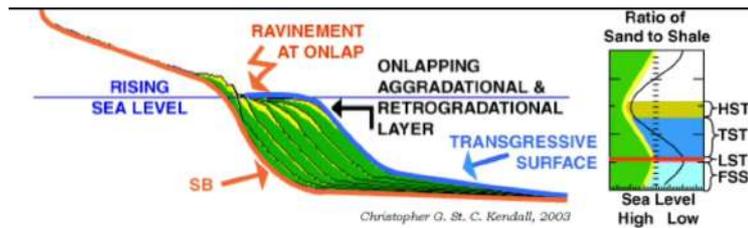


Рис. 2.4. Накопление осадков, начало трансгрессивного тракта

Идет накопление осадков (рис. 2.4). Идут агградационные комплексы, скорость седиментации равна скорости поднятия уровня моря. Граница между трактом низкого стояния и трансгрессивного тракта на бровке шельфа.

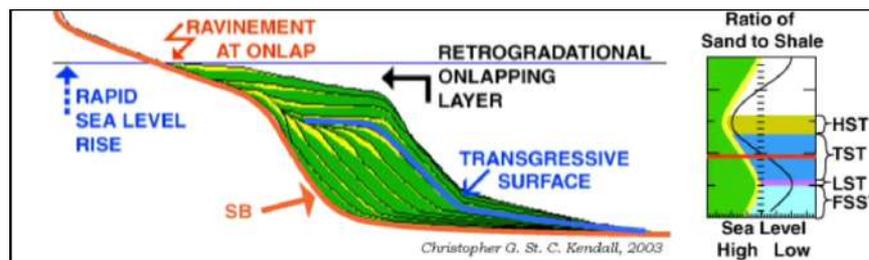


Рис. 2.5. Ретроградация

Далее ретроградационные комплексы (рис. 2.5), когда уровень моря поднимается так хорошо, что заполняется все пространство, мелководные отложения заменяются глубоководными.



Рис. 2.6. Начало тракта высокого стояния

Ретроградационный комплекс доходит до максимального уровня, как только тип несогласия поменяется, поменяется и комплекс. Наиболее глубоководные отложения начнут сменяться на мелководные, уровень моря падает, начинается проградационный комплекс. Это тракт высокого стояния (рис. 2.6).

2.5. Связь профиля секвентной стратиграфии с хроностратиграфическим профилем

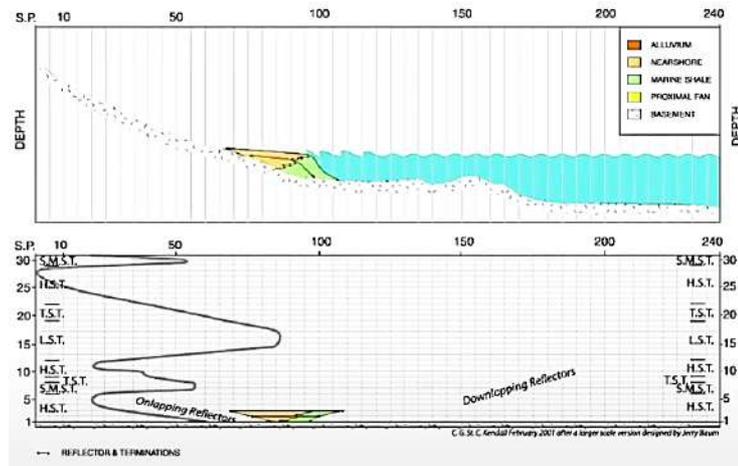


Рис. 2.7. Связь профиля секвентной стратиграфии с хроностратиграфическим профилем

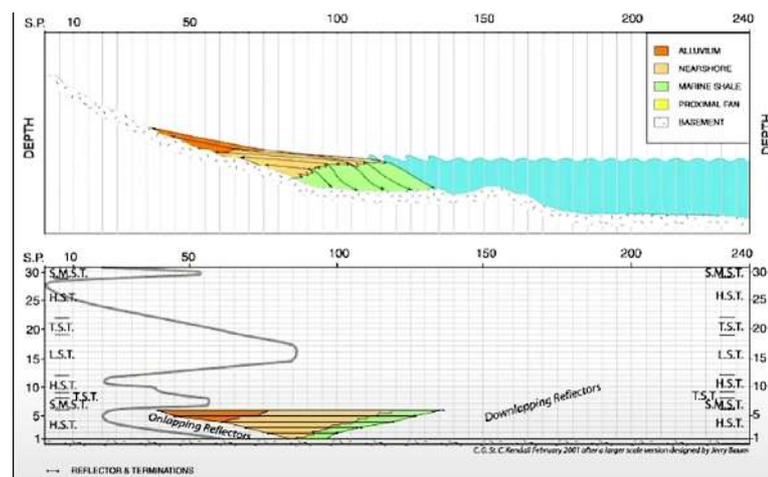


Рис. 2.8. Трансгрессия

Верхняя часть – секвентная стратиграфия (рис. 2.8). Нижняя часть – хроностратиграфический профиль. Проградация отложений в сторону бассейна. Далее начинается затопление шельфа – трансгрессивный тракт.

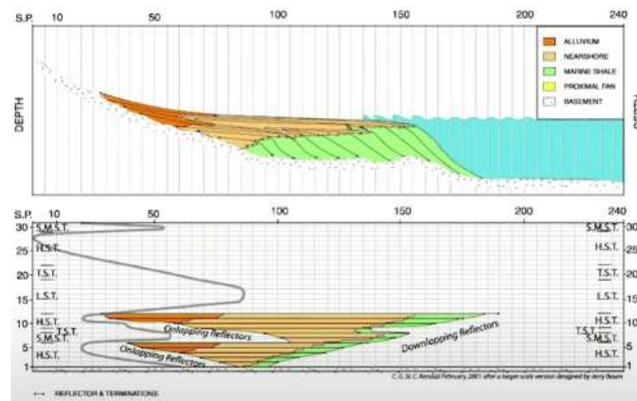


Рис. 2.9. Падение уровня моря

Далее уровень моря упал так низко, что отложения формируются только в низкой части, на дне (рис. 2.9).

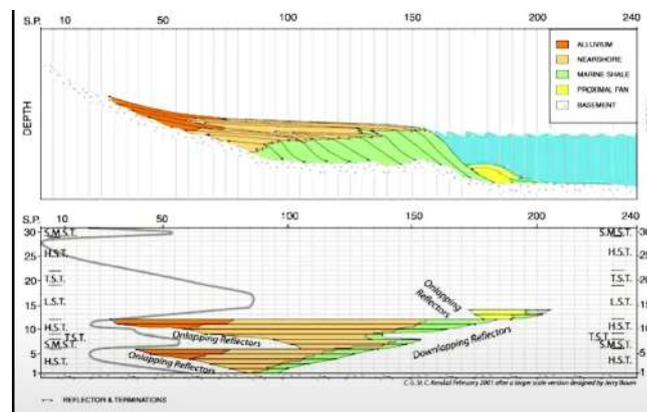


Рис. 2.10. Накопление отложений на дне бассейна

В какой-то момент уровень моря поднялся выше бровки шельфа. Относительно мелководные отложения заменяются глубоководными. В мелководной части отложения почти не накапливаются.

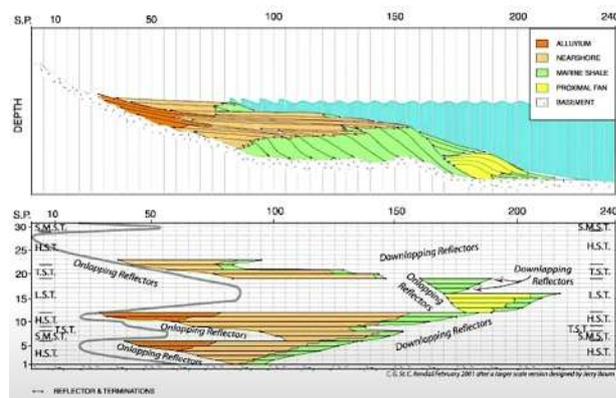


Рис. 2.11. Трансгрессия

За длительный период времени мы видим огромные перерывы в осадконакоплении. Мы можем проследить весь комплекс трансгрессивно-регрессивного движения (рис. 2.12).

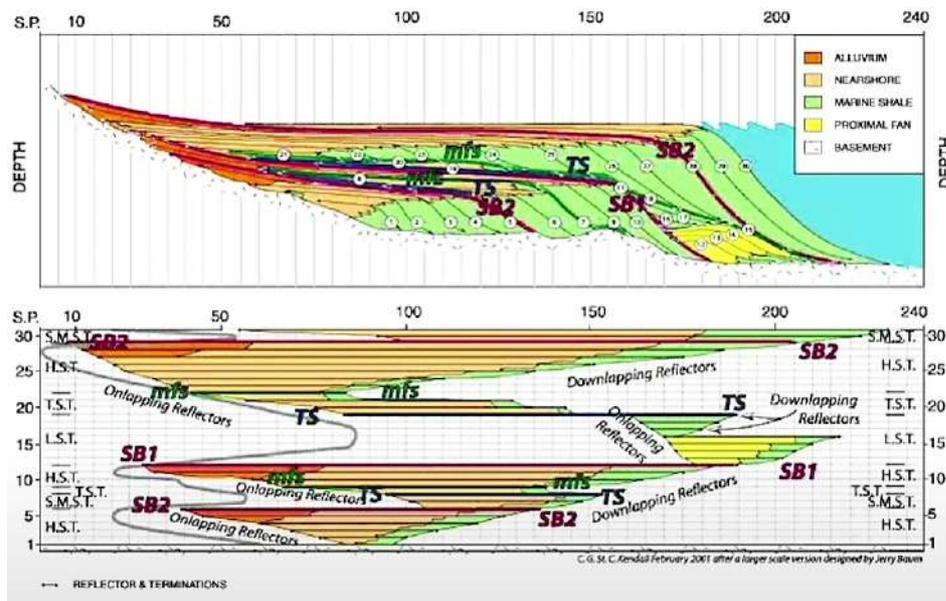


Рис. 2.12. Комплекс трансгрессивно-регрессивного движения

Мы выделили несколько секвенций – красные линии. Две полные и две неполные секвенции. Хроностратиграфический профиль отличается от секвентной стратиграфии. В хроностратиграфическом профиле шкала по вертикали в млн. лет, по горизонтали – в милях. Осадконакопление происходило не одновременно везде. При максимальном падении уровня моря осадконакопление происходит либо на дне бассейна, либо накапливаются клиноформы на склоне. При поднятии уровня моря осадконакопление происходит только на шельфе, а в удаленной части на дне осадки не накапливаются или происходит эрозия тех отложений, которые уже накопились. Мы видим большие стратиграфические перерывы (рис. 2.12).

2.6. Задание

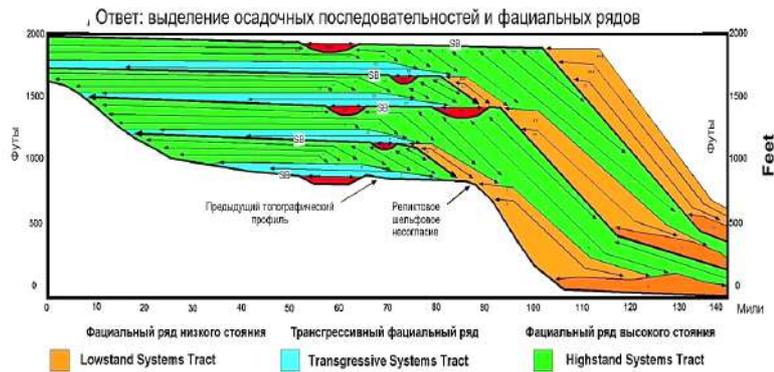


Рис. 2.13. Задание

Сначала необходимо выделить тракты. Мы выделили тракты низкого стояния. На бровке шельфа начинается трансгрессивный тракт. Далее тип несогласия меняется – проградационный комплекс, начинается тракт высокого стояния. Проследив несколько типов несогласий, мы выделили несколько секвенций.

Необходимо выделить тракты. Каждой линии соответствуют определенные линии. На каждой линии будет своя отражающая поверхность. Получится хроностратиграфический профиль. Линии закрашиваем теми же цветами. Не все комплексы, которые мы прослеживаем, находятся на всей территории бассейна. Встречаются врезанные долины, которые соответствуют падению моря и смене тракта секвенций.

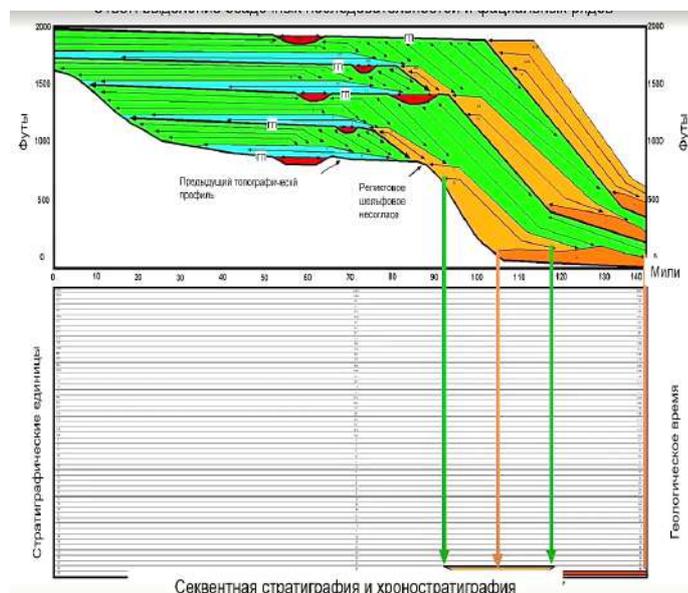


Рис. 2.14. Бланковка

Семинар 3

Сейсмофации

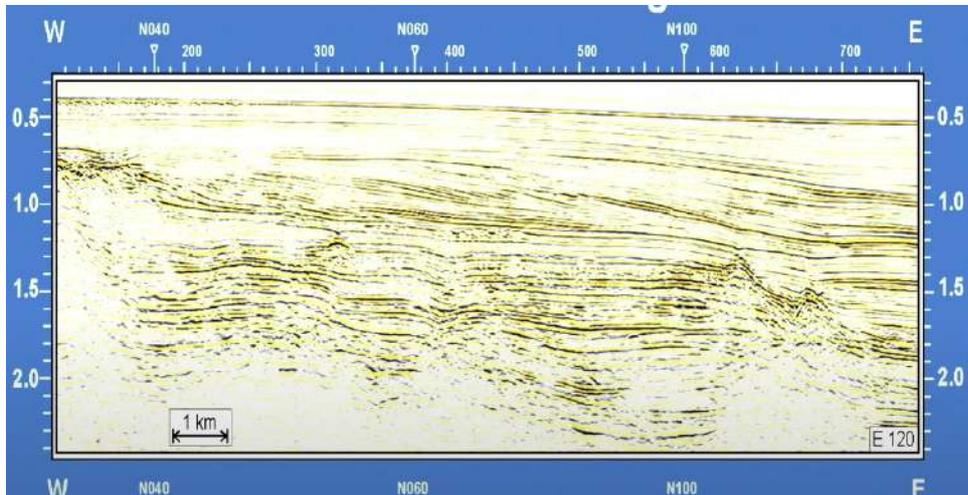


Рис. 3.1. Реальный сейсмический профиль

Секвенция – от одного падения уровня моря до другого. Осадконакопление происходит в определенные моменты времени. Выделяются тракты низкого стояния, трансгрессивный тракт и тракт высокого стояния.

В каждом тракте определенное количество осадконакопления. Все осадки имеют определенные свойства. При изучении их сейсмическими методами, отражающие свойства осадков имеют разную картину. Осадки, которые накапливаются в разные периоды времени, имеют различные физико-химические свойства и различные отражающие поверхности. На сейсмических профилях видна разность свойств – сейсмофации.

Например, профиль на рис.3.1. Карбонатная банка. Мы увидели несколько типов сейсмических фаций. В самом низу – нулевая отражающая поверхность, выше – налегание, далее горизонтальная яркая поверхность. Наблюдаются ступени. Мы видим несколько типов несогласий и сейсмофаций.

3.1. Типы сейсмофаций



Рис. 3.2. Типы сейсмических отражений внутри последовательности

Различные породы имеют физико-химические свойства и имеют разную отражающую поверхность. Параллельные линии – глинистые или очень тонкие породы, глинисто-карбонатные. Параллельные более мощные переслаивания – более грубые породы, имеющие параллельное напластование с большей мощностью. Хаотические фации характерны для потоков, где активная динамика и породы накапливались неравномерно, бугристые – породы биогенного формирования (рифовые постройки). Отсутствие отражений – сильно метаморфизованные породы, соли. Эрозионные врезы – структурное несогласие, эта сейсмofация связана с перерывом в осадконакоплении. Повернутые блоки – сжатие, когда часть отложений смещается, либо это могут быть оползневые блоки. Проанализировав сейсмofацию, мы можем предположить породы, которые там формируются, несогласия. Можем сказать, к какому тракту это может относиться.

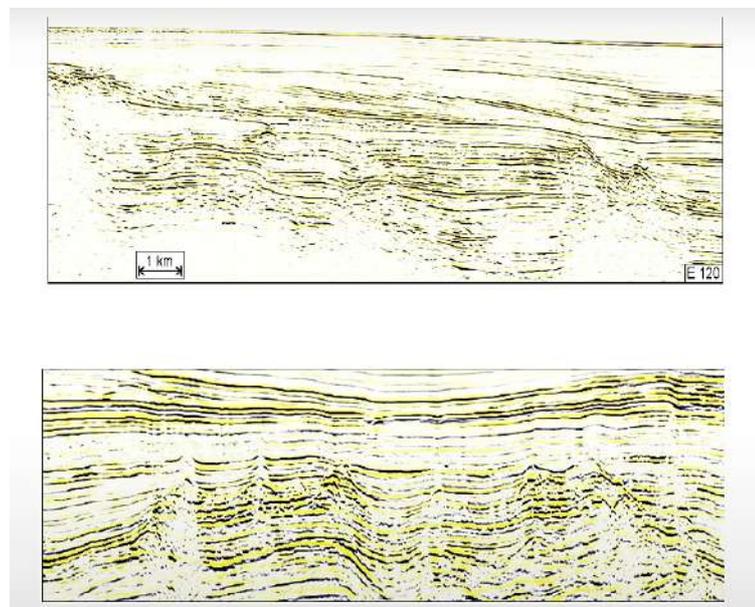


Рис. 3.3. Сейсмический профиль

Нижняя часть (рис. 3.3) – увеличенная от общей картины. Есть параллельные сейсмофации, они имеют структурные несогласия – проградационный комплекс. Также наблюдаются ступени, четкая параллельная слоистость, ниже – бугристая сейсмофация. Это может быть карбонатная постройка или соли. В данном сейсмическом профиле бугристые сейсмофации очень хорошо выражены, они локальны, в них сохраняется отражающая способность. Это характерно для карбонатных построек, рифов. Анализируя сейсмофации, можно сказать, что здесь была карбонатная постройка, которая смещалась по времени. Карбонатные постройки всегда догоняют уровень моря, мы видим поднятие уровня моря. Поднятие уровня моря может быть либо в тракте низкого стояния, либо в трансгрессивном тракте.

За хаотической сейсмофацией мы видим параллельную сейсмофацию (мощную), скорее всего это карбонатно-терригенные отложения, выше – очень тонкие линии, более глинистые породы, более тонкие. В нижней части мы выделили как минимум 3 сейсмофации.

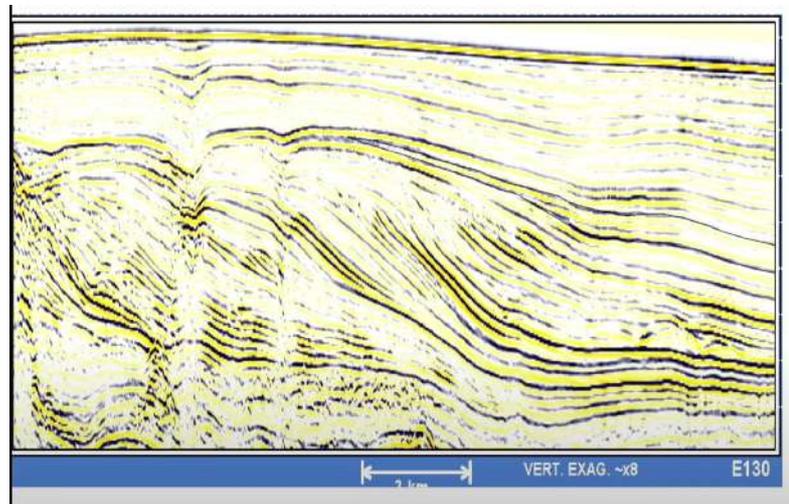


Рис. 3.4. Сейсмический профиль

Бугристая сейсмофация, проградация, есть клиноформы и эрозионные поверхности (рис. 3.4). В верхней части разреза тип сейсмофаций меняется. Это говорит о том, что поменялся тип осадконакопления. В данном случае седиментация связана с изменением уровня моря. Есть субпараллельная сейсмофация.

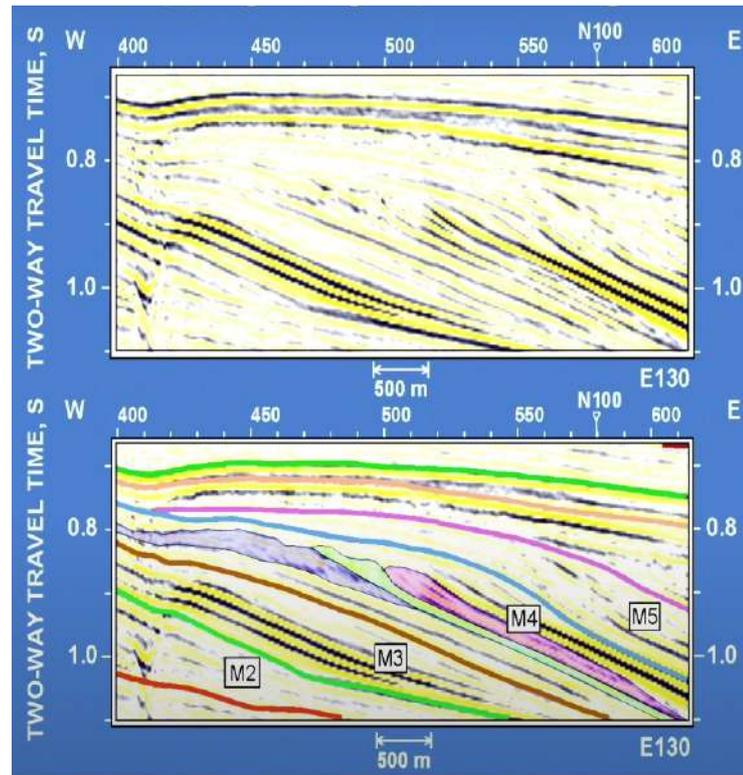


Рис. 3.5. Сейсмический профиль

Проанализируем пример 3.5. В маленьком интервале выделяются несколько сеймофазий. Они имеют несогласные границы. Необходимо правильно выделять сеймофазии, чтобы дальше лучше их интерпретировать.

3.2. Типы несогласий

Важно понимать несогласия (рис. 3.6).

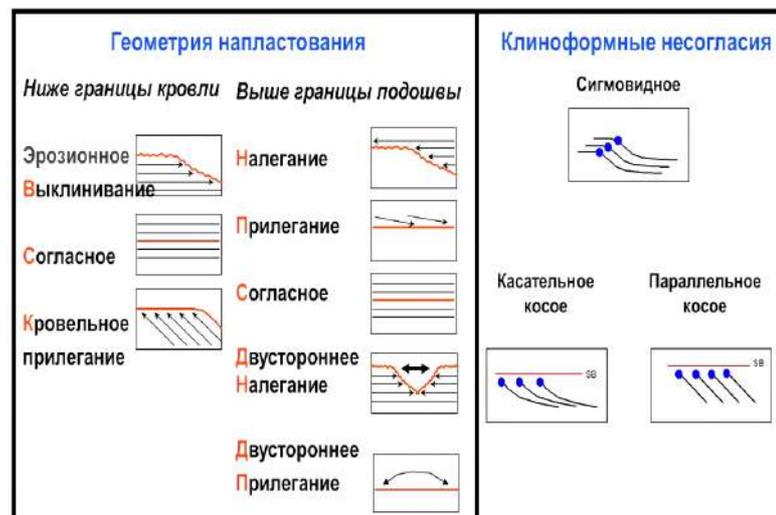


Рис. 3.6. Типы несогласий

Сейсмофации часто имеют по отношению друг к другу разные типы несогласий.

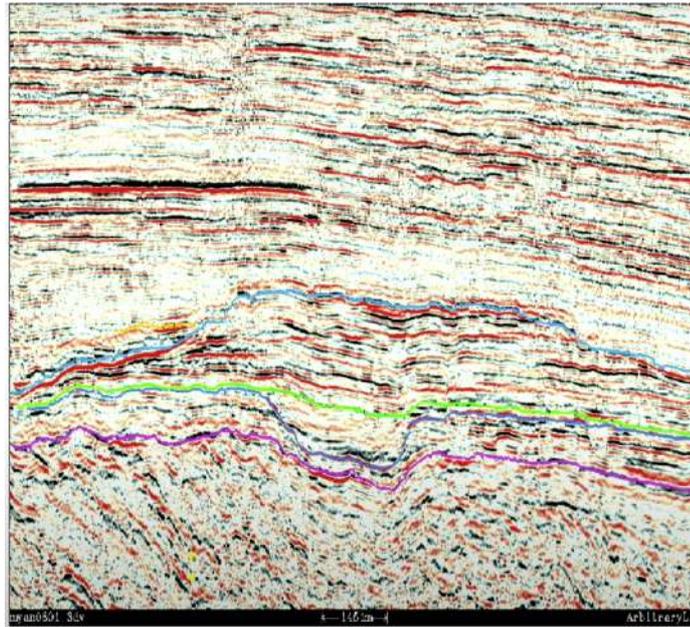


Рис. 3.7. Сейсмический профиль

Внизу – хаотическая сейсмофация – кристаллический фундамент, до фиолетовой линии (рис. 3.7). Породы перекристаллизованные и метаморфизованные. На краю фундамента формируются параллельные сейсмофации, начинает формироваться некая осадочная порода. Далее наблюдаются бугристые формы, которые характерны для биогенных толщ. Во врезе – эрозионная сейсмофация. В верхней части наблюдается двустороннее прилегание от зеленой до голубой линии. Двусторонне налегание во врезе – перерыв. Выше - двустороннее прилегание – биогенные отложения. Выше тонкая ритмичная толща. Яркая черная поверхность – если толща насыщена чем-то (вода, газ, нефть) – яркая отражающая поверхность, второй пример – интрузии, которые внедряются в толщи. Не зная разреза, можно предположить, какие толщи здесь формируются. Видим несколько этапов формирования.

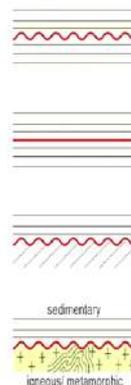


Рис. 3.8. Типы несогласий

3.3. Клиноформное несогласие

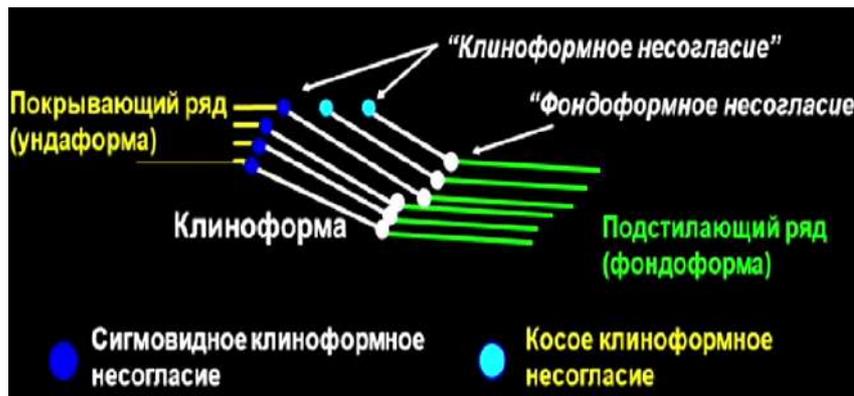


Рис. 3.9. Клиноформное несогласие

Клиноформное несогласие: явный и простой способ передачи рельефа осадконакопления для различных обстановок осадконакопления.

Клиноформное несогласие (несогласное регрессивное прилегание): морфологическое несогласие между покрывающим (ундаформа) и промежуточным (клиноформа) рядом любого непрерывного сейсмического или осадочного профиля. Верхняя часть промежуточного ряда (клиноформы) при отсутствии покрывающего ряда (ундаформы).

Мы можем сказать какая часть клиноформы сохранилась.

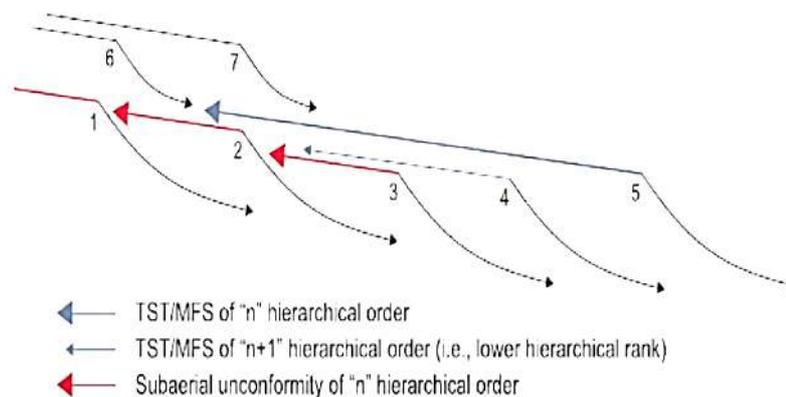


Рис. 3.10. Клиноформы на сейсмическом профиле

Есть точка перегиба в рельефе – это либо бровка шельфа, где меняется характер осадконакопления, либо край шельфа. Важно обращать на это внимание. По типу несогласия мы можем отнести эти клиноформы к разным типам, они все формируются либо при поднятии, либо при падении уровня моря. 1-2 линии - понижение уровня моря, 2-4-5 - ретроградация, повышение уровня моря, 6-7- проградация (рис. 3.10).

3.4. Примеры

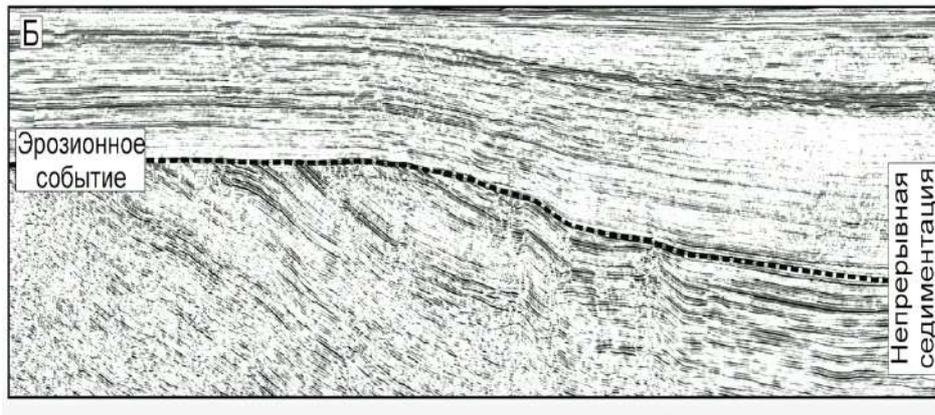


Рис. 3.11. Сейсмический профиль

В этом сейсмическом профиле можно увидеть в нижней части хаотическую запись – фундамент, ближе к востоку – параллельные линии. Кровельное прилегание, часть профиля эродировано. Далее - параллельные сеймофации, которые покрывают кровельные срезания. В верхней части – эрозионные события, так как часть клиноформы уничтожена. Есть только клиноформа и фондоформа. Эрозия была субаэральная, на поверхности суши. В правой части внизу нет срезания, видим согласное залегание – непрерывная седиментация. Эрозионное несогласие (рис. 3.11).

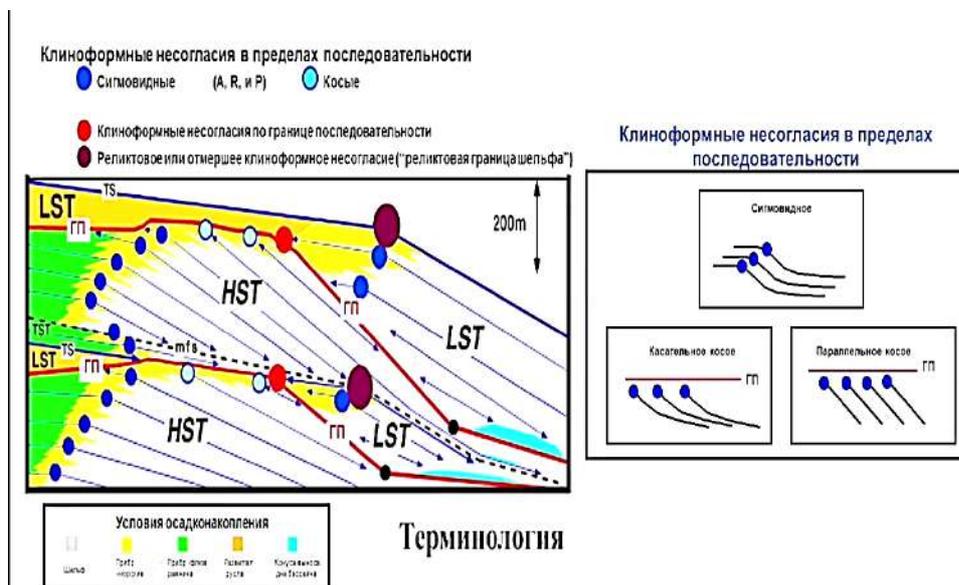


Рис. 3.12. Клиноформные несогласия в пределах последовательности

Где могут встречаться клиноформные несогласия. Там, где уровень высокого стояния – сохраняются сначала нормальные клиноформы, затем мы видим срезание их сверху. Верхняя часть клиноформы была эродирована, была субаэральная поверхность. Морские отложения сменились на континентальные – уровень моря в данной ситуации

понижался. Проградация в сторону бассейна. Тракт низкого стояния – ретроградационный комплекс, при поднятии уровня моря.

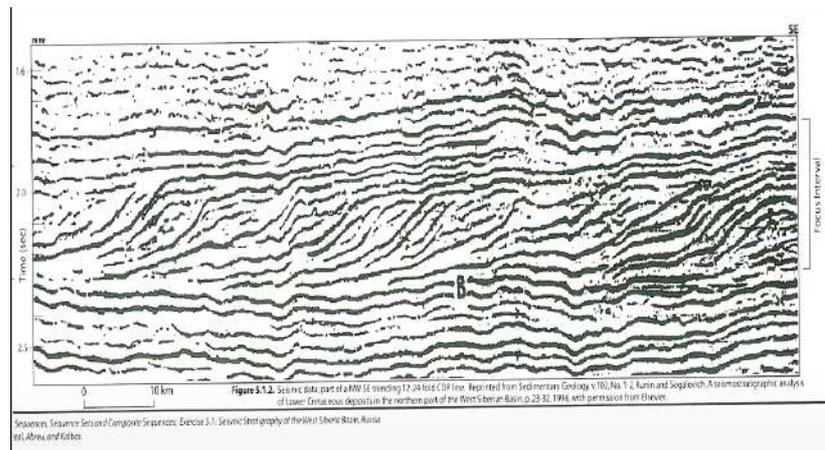


Рис. 3.13. Сейсмический профиль

Внизу – параллельные сейсмофации, это песчано-глинистые слои. Далее видим комплекс клиноформ. Есть как проградационные, так и ретроградационные комплексы. Необходимо выделить все типы несогласий (рис. 3.13).

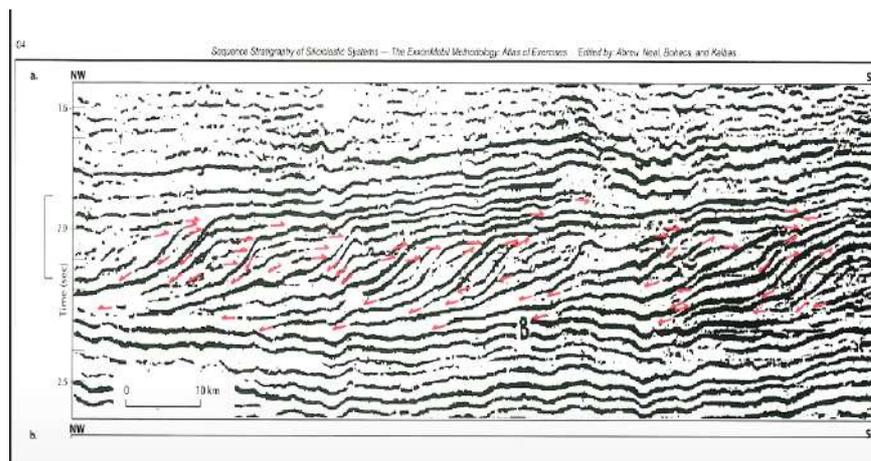


Рис. 3.14. Сейсмический профиль

Смена одного типа на другой указывает на эвстатические колебания уровня моря. Клиноформы формировались либо при падении уровня моря, либо при поднятии уровня моря. Необходимо сначала выделить несогласия и затем давать анализ фаций (рис. 3.14).

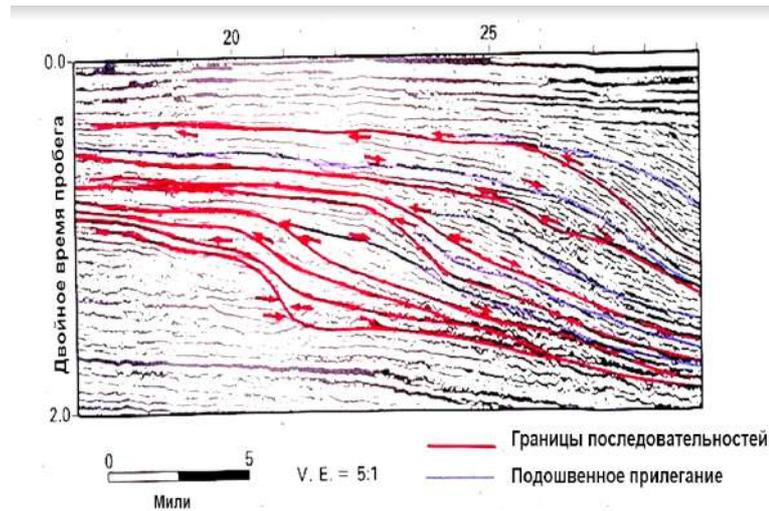


Рис. 3.15. Сейсмический профиль

Граница последовательностей и подошвенное прилегание. Мы выделили этапы паления уровня моря. Трангрессивный тракт не часто сохраняется. Показаны секвенции. Важно детально изучить все несогласия в клиноформных сейсмофациях.

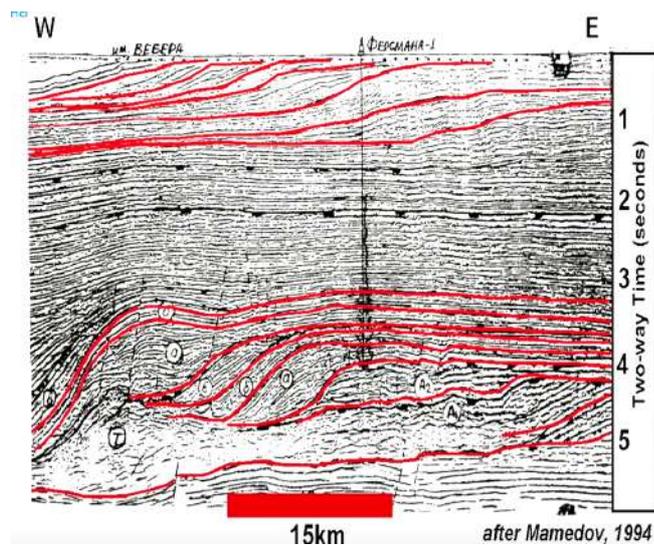


Рис. 3.16. Сейсмический профиль. Рельеф осадконакопления озерного бассейна

Озерные отложения (рис. 3.16). Можем увидеть проградационные и ретроградационные комплексы. Клиноформы показывают, было ли поднятие или падения уровня моря. Между ними период спокойной стабилизации. Далее видим следующий комплекс сейсмофаций.

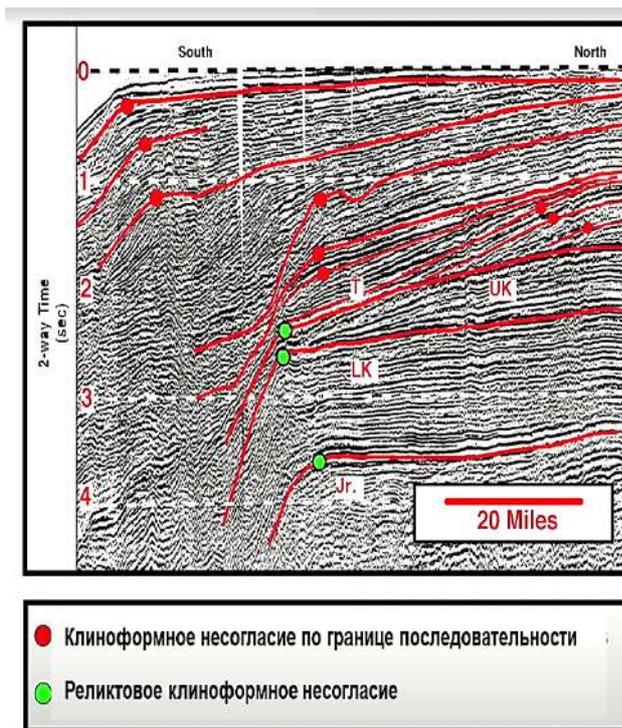


Рис. 3.17. Третичная проградация в пределах границ континентального шельфа

Более резкое падение. Реликтовые клиноформные несогласия. Перегиб в рельефе показывает смещение бровки шельфа. Внутри клиноформ параллельное осадконакопление, на склоне меняется тип осадконакопления. В нижней части хаотическая сейсмофация – кристаллический фундамент, на котором накапливались осадки (рис. 3.17).

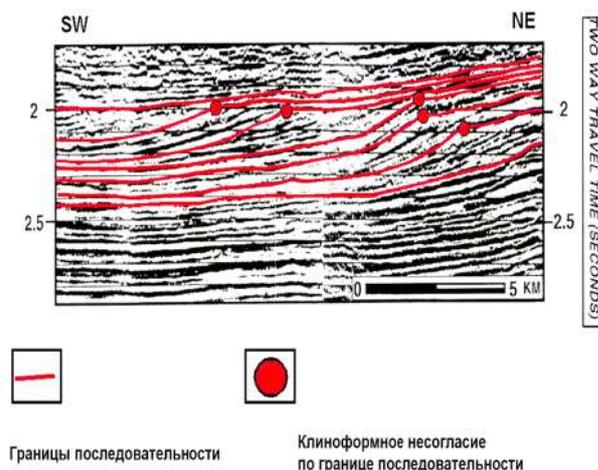


Рис. 3.18. Рельеф осадконакопления озерного бассейна

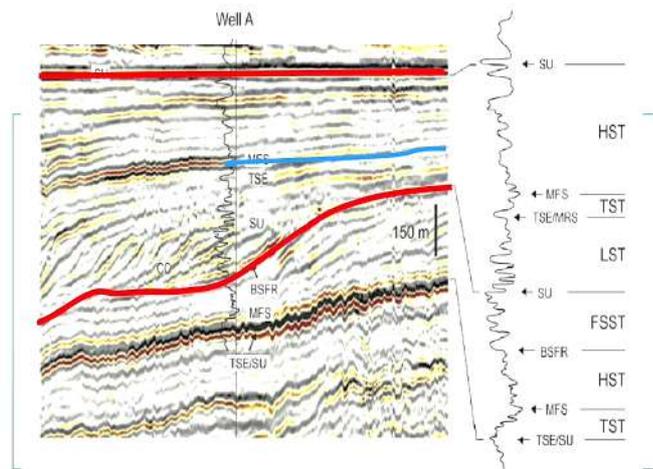


Рис. 3.19. Проанализированный сейсмический профиль

Проанализировав сейсмифации, мы увидели полную сквенцию, которая выделена красным цветом (рис. 3.19). Есть максимум затопления – голубой цвет. Клиноформный комплекс относится к тракту низкого стояния. Где горизонтальные поверхности – тракт высокого стояния.

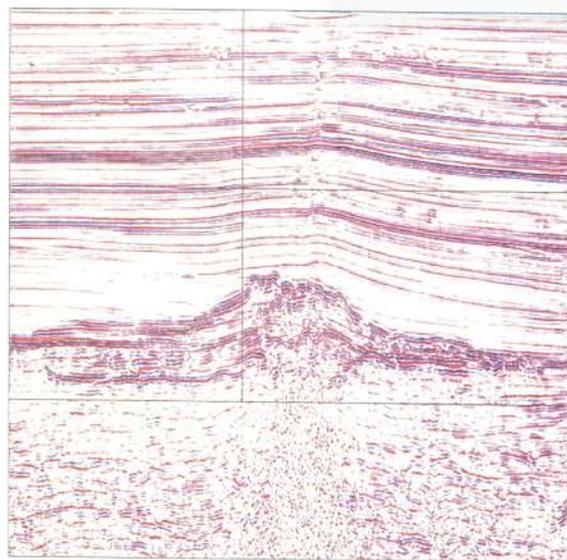


Рис. 3.20. Сейсмический профиль

Внизу хаотические сейсмифации – кристаллический фундамент, далее – бигенная постройка, бугристая сейсмифация (рис. 3.20). Далее она заполняется более глубоководными отложениями, которые образуют параллельные сейсмифации.

3.6. Задание

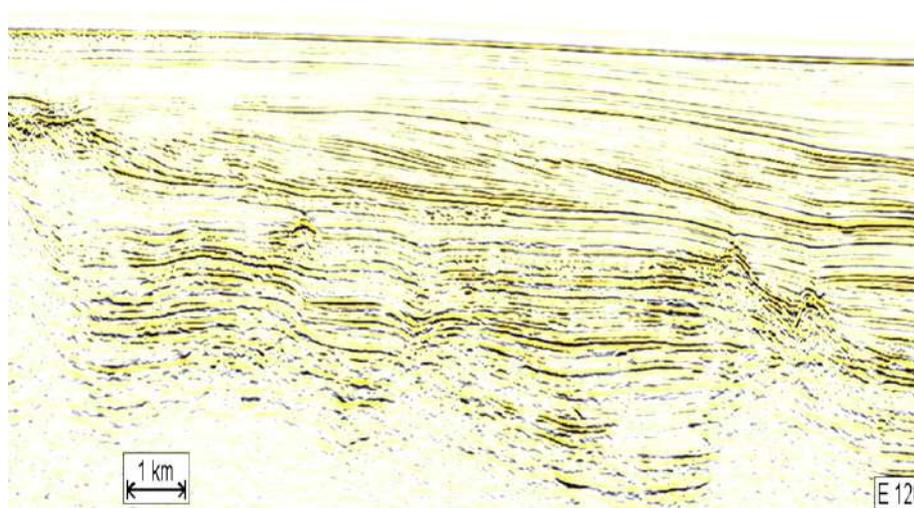


Рис. 3.21. Задание

Необходимо выделить все структурные несогласия и показать все сейсмофации.

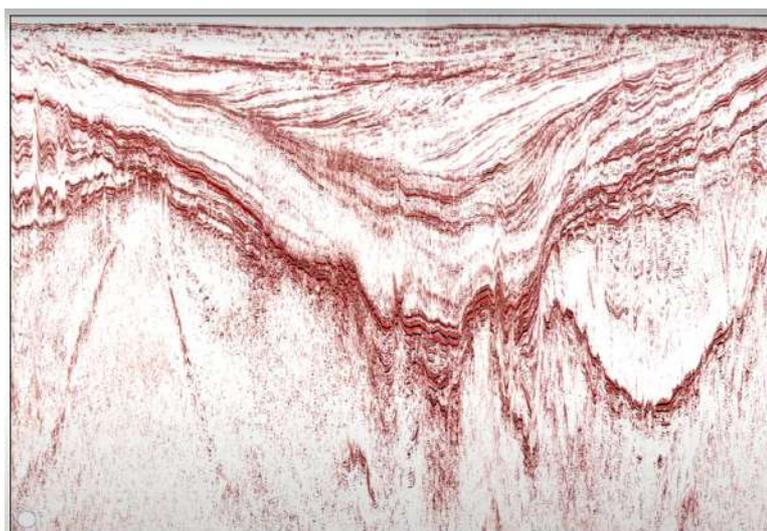


Рис. 3.22. Задание 2

Здесь можно выделить и тектонические события (рис. 3.22). Нижняя часть – кристаллический фундамент. Видно заполнение бассейна, клиноформы и дальше параллельные сейсмофации. Выделить этапы тектонической перестройки данной территории.

Необходимо выделить тектонические этапы и объяснить тектонические события.

Семинар 4

Секвентная стратиграфия в карбонатах

Материалы для этой практической работы были использованы из зарубежных источников.

4.1. Типичная геометрия карбонатных платформ

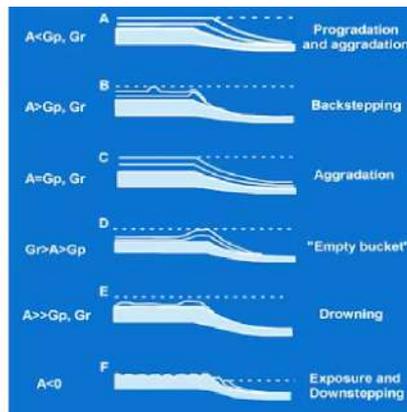


Рис. 4.1. Типичная геометрия карбонатных платформ (по Шлагеру, 1992)

Карбонатные отложения имеют разную морфологию, разную форму. Необходимо вспомнить о том, какие бывают формы карбонатных отложений. Есть карбонатные рампы – для них характерны проградационные и ретроградационные комплексы. Карбонатный рамп – пологий склон, сложенный карбонатными отложениями. Есть осложненные рампы, изолированные покровы, в них другой тип осадконакопления. Затопленные платформы заполняются морем при быстром поднятии уровня моря. Отступление карбонатной платформы – проградационный комплекс, сопровождающийся эрозией, карстовые отложения.

Необходимо понять, какие отложения карбонатов встречаются.

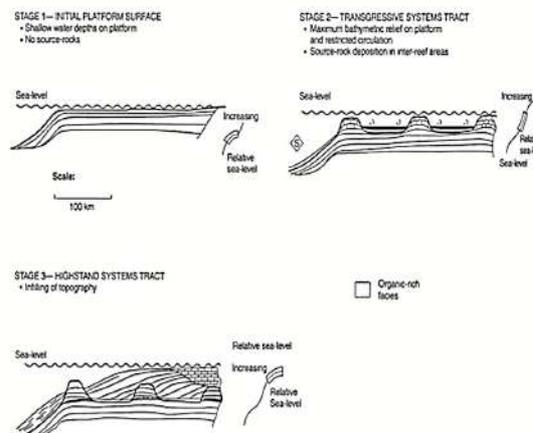


Рис. 4.2. Карбонатные отложения

1ая картинка сверху слева (рис. 4.2) – первая стадия, уровень моря самый низкий. С момента самого низкого стояния уровня моря начинается подъем. В верхней части осадконакопления практически не происходит. В глубоководной части очень мало осадконакопления. Вторая часть – трансгрессивный этап. Начинают расти карбонатные рифы. Сначала начинают расти одиночные рифы, затем развивается карбонатная платформа, колониальные рифы, приурочены к перегибу бровки шельфа. Мы можем увидеть несколько этапов поднятия уровня моря. Карбонатные рифы формируются на определенной глубине и температуре. При увеличении глубины моря рифы также растут. Последняя стадия – тракт высокого стояния – падение уровня моря после максимального уровня. Начинается отступление рифов в более глубоководную часть, меняется тип карбонатных отложений.

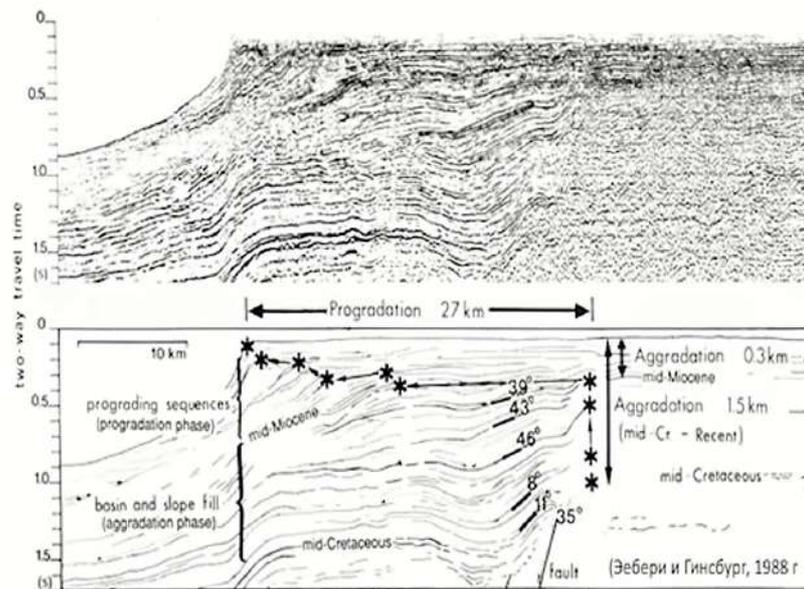


Рис. 4.3. Западная часть большой багамской банки

Видная большая карбонатная постройка (рис. 4.3). Здесь отступление –проградация карбонатной банки. Есть несколько этапов формирования карбонатной банки. Карбонатные проградационные клинья. Медленное постепенное смещение карбонатных отложений более мелководных в более глубоководную часть.

4.2. Проградационный комплекс

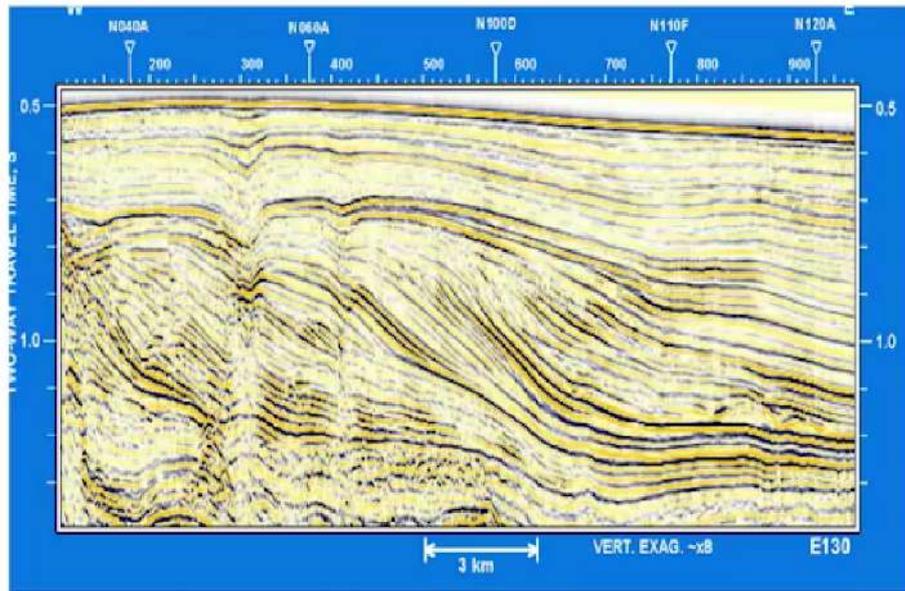


Рис. 4.4. Проградационный комплекс

Важная базисная оценка – выделение сейсмофаций, которые указывают на разный тип седиментации. С другой стороны, необходимо обращать внимание на несогласия. Несогласия соответствуют разному стоянию уровня моря. Внизу профиля наблюдаются бугристые фации, клинья (рис. 4.4).

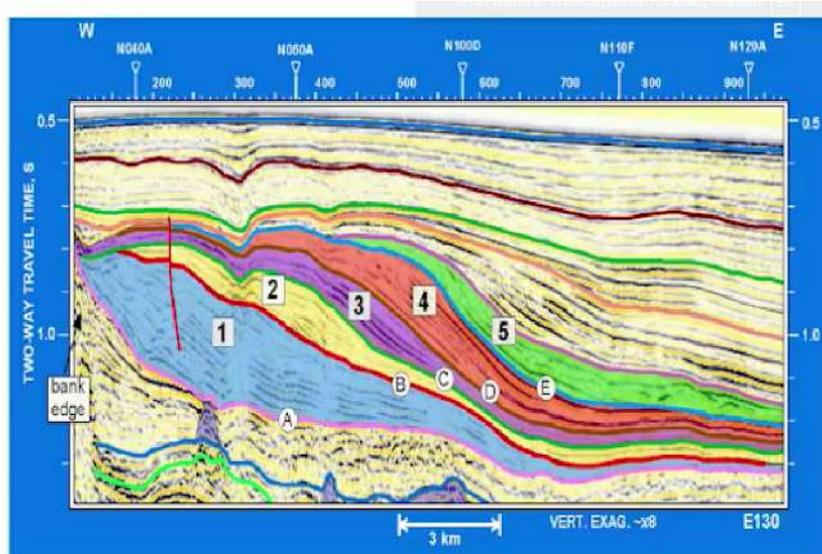


Рис. 4.5. Анализ профиля

1, 2, 3, 4, 5 комплексы образуют клиноформные отложения, они образуются на склоне (рис. 4.5). Вверху наблюдается эрозия, это связано с падением уровня моря. Это тракт высокого стояния. 5ый комплекс отличается бугристой формой, которая связана либо с донными, либо с оползевыми отложениями.

Необходимо проследить все типы несогласий. Полный цикл формирования карбонатной платформы.

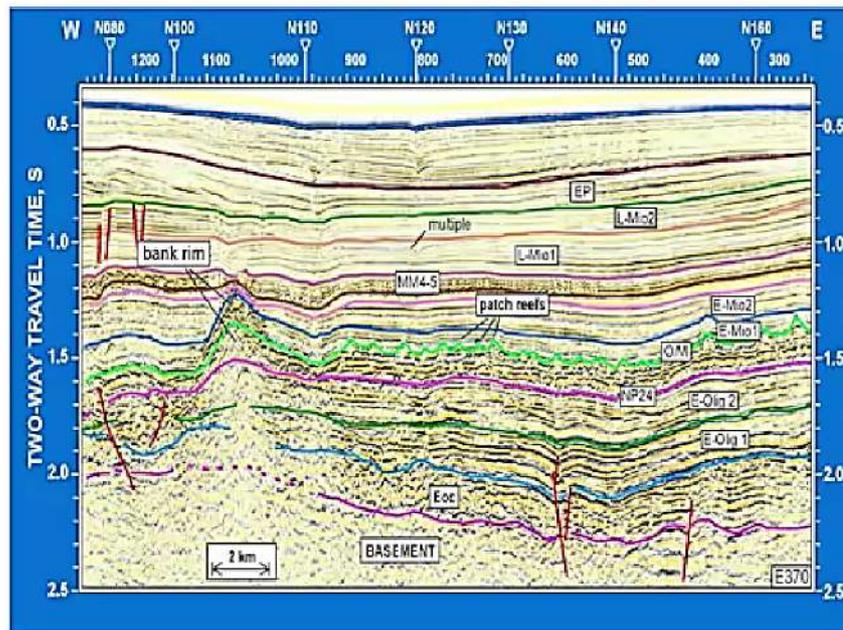


Рис. 4.6. Затопление позднеолигоценовой банки

Сначала выделяем определенные сейсмические фации.

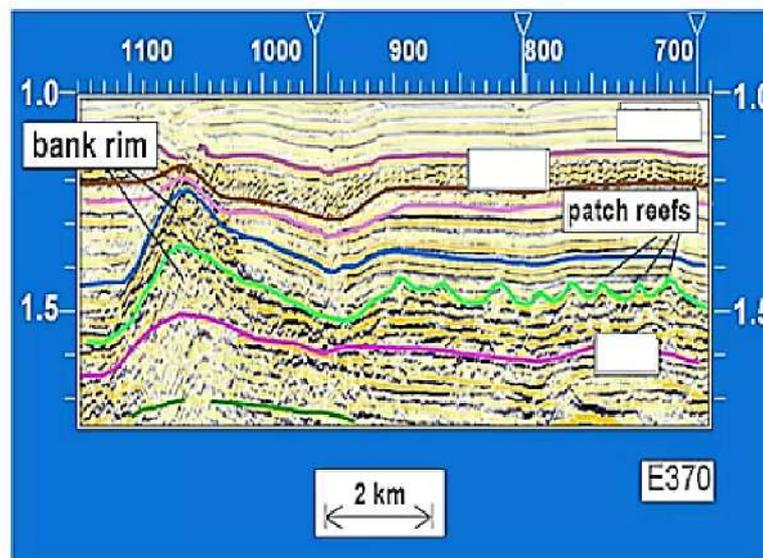


Рис. 4.7. Карбонатная банка

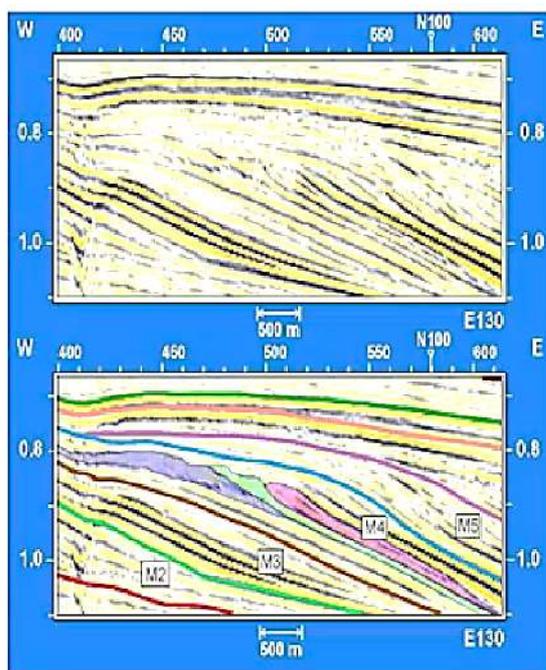


Рис. 4.8. Форсированная регрессия

Формированная регрессия - скорость осадконакопления намного ниже, чем скорость падения уровня моря. Происходит эрозия всех ранее накопленных отложений.

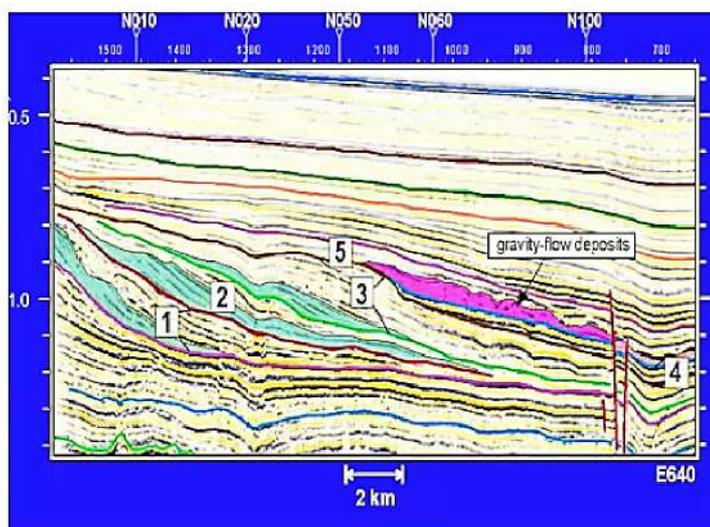


Рис. 4.9. Комплекс бугристой формы- оползневые структуры. Проградационный комплекс

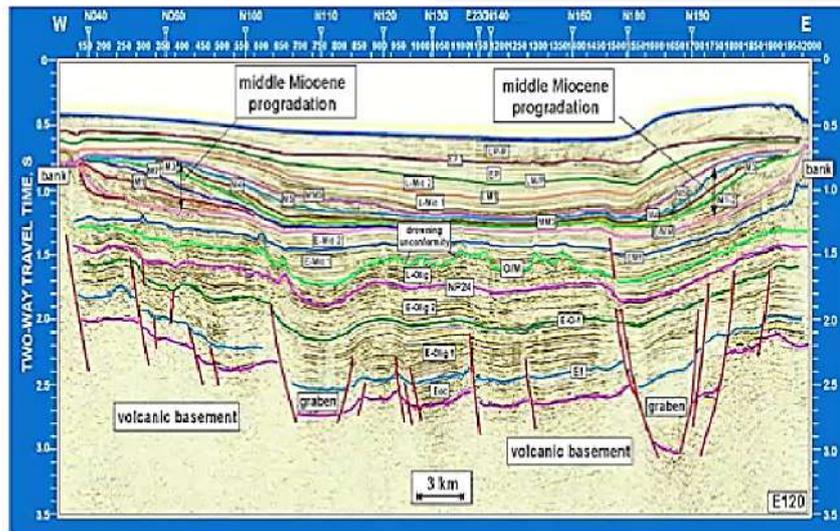


Рис. 4.10. Этапы формирования карбонатной платформы

Несколько этапов в одной карбонатной платформе. Детальная стратиграфическая последовательность (рис. 4.10).

Семинар 5

Секвенции кластических отложений

Секвенции подразделяются на секвенции некоторых порядков. Есть наиболее длительные и наиболее короткие. Определяющие факторы, которые влияют на изменение уровня моря.

5.1. Иерархия стратиграфических секвенций

Таблица 5.1. Иерархия стратиграфических секвенций

Порядок	Продолжительность	Определяющие факторы
1 порядок	>50 млн лет	Глобальные тектонические движения
2 порядок	3-50 млн лет	Тектоническое опускание и (или) тектонические изменения в масштабе литосферных плит
3 порядок	0.5-3 млн лет	Изменения в объеме аккомодации окраины бассейна (эвстатические секвенции и комплексы секвенций) – в определенные периоды имеют ледниковый генезис
4 порядок	0.1-0.5 млн лет	Комплексы парасиквенсов – считается, что в некоторых частях разреза, где установлено влияние ледниковых процессов, эти комплексы связаны с гляциоэвстатизмом (плиоцен-плейстоцен, поздний карбон – ранняя пермь и ордовик). Парасиквенсы, пачки, пласты

1ый порядок выделить сложно, необходим большой объем сейсмических данных.

5.2. Мегасеквенции

Мегасеквенции представляют собой тектоностратиграфические единицы, соответствующие определенным фазам тектонической активности, структурообразования и осадочного заполнения бассейна.

Как правило, ограничены основными поверхностями угловых несогласий или конденсированных толщ и характеризуются сложными видами налегания и подошвенного прилегания отложений.

Состоят из секвенций и комплексов секвенций, образующих стратиграфическую структуру осадочного выполнения бассейна.

5.3. Примеры секвенций разных порядков

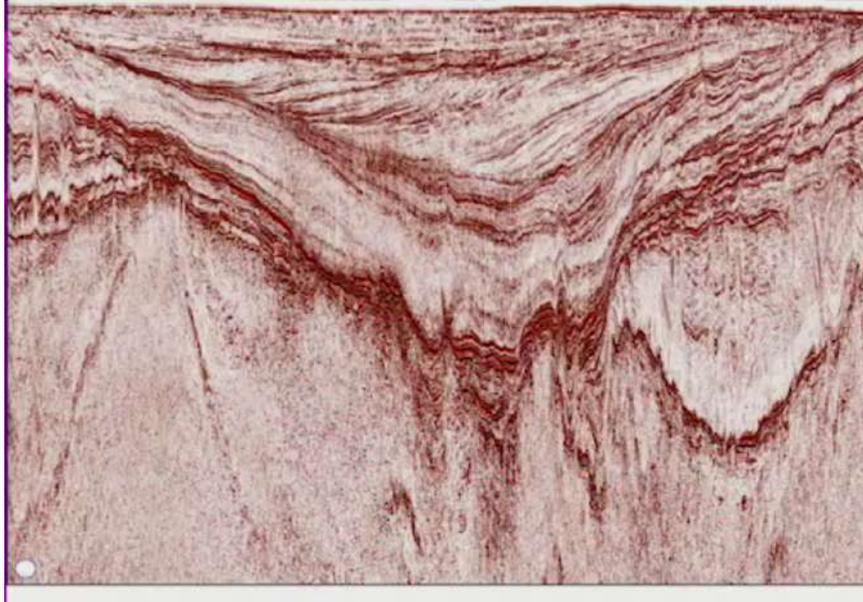


Рис. 5.1. Пример сейсмического профиля

Пример сейсмического профиля, который позволяет выделить гигантские структуры (рис. 5.1). Внизу-акустический фундамент, рифтовые бассейны, достаточно грубое соленосное накопление, перестройка бассейна, заполнение прогибов и формирование определенного комплекса отложений, клиноформные отложения, перекрывается все осадочной толщей, идет затопление бассейна. Мы можем увидеть секвенции 1, 2го порядка – видим тектоническую перестройку, глобальный процесс.

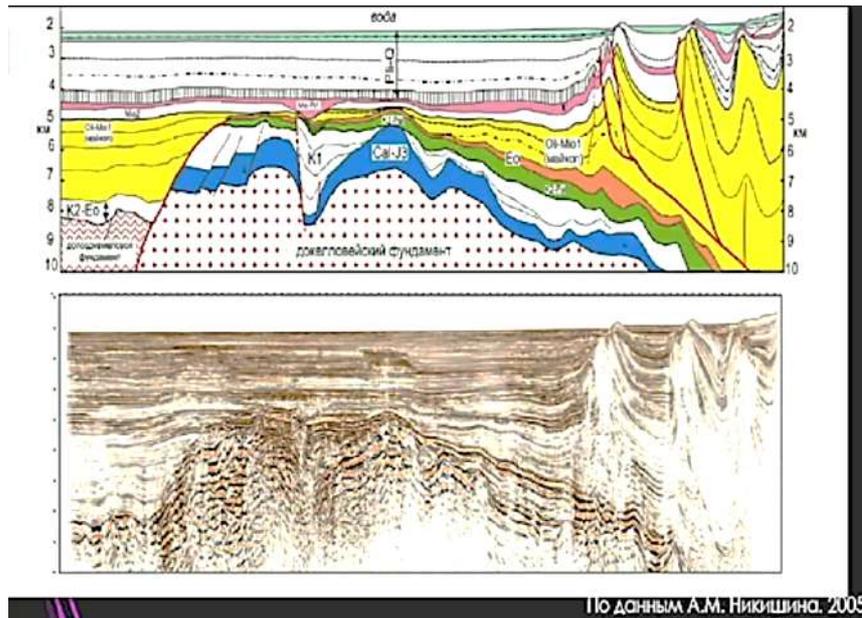


Рис. 5.2. Анализ профиля

Другой пример (рис. 5.2). Акустический фундамент, это метаморфические породы, выделяются по хаотической сейсмофации. Крупная структурная перестройка, заполнение бассейна. Перекрываются все осадки равномерными четвертичными отложениями. На краю бассейна происходит складчатость. Секвенции второго порядка.

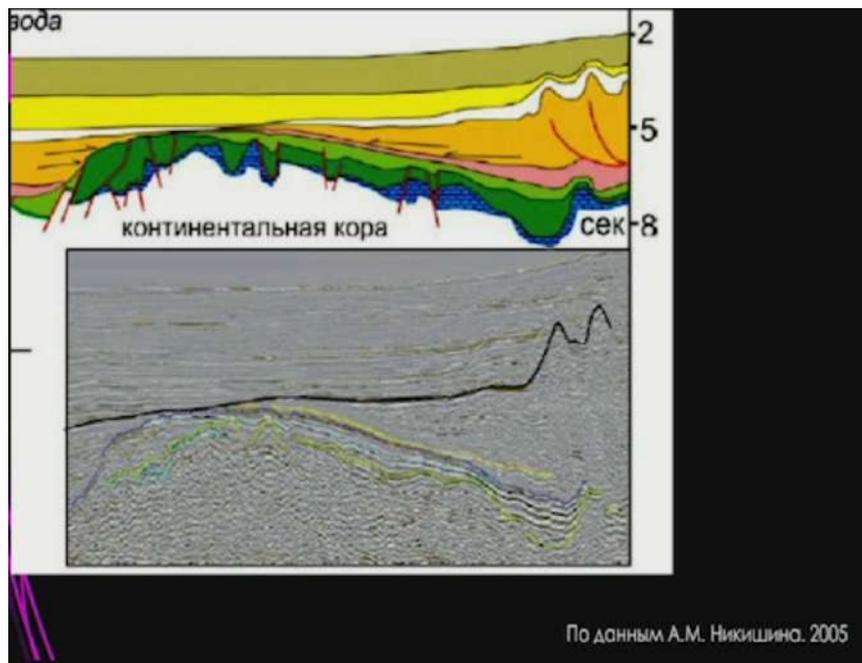


Рис. 5.3. Анализ сейсмического профиля

Край черного моря (рис. 5.3). Есть акустический фундамент, ряд структурных несогласий, налегание с двух сторон, складчатость, перекрывается все равномерной структурой. Секвенции 2го порядка, связанные с тектонической перестройкой.

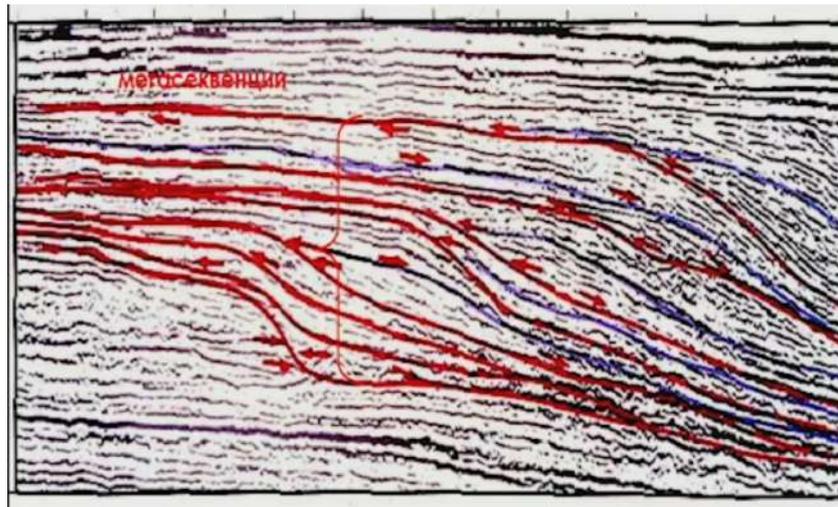


Рис. 5.4. Осадочные секвенции

Для того чтоб выделить секвенции 3-4 порядка нужно выделить не только эвстатические колебания, но и тектонические перестройки, все несогласия, которые помогут увидеть эвстатические колебания. Выделение сейсмofаций поможет определить разные типы осадков.

Сейсмостратиграфия занимается исследованием пространственного положения и геометрических форм осадочных секвенций на основе сейсмических данных. Как правило на сейсмических разрезах мы видим стратиграфические секвенции 2 и 3 порядков, соответствующие периодам осадконакопления от 50 до 0.5 млн. лет. Выделение секвенций более высокого порядка зависит от степени разрешения сейсмических данных. Привязка отложений к стратиграфическим секвенциям осуществляется путем калибровки сеймики по скважинам. Границы сейсмокомплексов определяются взаимоположением отражающих границ.

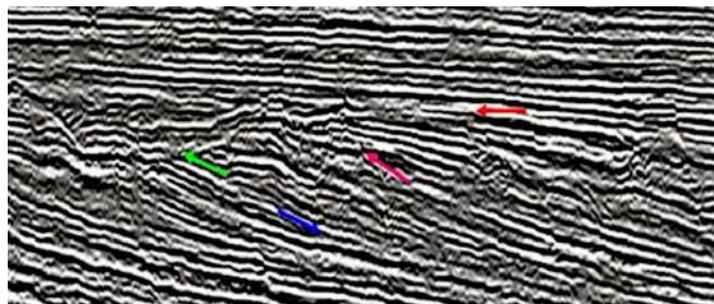


Рис. 5.5. Типы несогласий, геометрия пластов. Налегание, прилегание, врезанные долины

Анализ сейсмических данных для получения информации о процессах осадконакопления и осадочных отложениях. Анализ выполняется в масштабе всего сейсмического разреза.

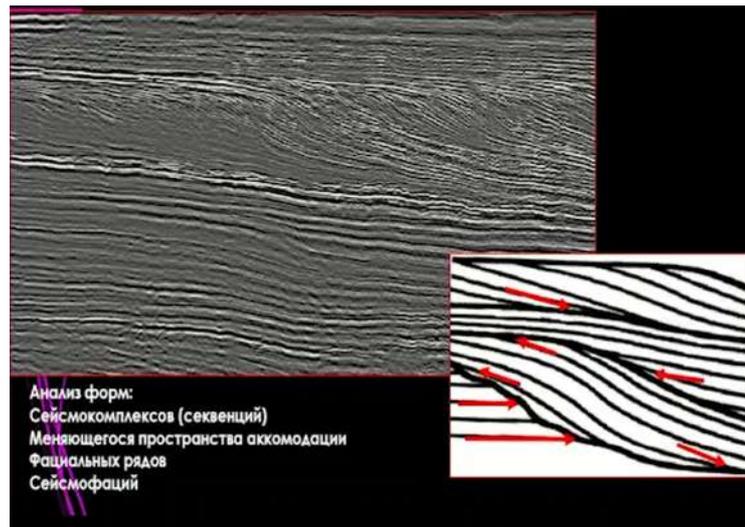


Рис. 5.6. Анализ форм

В масштабе отдельного отражающего горизонта необходимо делать:

- Анализ фаз
- Амплитуд
- Частот
- Детальное определение форм
- Подробный анализ литологического состава

Время является единственным общим параметром для всех данных, относящихся к стратиграфии.

Сейсмические отражения обычно соответствуют временным границам – т.е. границам генетических подразделений, которые являются наиболее выдержанными поверхностями, разделяющими осадочные фации и которые определяют изменение акустического импеданса.

Время является непрерывным параметром и фиксируется либо как определенный объем накопившихся отложений, либо как поверхность (перерыв в осадконакоплении или конденсированный разрез).

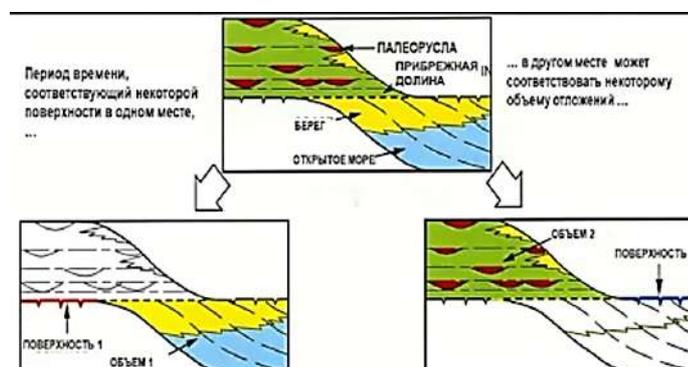


Рис. 5.7. Временные границы

Граница секвенции – несогласие (в континентальной или проксимальной зоне) и соответствующая ему поверхность согласного залегания (в дистальной зоне), которые соответствуют наиболее регрессивной форме стратиграфического разреза.

Трангрессивная поверхность – поверхность (трангрессивной эрозии), образовавшаяся в результате размыва отложений волнами в ходе трангрессии моря.

Поверхность максимального затопления – поверхность, которая соответствует наиболее трангрессивной форме разреза и разграничивает генетические стратиграфические подразделения.

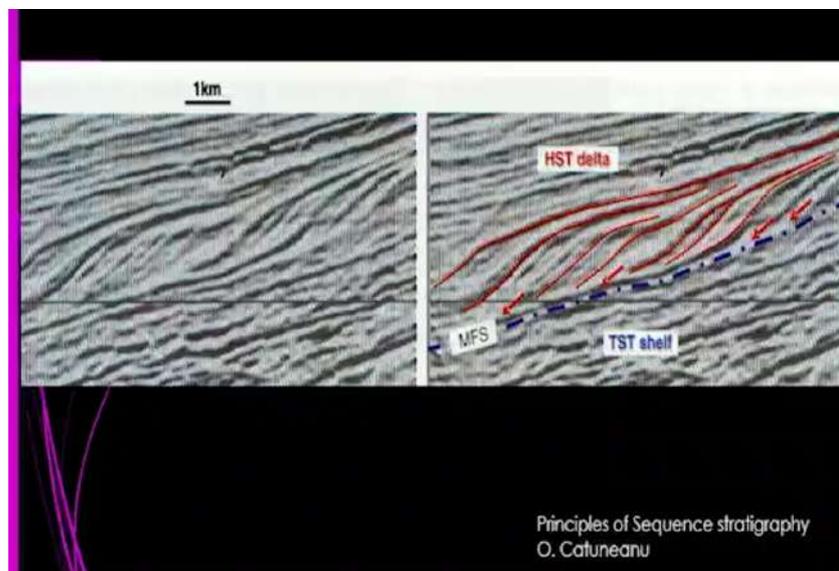


Рис. 5.8. Трангрессивная поверхность

Трангрессивная поверхность, проградационный пакет (рис. 5.8). Выделить объем трангрессивного тракта достаточно сложно, но можно выделить трангрессивную поверхность. Проградация дельты в сторону бассейна.

Семинар 6

Связь геофизических данных каротажных диаграмм с секвенциями и трактами

6.1. Фации

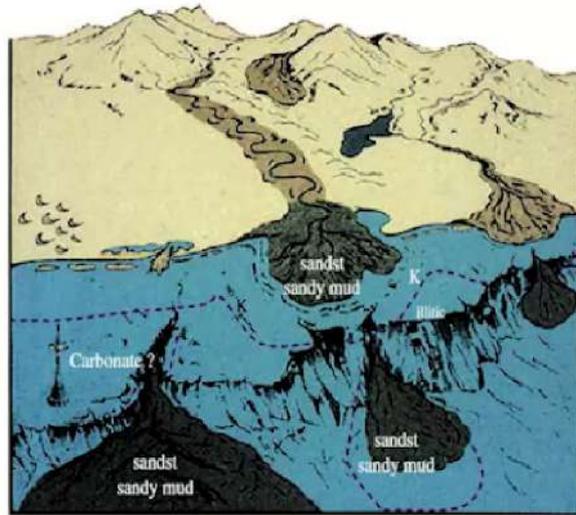


Рис. 6.1. Фации

Распределение фаций (рис. 6.1). Горно-складчатые сооружения – континентальные фации, равнины – флювиальные фации, дельты. Склоновая, глубоководная область - турбидиты. Изменение положений фаций во времени и пространстве связано с колебаниями уровня моря.

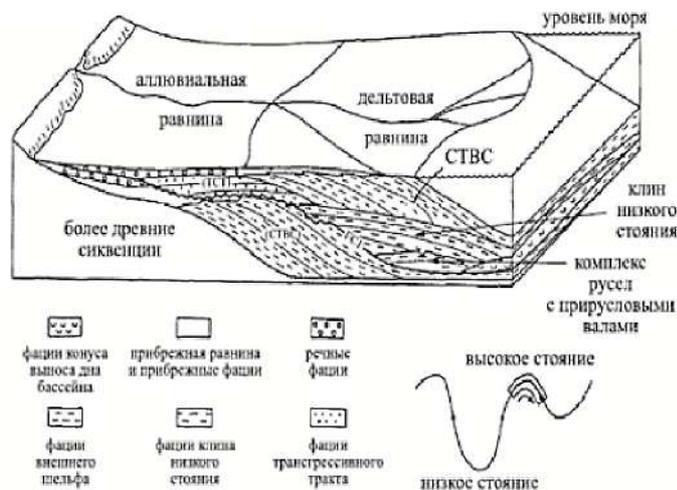


Рис. 6.2. Распределение фаций

Комплекс фаций объединяются в тракты. Парасеквенция – мелеющая кверху поверхность.

6.2. Пакеты парасеквенций

Если парасеквенции сменяющие друг друга во времени относительно глубоководные сменяются на мелководные – проградационные пакеты, если наоборот – ретроградационный пакет.

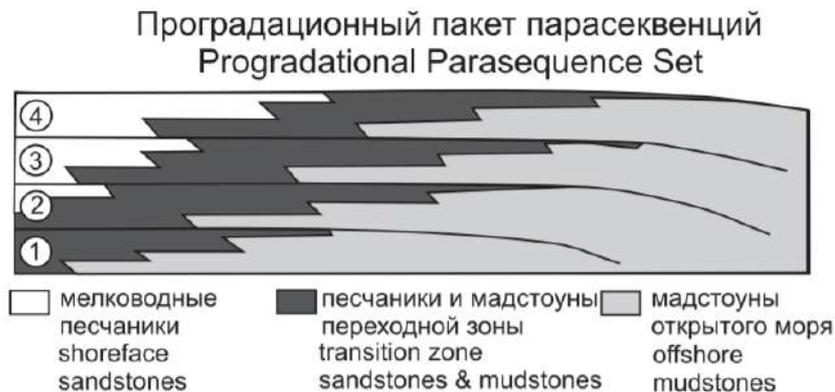


Рис. 6.4. Строение проградационного пакета секвенций

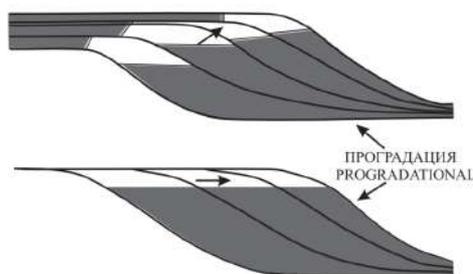


Рис. 6.5. Проградация

Парасеквенции – мелеющие к верху поверхности, которые сменяют друг друга во времени. Осадконакопление происходит быстрее, чем прирастает пространство осадконакопления. Происходит движение накопления осадков в сторону бассейна.

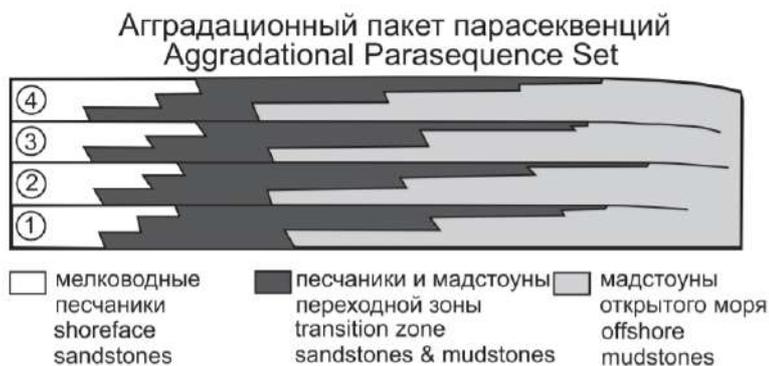


Рис. 6.6. Строение агградационного пакета секвенций

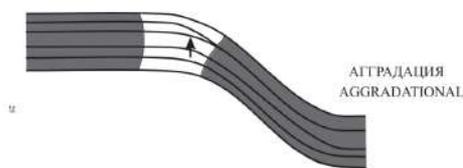


Рис. 6.7. Агградация

Если смена парасеквенций происходит равномерно, нет движения ни в сторону бассейна, ни в сторону суши. Скорость аккомодации равна скорости осадконакопления. Равновесная система. Часто формируется на континентальном склоне.

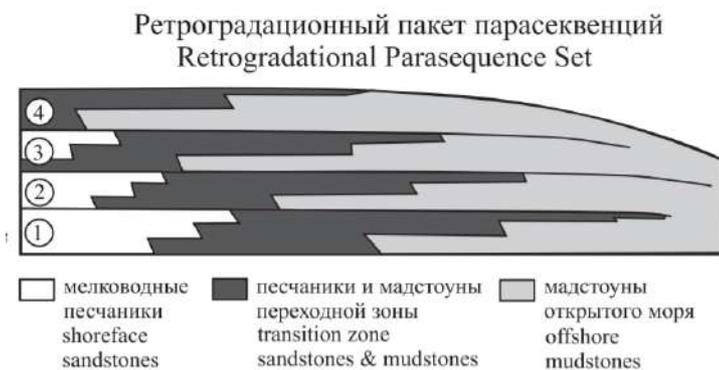


Рис. 6.8. Строение ретроградационного пакета секвенций

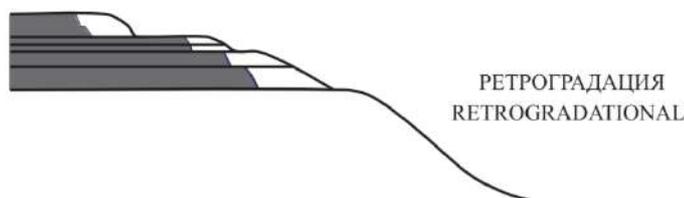


Рис. 6.9. Ретроградации

Аккомодация быстрее чем скорость осадконакопления. Замещение мелководных отложений на глубоководные. Есть пакеты парасеквенций, они закономерно изменяются. Объем мелководных отложений

Если пробурить скважину в разных местах в одном и том же тракте, то мы увидим, что заполнение осадков идет по-разному.

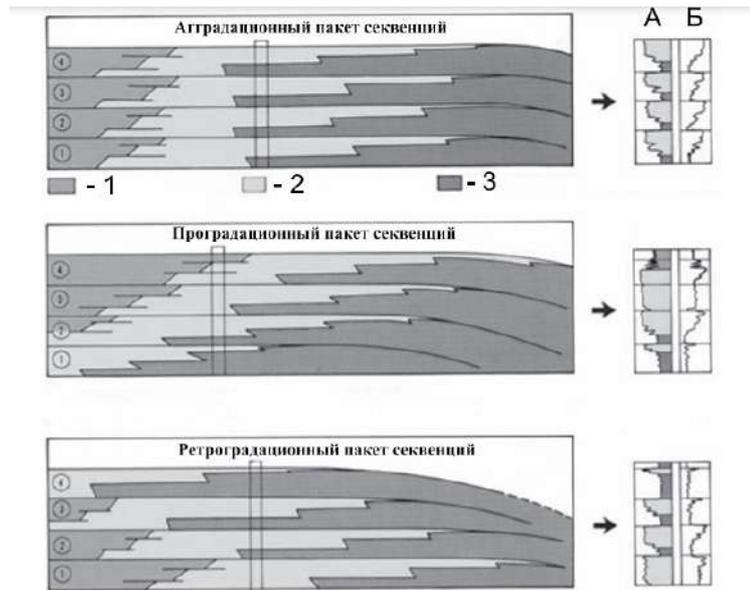


Рис. 6.10. Соотношение пакетов секвенций и вида кривых потенциала самопроизвольной поляризации (ПС) (а) и электроразведки методом сопротивления – КС (б). Условные обозначения: 1- мелководные песчаники, 2- песчаники и мадстоуны переходной зоны, 3-мадстоуны открытого моря

Каждый слой дает отражающую картину. Изменяется ГИС. Равномерный – аградационный пакет. Посередине – от мелководной к глубоководной – ретроградационный пакет. Верхний – от глубоководных к мелководным – проградационный пакет, наступление суши и увеличение объема выносимого материала (рис. 6.10).

6.3. Терминология

Парасиквенс – последовательность генетически связанных геологических тел, ограниченная сверху и снизу поверхностями затопления и коррелятивными (соответствующими) им поверхностями

Поверхность максимального затопления – поверхность затопления внутри секвенции, выделяемая по максимальной площади затопления

Секвенция – последовательность генетически связанных пород, ограниченная в кровле и подошве седиментационными несогласиями и коррелятивными им поверхностями

Граница секвенции – регионально прослеживающееся несогласие, разделяющие секвенции. Несет следы субаэральной эрозии и характеризуется сдвигом границ фаций в сторону бассейна

Поверхность трансгрессии – эрозионная поверхность, покрывающая отступающую (трансгрессирующую) береговую линию

Системный тракт – совокупность одновозрастных осадочных пород, образовавшихся в течение одного цикла поднятия и опускания уровня моря

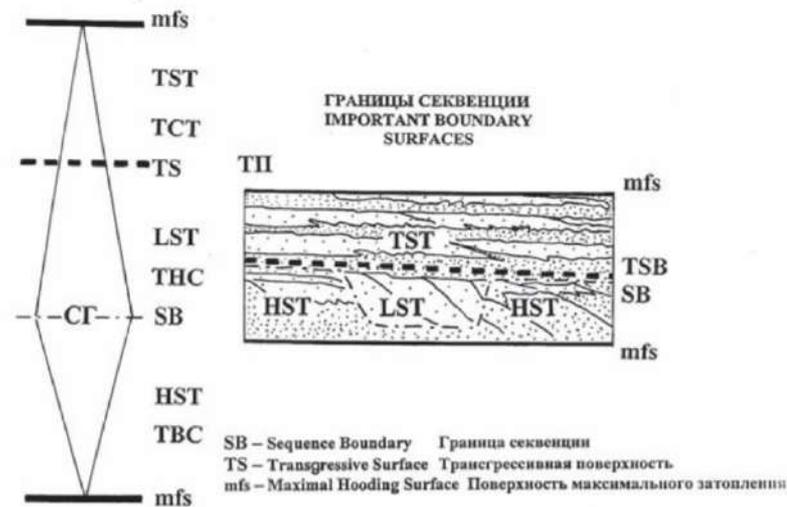


Рис. 6.11. Основные граничные поверхности в седиментационной обстановке тракта низкого стояния

Один пакет парасеквенций состоит из многих парасеквенций. Они говорят о локальном чередовании трансгрессии и регрессии. Есть общий тренд, но он осложняется более мелкими изменениями уровня моря.

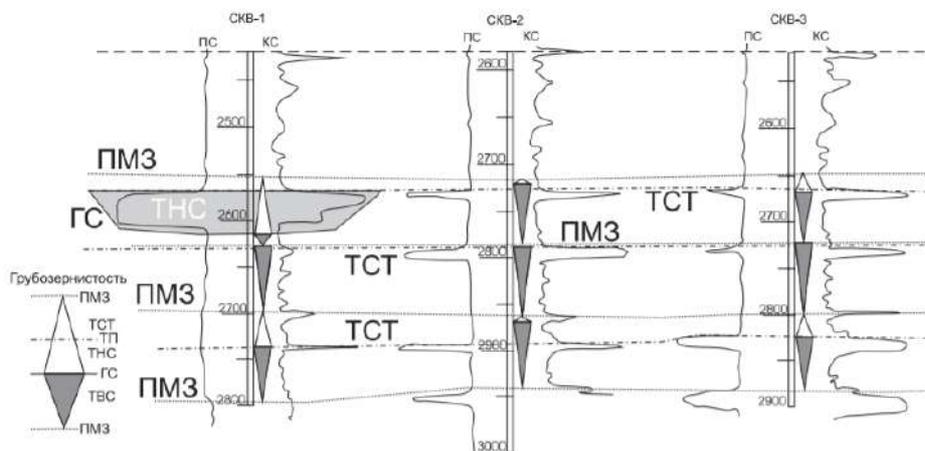


Рис. 6.12. Пример секвентной интерпретации профиля по трем скважинам

Видим общую закономерность, песчаники и глины. Смена дает возможность коррелировать отложения.

Рассмотрим ряд скважин, для которых есть результаты каротажа и литологическое описание пород (рис. 6.12). Условными значками (треугольниками) показаны тенденции в распределении зернистости обломочной части пород, описанных по керну или шламу.

Для ТВС характерно увеличение зернистости вверх по разрезу, а для ТНС и ТСТ, наоборот – уменьшение. Границы систем трактов фиксируются четко по пикам на обеих или хотя бы одной из каротажных кривых. Поверхность максимального затопления (ПМЗ, или максимальной мористости) устанавливается в точке, где на смену уменьшения грубозернистости обломочных пород приходит ее увеличение. Обычно она выделяется в виде пика слабой или средней амплитуды на кривых каротажа и следует выше кровли ТСТ. Когда на кривых каротажа появляются широкие пики, а тенденция к увеличению грубозернистости сменяется ее уменьшением, то такой набор данных интерпретируется как ТНС, например, врезанная долина. Граница секвенции (ГС) проводится в точке, в которой происходит смена увеличения грубозернистости на уменьшение.

6.4. Системы осадконакопления обломочных пород

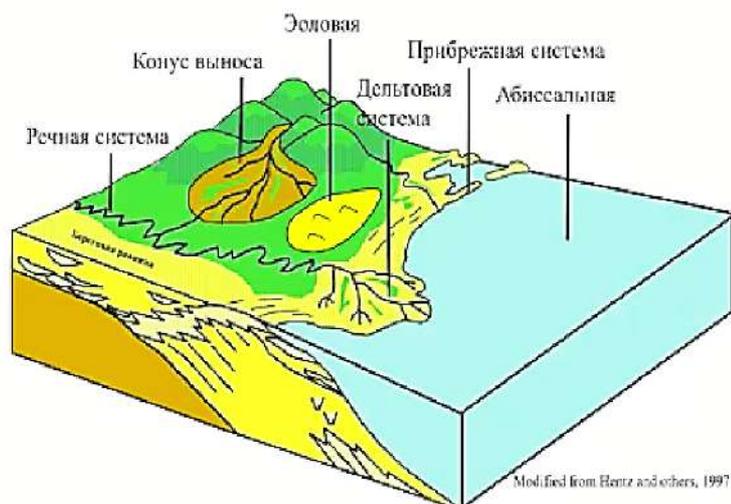


Рис. 6.13. Системы осадконакопления обломочных пород



Рис. 6.14. Проградация шельфовых отложений

Наклонное направление осадконакопления при проградации шельфовых отложений. Временные границы секут фациальные границы отложений (рис. 6.14).

Что необходимо знать о глубоководных системах

- Как происходит формирование песчаных и глинистых толщ
- Как определять типы отложений по данным керна и каротажа
- Размеры, формы и выдержанность различных типов песчаных тел
- Основные виды неоднородностей и как они влияют на динамику флюида в пласте
- Методы корреляции каротажа и построение геологических моделей отложений глубоководно-морского генезиса

Характеристика русловых фаций

- Вид на сейсмике: прерывистые, субпараллельные тела
- Вид каротажной диаграммы: различный (до уменьшения зернистости вверх по разрезу)
- Возможность корреляции по каротажу: плохая
- Переслаивание песчаников различной мощности
- Большинство мощных песчаных тел ($>5^\circ$) врезаны друг в друга

Характеристика фаций подводных долин

- Вид на сейсмике: «чайкообразные», субпараллельные тела; выдержанность от плохой до средней.
- Вид каротажной диаграммы: заглушенный, зазубренный (до уменьшения зернистости вверх по разрезу)
- Возможность корреляции по каротажу: средняя до плохой
- Тонкопереслаивающиеся песчаники и алевриты (прослой $<4^\circ$)
- Несущественный размывы и врезы

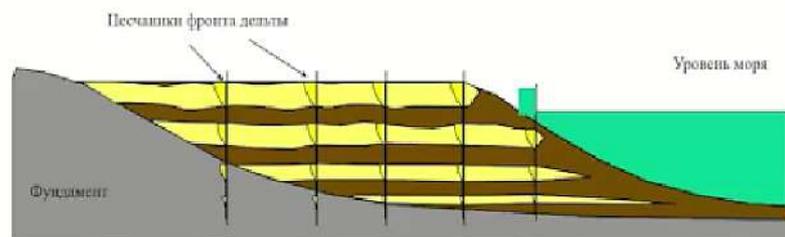


Рис. 6.15. Пример литостратиграфической корреляции

Пример корреляции, основанной на подобию форм кривой каротажа и литологии пород (зернистость, сортировка, содержание глинистой компоненты) по керну (рис. 6.15).

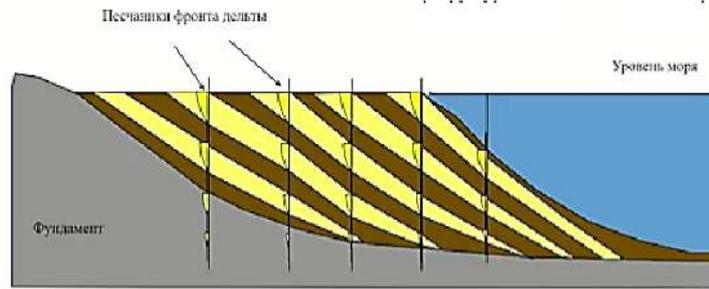
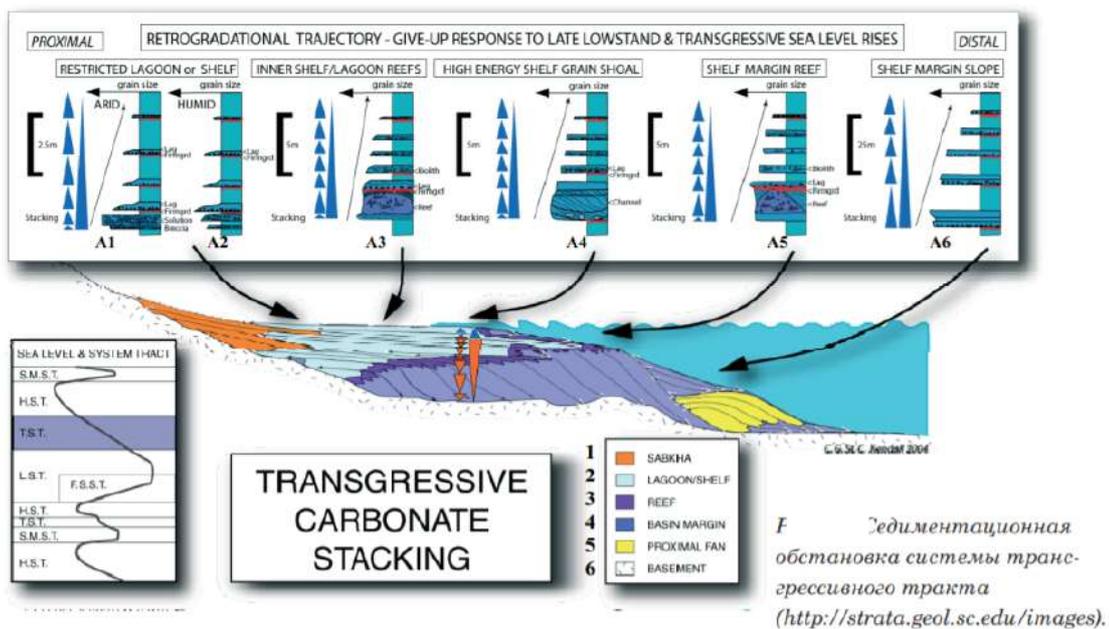


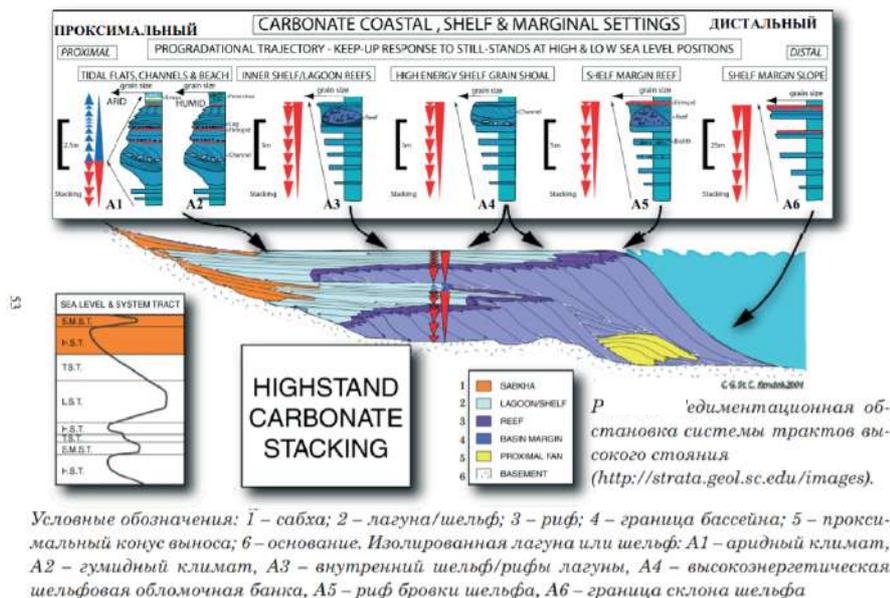
Рис. 6.16. Пример хроностратиграфической корреляции (подход сиквенс-стратиграфии)

Корреляция того же разреза на основе изучения керна, каротажа, сейсмических профилей, биостратиграфии и вариации уровня моря



Условные обозначения: 1 – сабха; 2 – лагуна/шельф; 3 – риф; 4 – граница бассейна; 5 – проксимальный конус выноса; 6 – основание. Изолированная лагуна или шельф: А1 – аридный климат, А2 – гумидный климат, А3 – Внутренний шельф/риф лагуны, А4 – высокоэнергетическая шельфовая обломочная банка, А5 – риф бровки шельфа, А6 – граница склона шельфа

Рис. 6.17. Распределение карбонатов в процессе формирования ТСТ



Условные обозначения: 1 – сабха; 2 – лагуна/шельф; 3 – риф; 4 – граница бассейна; 5 – проксимальный конус выноса; 6 – основание. Изолированная лагуна или шельф: А1 – аридный климат, А2 – гумидный климат, А3 – внутренний шельф/риффы лагуны, А4 – высокоэнергетическая шельфовая обломочная банка, А5 – риф бровки шельфа, А6 – граница склона шельфа

Рис. 6.18. Распределение карбонатов в процессе формирования ТВС

Семинар 7

Выделение секвенций и систем трактов на каротажных диаграммах

Комплекс геофизических мероприятий необходим для уточнения границ стратонов, так как 100% выхода керна бывает редко. С позиции интерпретации эвстатических мероприятий важен анализ каротажных кривых с выделением на них границ секвенций по характерным резким скачкам. Видимые скачки могут отвечать поверхности максимального затопления. Каротаж также служит для уточнения геологических границ. В случае если идет постоянный отбор керна, это позволяет расположить столбики керна правильно по разрезу. Если бурят без отбора керна, каротаж – единственная информация о разрезе. Каждая горная порода состоит из разных минералов, а разный минерал обладает разными физическими свойствами.

Задачи:

- 1) Знакомство с некоторыми видами каротажа
- 2) Установление связи между трендами каротажных кривых, отображающих физические характеристики пород и эвстатическими вариациями

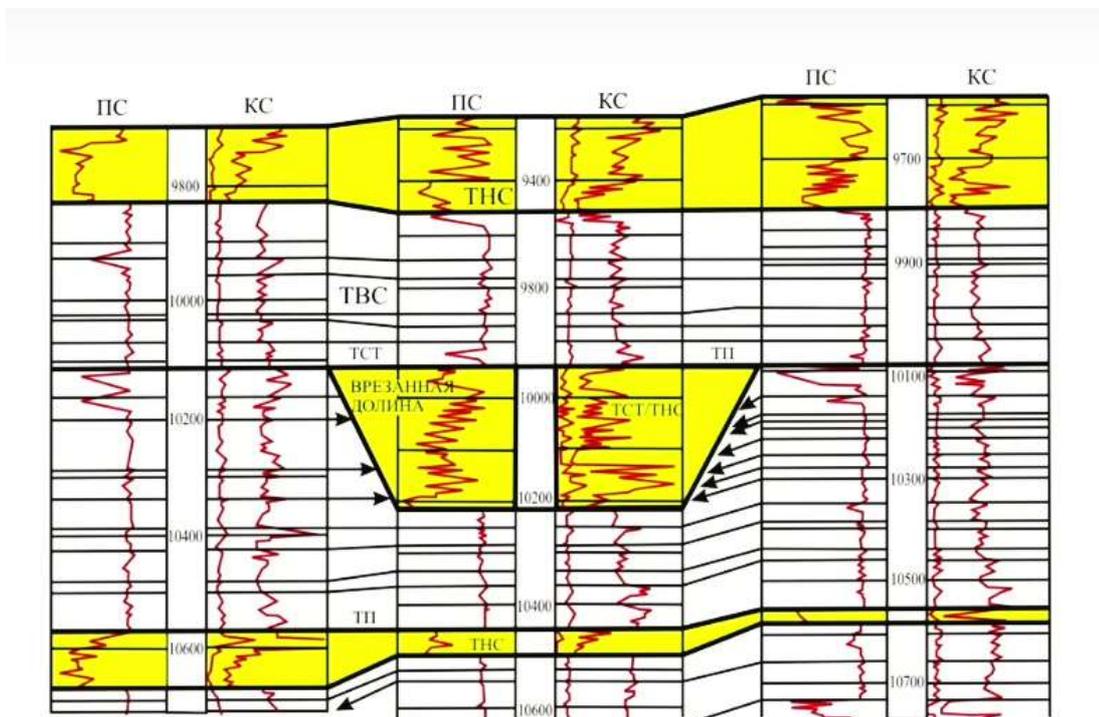


Рис. 7.1. Картаж

Картинка показывает сопоставление трех скважин. По отдельным пикам мы можем провести корреляцию. Можем выделить тракты (рис. 7.1).



Рис. 7.2. Проведение каротажа

Самый простой способ каротирования скважин – измерение электрических свойств и проводимость. Есть зонд – 1, (рис. 7.2), 2-регистрирующее устройство, которое связано с тросом катушкой – кабелем 3. Далее это опускается в забой скважины. Зонд опускается вниз, и мы получаем кривые. В горизонтальных скважинах используют другие технологии.



Рис. 7.3. Проведение каротажа

Существует автоматизированная система, которая сама снимает показания.

Не всегда возможно каротировать скважину и/или получить достоверный результат:

- 1) существенное искривление ствола;
- 2) аварийные скважины (провал бурового инструмента и др.)

7.1. Виды каротажа

Электрический

Измеряется естественное электрическое поле (потенциал собственной поляризации – ПС) и кажущееся удельное сопротивление (КС – сопротивление поровых вод и частично самой породы). Разница в значениях ПС и КС позволяет различать обломочные, глинистые и карбонатные породы, выделять рудные тела, пласты, насыщенные нефтью.

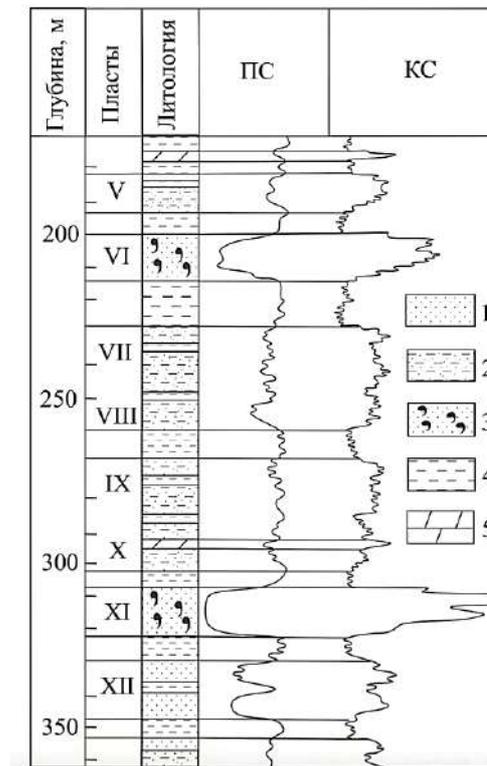


Рис. 7.4. Результаты электрического каротажа одного из интервалов разреза по скважине: 1-песчаники, 2-глинистые песчаники, 3-нефтеносные песчаники, 4-глины, 5-мергели (Историческая геология, 1985)

На диаграмме минимум ПС и максимум КС характеризуют песчаники с нефтью (рис. 7.4). Другие породы характеризуются другими значениями. Для каждой из горных пород разные кривые. Зная это по кривой каротажа, можно понимать, где какая порода.

7.2. Задание (восстановить разрез по данным каротажа)

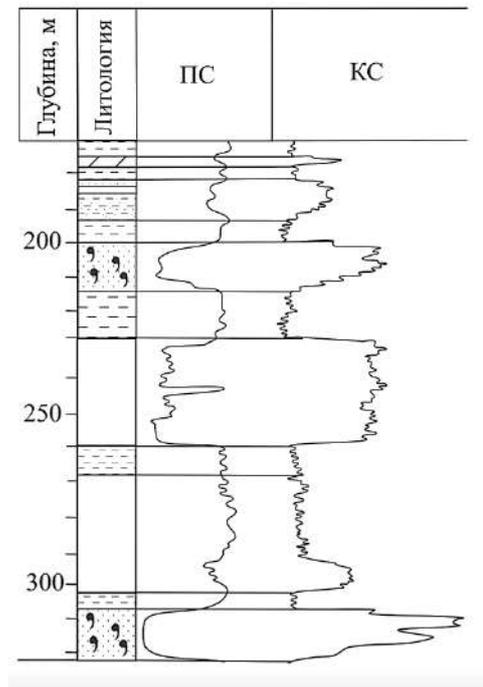


Рис. 7.5. Задание 1: восстановить разрез по данным каротажа

Зная примерные значения пород по кажущемуся сопротивлению и потенциалу поляризации мы можем заполнить пустые данные.

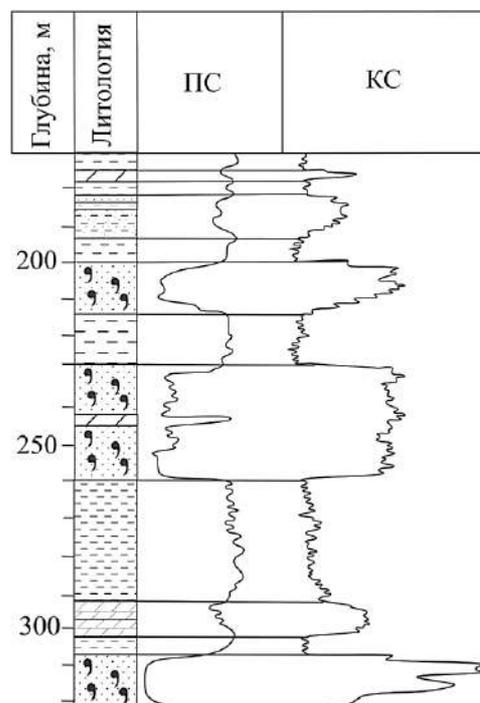


Рис. 7.6. Задание 1: решение

Радиоактивный каротаж – измерение естественной радиоактивности и радиоактивности, возникающей при искусственном облучении.

Гамма-каротаж – замер гамма излучения приемником типа радиометра в мк/час (в России) или в единицах API (American Petroleum Institute, за рубежом)

График «глинистости». Повышенной радиоактивностью обладают глинистые породы (например, около 16-20 мк/час или 200 единиц API), калийные соли, а низкой – ангидрит, гипс, доломиты, известняки (например, около 406 мк/час или первые единицы API).

Тип тренда	Гамма-каротаж	ПС	КС	Акустич. каротаж	Интерпретация кривых каротажа
5					Проградация
4					Ретроградация
3					Агградация
2					Проградация и ретроградация
1					Агградация

Рис. 7.9. Виды каротажа и интерпретация кривых каротажа

Чем больше видов каротажа, тем сопоставления будут точнее.

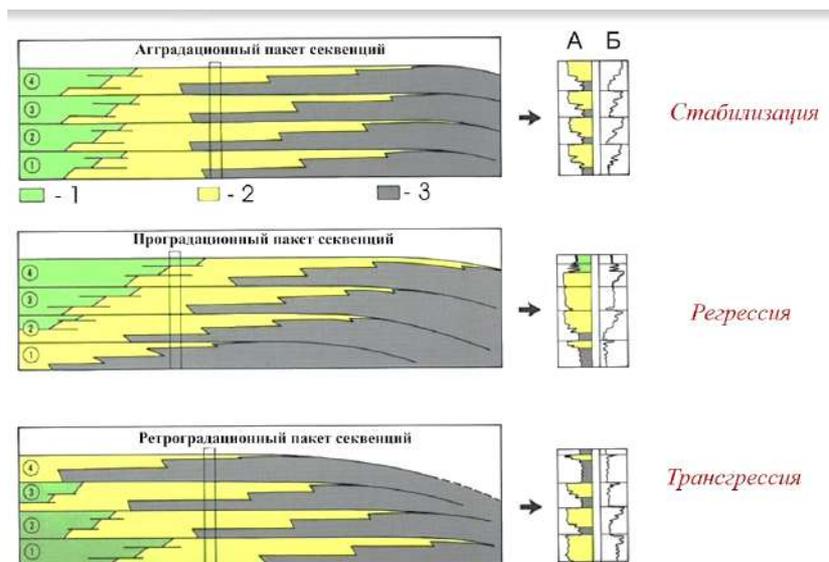


Рис. 7.10. Выделение трактов по поведению кривых. 1-мелководные песчаники, 2-песчаники и мадстоуны переходной зоны, 3-мадстоуны «переходного» моря. а-ПС, б-КС

Записи на каротажных диаграммах помогают его интерпретировать с позиции эвстатических колебаний.

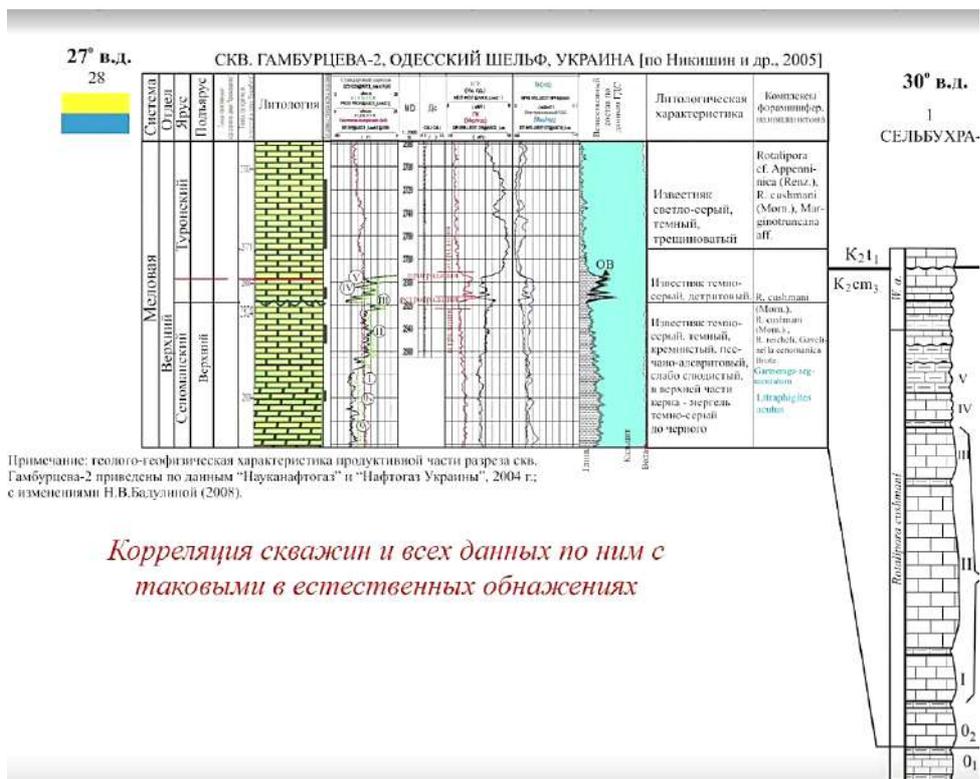


Рис. 7.11. Корреляция скважин и всех данных по ним с таковыми в естественных обнажениях

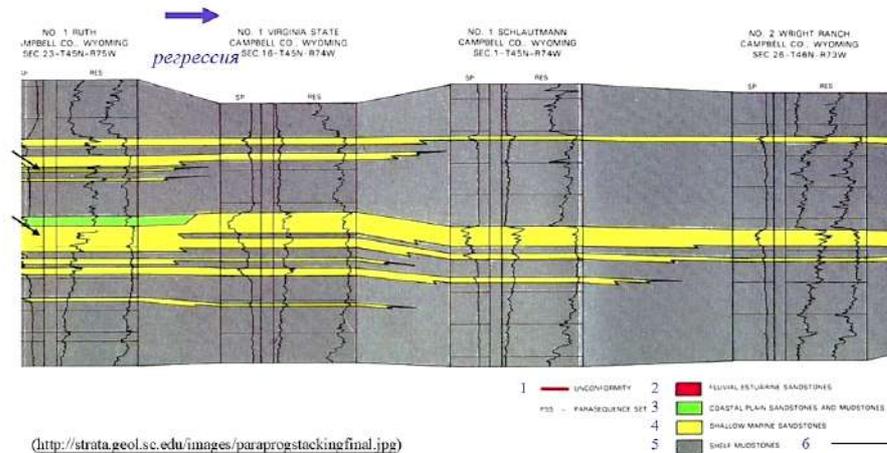


Рис. 7.12. Пример проградационных тел в профиле по данным каротажа скважин. Условные обозначения: 1- несогласия, 2- флювиальные/эстуарные песчаники, 3-песчаники и мадстоуны прибрежной равнины, 4- мелководно-морские песчаники, 5- шельфовые мадстоуны, 6- эпизоды формирования проградационных пакетов секвенций

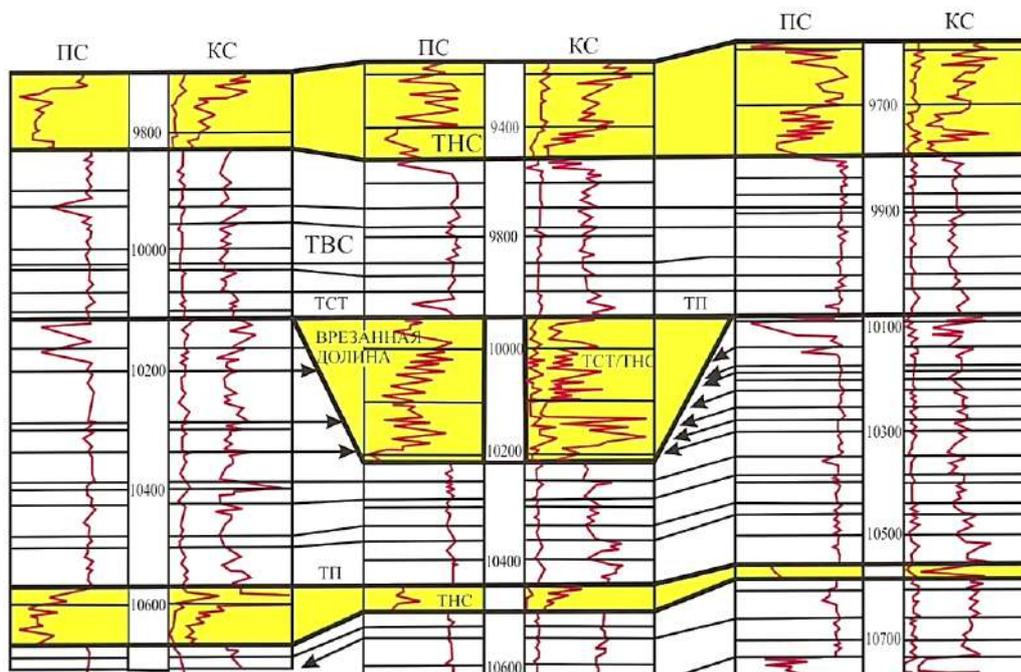


Рис. 7.13. Анализ трендов на профиле по ряду скважин

Современный уровень исследования скважин (терминальный сеноман) позволяет на основе детального анализа цикличности уточнить границы секвенций и систем трактов, выделить корреляционные уровни (циклиты)

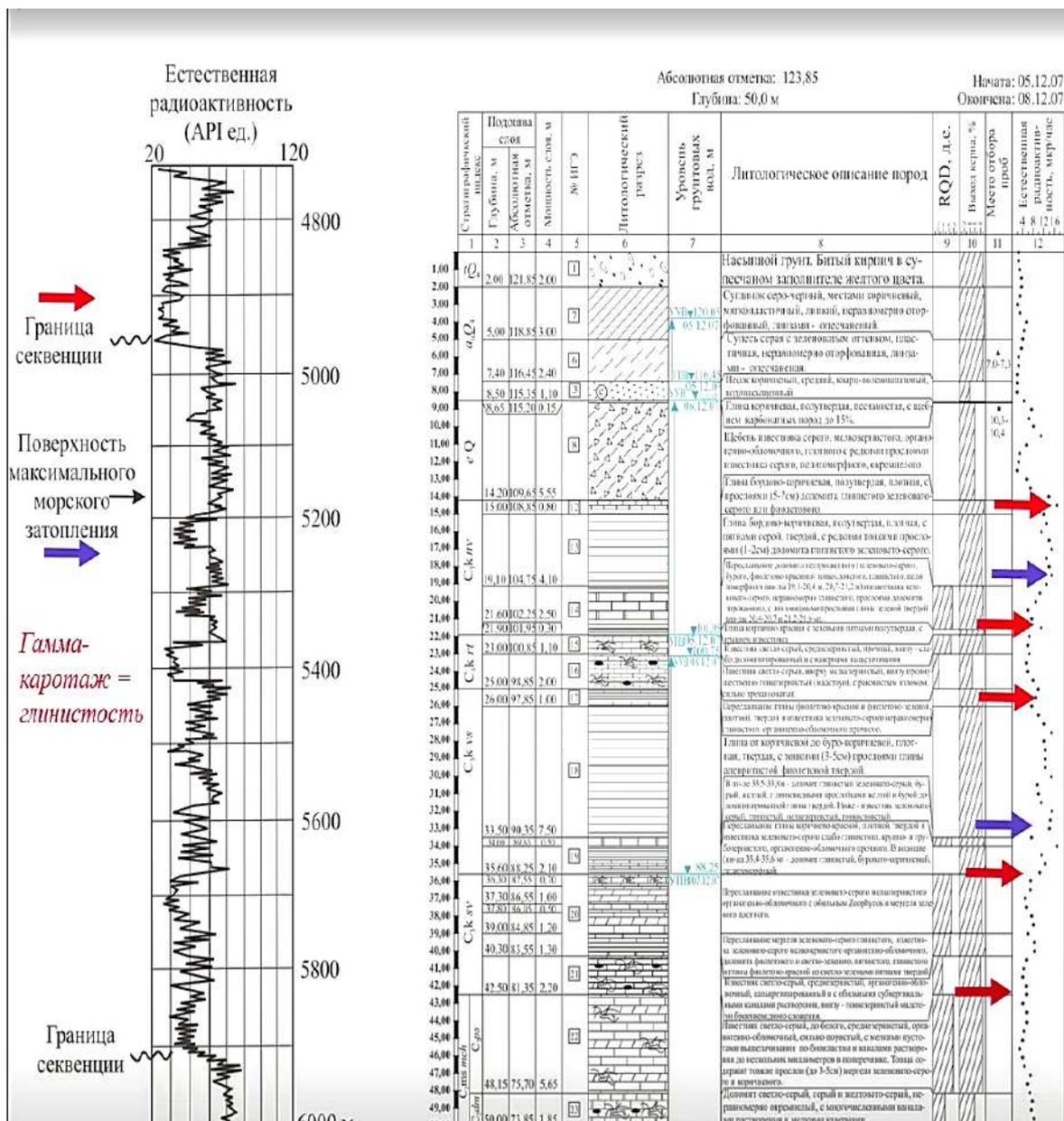


Рис. 7.14. Анализ разреза

7.4. Задание 3

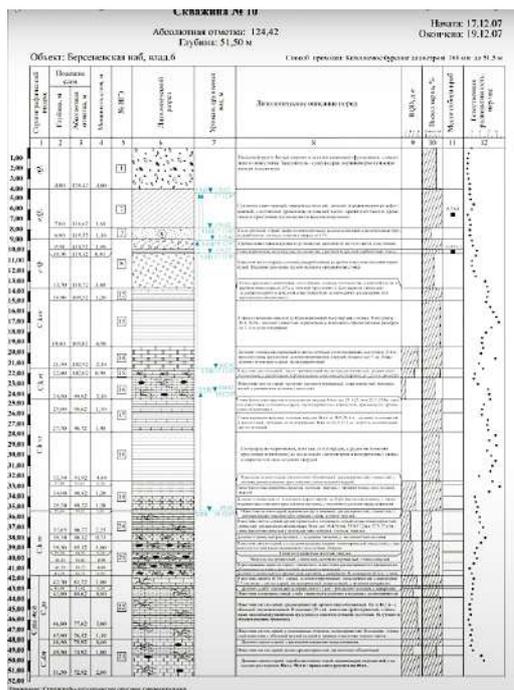


Рис. 7.15. Задание 3. Наметьте границы секвентной поверхности максимального затопления кривой ГК

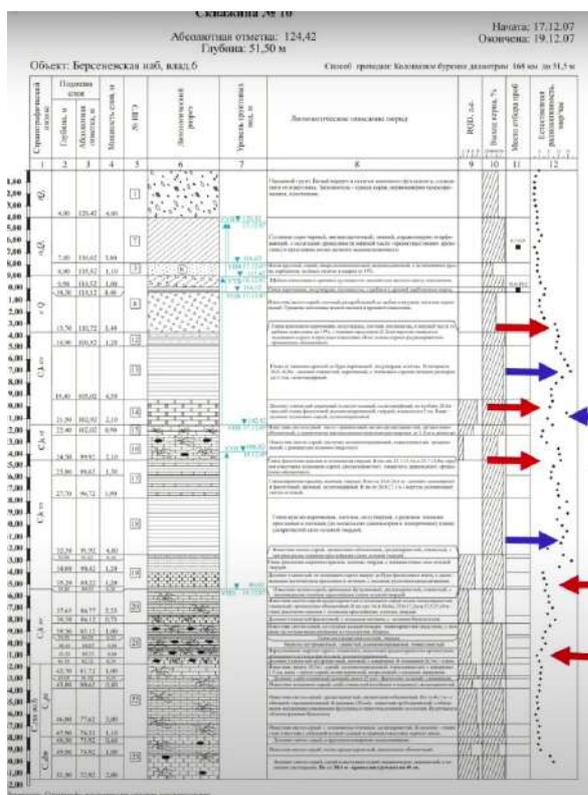


Рис. 7.16. Решение

Проблема прыгающих границ и перерывов. Важно учитывать при корреляции.

7.5. Задание 4

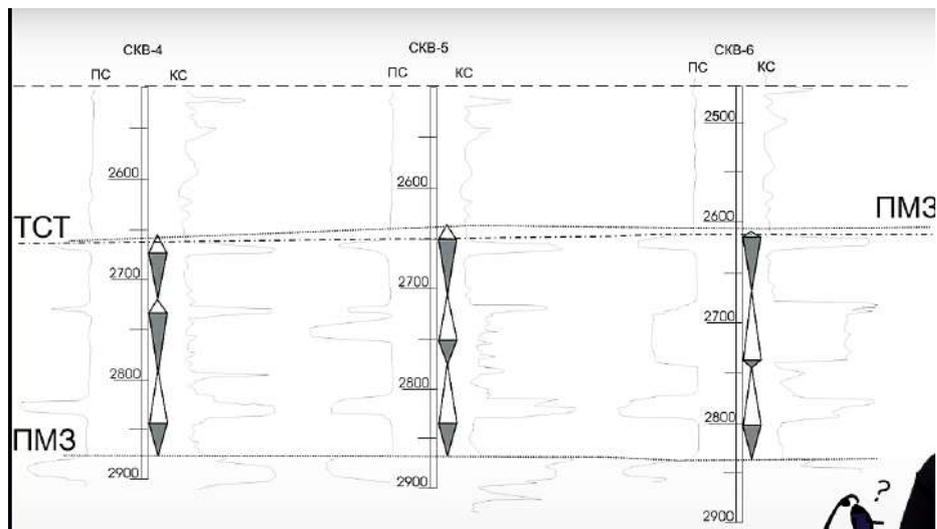
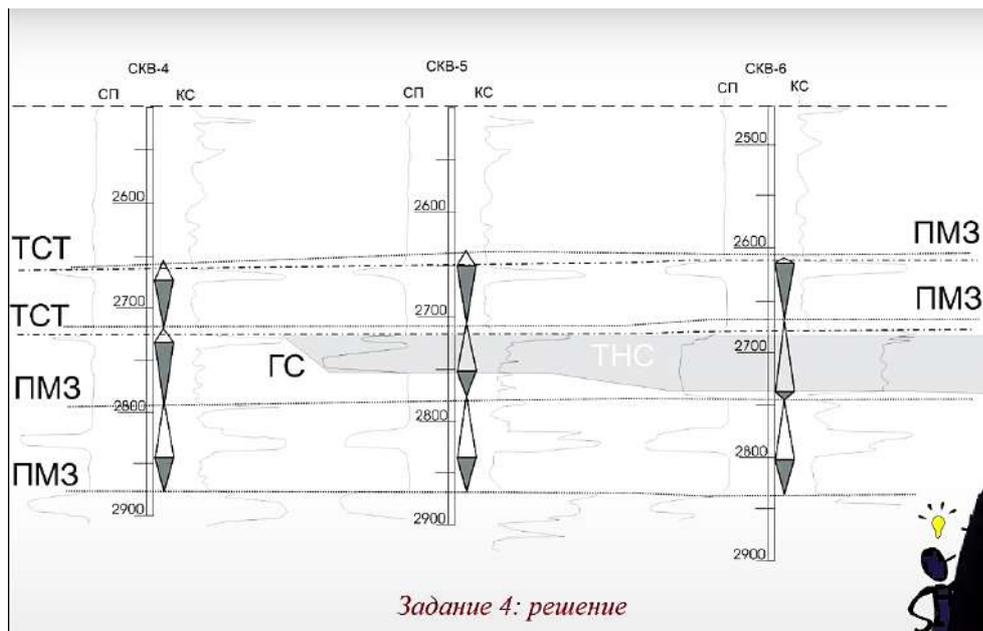


Рис. 7.17. Задание 4. Закончите секвентную интерпретацию картотажных кривых по профилю



Задание 4: решение

Рис. 7.18. Задание 4: решение

Семинар 8

Связь секвентной и биостратиграфии

8.1. Связь палеоэкологии организмов и эвстатических вариаций

Цель семинара: показать, как анализ органических остатков может указать, где образовывались эти отложения (мелководные, глубоководные, стенбатные и т.д.).

Задачи:

- 1) знакомство с некоторыми представителями ископаемой и современной флоры и фауны;
- 2) установление связи палеоэкологии организмов и эвстатических вариаций.

На рис. 8.1 показан фрагмент дерева в палеогеновых отложениях. В какой обстановке это может накапливаться? Если в этом же песчанике мы можем найти в том числе какие-то морские формы жизни, то это явно что-то крайне мелководное – в результате трансгрессии и ингрессии по реке морские воды затапливают низменности. Если же мы говорим о *врезанной долине*, формировавшейся в условиях крайне низкого уровня Мирового океана, то это будут континентальные *аллювиальные* осадки. А данном примере мы попытались интерпретировать находки флоры с позиции статических вариаций.



Рис. 8.1. Песчаник кварцитовидный, ТСТ

Нуммулитовые известняки (нуммулиты) – одни из самых крупных фораминиферов, видимых невооруженным глазом, часто сопутствуют рифовым постройкам, образуют пористые известняки рис. 8.2. Крайне мелководные осадки. ТСТ, ТВС

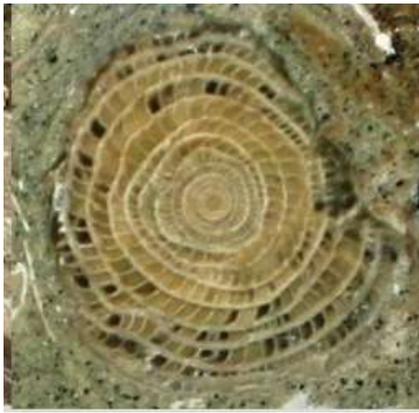


Рис. 8.2. Нуммулит



Рис. 8.3. Губка *Sphenaulax* sp.

Если нуммулит – это либо трансгрессивная система трактов, либо вторая половина тракта высокого стояния, если речь идет о границе платформ, либо системный тракт шельфовой окраины, то губки могут обитать в пресноводной обстановке (рис. 8.3), на небольшой глубине, либо могут иметь известковистый скелет. Эврибатные организмы, они могут быть и на большой глубине – около 200 м и больше. Могут быть глубоководными в парагенезе с другими существами. Находки губок говорят либо о ТВС, либо ТСТ.



Рис. 8.4. Одиночный коралл.



Рис. 8.5. Колониальный коралл.

На рис. 8.4. крайне мелководный коралл, ТСТ или СТШО. Такие кораллы не вносят изменения в уровень Мирового океана, по его изменению мы можем судить только о коралловых рифах и террасах. Не выносят понижения солености и температуры.

На рис. 8.5 колониальный тракт - крайне мелководная обстановка, ТСТ или СТШО, нормальная соленость, температура выше 20°C.



Рис. 8.6. Червь *Serpula*

Рис. 8.7. Ядро гастроподы

Червь (рис. 8.6) – имеет раковину, небольшая глубина, волно-прибойная зона, ТСТ, ОШТ. Эти черви неподвижны, мобильны только их личинки.

На рис. 8.7 – брюхоногий моллюск, морская улитка (не то же самое, что сухопутная улитка на врезке!). Если в отложениях только двустворчатые моллюски и улитки-гастроподы, то осадки либо континентальные, либо пресноводные на континентах (при наличии рыб). Если в осадках также находятся иглокожие, брюхоногие моллюски и пр., то это уже морской бассейн с нормальной соленостью.



Рис. 8.8. Ядро аммонита

Рис. 8.9. Аммонит

На рис. 8.8 головоногий моллюск – аммонит. Мелководная среда, эврибатные организмы, могут перемещаться из более низких слоев толщи воды в более глубоководные. Раковина имеет жилой отсек, гидростатические камеры для изменения давления в раковине (рис. 8.9). Как правило, это глубоководные отложения, живут в толще воды, питаются другими моллюсками, членистоногими. Только головоногие моллюски – ТВС, конец ТСТ. Головоногие моллюски вместе с кораллами, губками, двустворками и т.д. – мелководье не глубже 200 м.



Рис. 8.10. Известняк биокластический

Рис. 8.10 – трансгрессия, углубление бассейна, крайне мелководная обстановка – около 50 м.



Рис. 8.11. Песчий мел с аммонитом

Рис 8.11 – состоит из микрофауны. Конец трансгрессивной системы трактов, существенная глубина бассейна была набрана. Если песчий мел с макрофауной, глубина около 200 м. Без микрофауны – ТВС.



Рис. 8.12. Белемнит

Рис. 8.12 – белемнит, родственник моллюсков, головоногих кальмаров. Внутри тела была раковина. Плавали в толще воды, если мы находим только белемниты – то породы глубоководные. Если в парагенезе вместе с двустворчатыми моллюски – мелководные, менее 200 м. Быстро распространяются в тоще воды с помощью трансгрессии.



Рис. 8.13. Опоковидный мергель с белемнитом

Рис. 8.13 – ТВС, материал – кремнистый организмы и немного карбонатного материала, диатомеи, радиолярии. Около 200 м или глубже.



Рис. 8.13. Двустворчатый моллюск

Двустворчатые моллюски бывают глубоководные и мелководные, все зависит от раковины (рис. 8.13). Если раковина как у устрицы, то глубина около 200 м.



Рис. 8.14. Песчаник кварц-глауконитовый с устричной банкой

На рис. 8.14 устрицы, прикрепленные к субстрату. Наличие таких устричных банок – крайне мелководное. ТСТ, глубина – первые десятки метров (рис. 8.14).



Рис. 8.15. *Ostrea*

Находки устриц, как на рис. 8.15, дают возможность реконструировать палеографические условия среды на основе таких живых ископаемых.



Рис. 8.16. Алевритистая опока с ядром двустворчатого моллюска

На рис. 8.16 – ТСТ, мелководье, т.к. большинство двустворок не живут глубже 200м.



Рис. 8.17. Песчий мел биотурбированный с двустворками

На рис. 8.17 – ТСТ, конец нарастания глубины – в пределах 200 м.

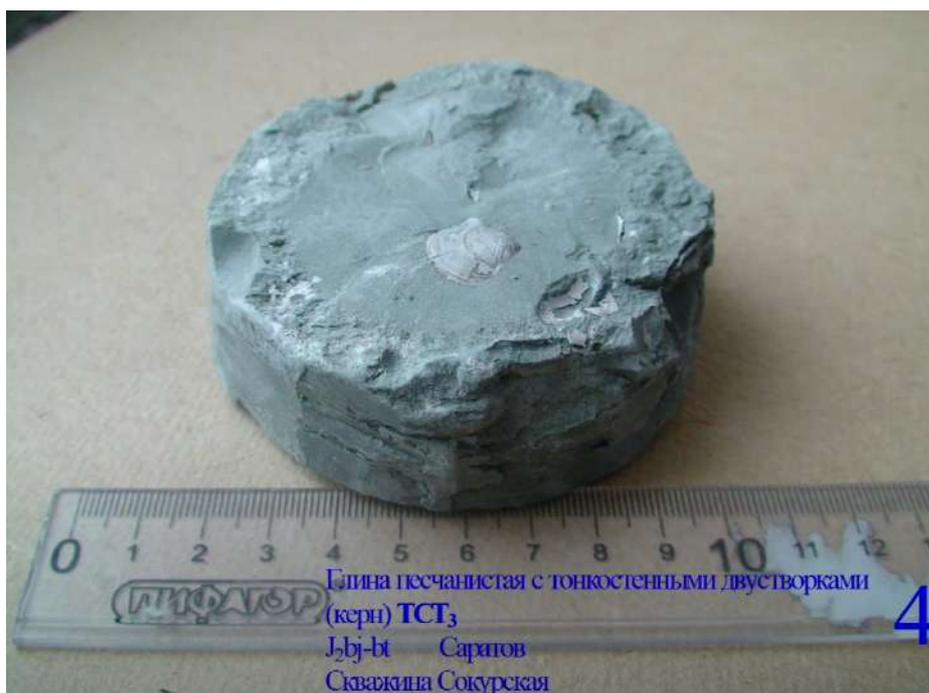


Рис. 8.18. Глина песчанистая с тонкостенными двустворками, ТСТ₃

На рис. 8.18 конец ТСТ, в частности байос-батские отложения в Сокурской скважине.



Рис. 8.19. Брахиопода

Рис 8.19: мелководные, нормальная соленость, глубина первые десятки метров, ТСТ, ОШТ.



Рис. 8.20. Мшанка

Рис. 8.20 – организмы, которые могут перемещаться по дну на небольшое расстояние (несколько мм в день). Это позволяет им лучше ориентироваться к условиям окружающей среды. На рис. видны брахиоподы, морские ежи – мелководные, глубина до 50 м, ТСТ.



Рис. 8.21. Трилобит

Рис 8.21 – членистоногое, мелководная форма (хотя некоторые из трилобитов могли жить на значительной глубине), нормальная соленость. Обычно встречаются вместе с другими формами жизни – иглокожими, кораллами. Глубина до 200 м, ТСТ или ОШТ.



Рис.8.22. Песчий мел с морским ежом, ТВС

Рис. 8.22 – сердцевидный морской еж компанского возраста. Иглокожие, некоторое морские ежи, лилии могут жить на глубине до нескольких километров. Облик породы – планктоногенный, глубоководные. Типичный пример ТВС.

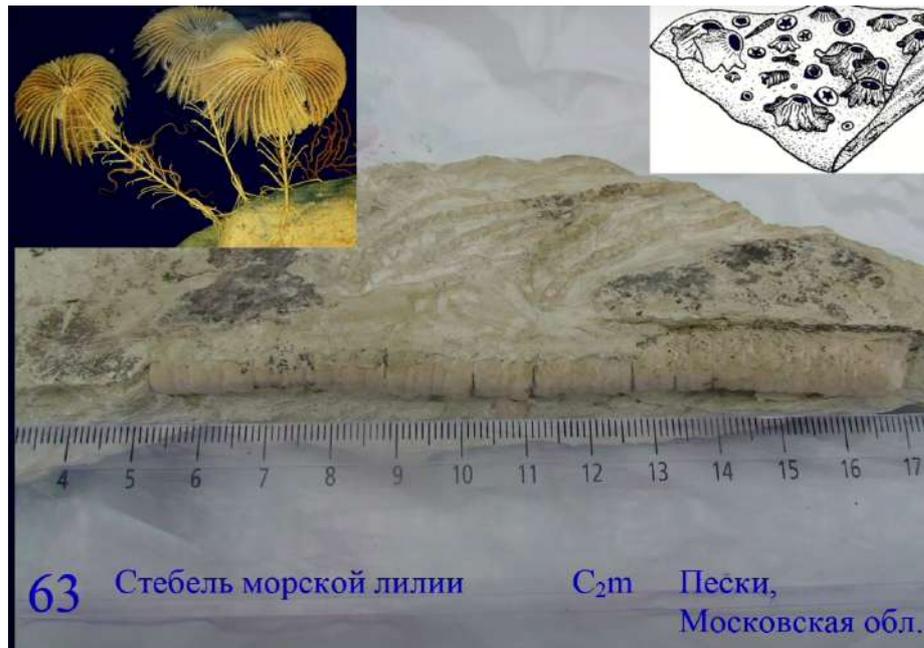


Рис 8.23. Стебель морской лилии

Рис. 8.23 – глубоководные иглокожие, ТВС, глубина более 200 м. В самой глубокой части профиля Баренцева моря (правый верхний угол) находим морских звезд, афиур, морских ежей и морских лилий. Морские лилии имеют корневую часть (левый верхний угол), многочленный стебель и чашечка с «руками», в которой собирается пища. Высота морских лилий измеряется в первых метрах.



Рис. 8.24. Костные остатки рыб

Рис. 8.24 – позднедевонские или девонские отложения. Видна челюсть рыбы с зубами, щитки и другие фрагменты. Это пресноводные водоемы, континентальное стояние, ТНС, врезанная долина.

У некоторых форм панцирных рыб плавники были закованы в костяные «латы», они были малоподвижны и, по сути, выполняли функцию руля подводной лодки. Мобильным был только хвост, при помощи него они и передвигались вдоль дна. Это было непрактично при защите от ракоскорпионов, которые откусывали клещами хвост рыбы. Более эффективной для защиты оказалась чешуя, поскольку позволяет рыбе перемещаться с большей скоростью.



Рис. 8.25. Зубы ламноидных акул

Рис 8.25 – морской бассейн, если только зубы, особенно в парагенезе с глубоководными аммонитами, то глубина может быть значительной. Как правило акулы живут в морях и океанах, но могут заплывать и до среднего течения реки.



Рис. 8.26. Позвонок ихтиозавтра

Рис 8.26 – вторичная водная рептилия, питавшаяся головоногими моллюсками аммонитами. Находки позвонков и головоногих моллюсков говорят о глубоководной обстановке, ТВС, глубине более 200 м – сотни метро и даже километры.

8.2. Выводы

1) Существует более-менее четкая связь между палеоэкологией организмов и эвстатическими вариациями.

2) Не все организмы, а, следовательно, и не всегда данный метод дает точную оценку палеобатиметрии и ее вариаций (необходимо комбинировать с другими методами).

Семинар 9

Седиментология эвстатических вариаций

9.1. Знакомство с литолого-палеонтологической коллекцией

Эвстатические вариации находят отражение в изменениях литологического облика пород, кривых каротажа, фауне.

Цель: ознакомиться с организмами и примерами керна. Интерпретировать с позиции секвентной стратиграфии.

Задачи:

- 1) знакомство с литолого-палеонтологической коллекции.
- 2) установление связи между литолого-палеонтологическими характеристиками породы и эвстатическими вариациями.

Расположение коллекции с точки зрения секвентной стратиграфии будет представлено далее, от тракта низкого стояния до тракта высокого стояния:



Рис. 8.24. Костные остатки рыб

Кистеперые рыбы (рис. 9.1) – мелководные, в том числе пресноводные обитатели. Происходят из верхнедевонских отложений Железногорска в Курской области, Михайловский ГОК, карьер Курской магнитной аномалии. Там в разрезе воронежской антеклизы, поверх складчатого фундамента раннего протерозойского нижнего структурного этажа древней Восточно-Европейской платформы лежит осадочный чехол

сокращенной мощности. Большое количество подобных костных остатков при полном отсутствии стеногалийных организмов (кораллов, брахиопод, иглокожих) говорит о типично континентальной обстановке. С точки зрения секвентной стратиграфии это либо ТНС, урезанная долина, либо обстановка крайне низкого уровня стояния воды в бассейне осадконакопления.



Рис. 9.2. Песчаник кварцитовидный с фрагментом древесины

Древесина без другой фации – ТНС, континентальная фация. Если есть другие организмы – ТСТ, переходная обстановка (рис. 9.2). В таком случае фронт трансгрессии затопливает болотистые прибрежные низменности с большим количеством растений, фрагменты которых находятся в отложениях.

Дальше, если проследить путь от находки пресноводных рыб (континентальная обстановка) к находке стволов деревьев (либо континентальная, либо переходная прибрежно-морская обстановка, в том числе трансгрессивная), следующей третьей стадией будет находка различных банок (например, рис. 9.3).

Таким образом, если бы мы хотели выстроить остатки нашей коллекции от континента до глубоководного бассейна, то их можно было бы примерно выстроить в том порядке, в котором они показаны в лекции.



Рис. 9.3. Устричная банка

На рис. 9.3 пример мелководно-морских отложений, ТСТ. Дальнейшее углубление бассейна. Около 5 м глубина (рис. 9.3). Волно-прибойная зона.



Рис. 9.4. Ostrea

Далее, на рис. 9.4. – отдельные устрицы, можно говорить о том, что глубина бассейна стала еще больше – первые десятки метров. В данном случае на рис. галоценовая устрица, найденная в керне скважины Имеретинской низменности.



Рис. 9.5. Алевритистая опока с ядром двустворчатого моллюска

На смену толстостенным устрицам приходят еще более глубоководные (рис. 9.5), глубина десятки метров, много планктонных организмов с кремнистыми скелетами, ТСТ.



Рис. 9.6. Брахиопода

Относительно мелководная морская обстановка, сопоставимая по глубине с устричными банками (рис. 9.4) в морях Палеозоя может быть представлена брахиоподовыми банками (рис. 9.5). Глубины – первые метры, первые десятки метров.

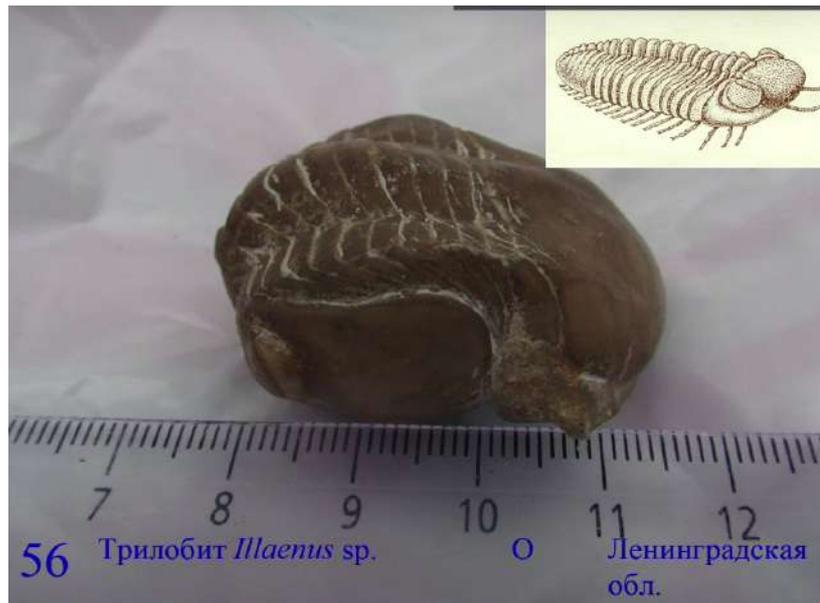


Рис. 9.7. Трилобит

Членистоногие (рис.9.7) могут жить как на небольшой глубине, десятки метров, но и на глубине 100 м. В любом случае это мелкий шельф. Трилобит - это типичный представитель палеозоя.



Рис. 9.8. Губка

Губки (рис. 9.8) могут быть как пресноводными и жить в реке, так и жить в океанах, где как пример эвригалийных организмов могут выносить изменения температуры и солености. Глубина первые километры, если находим только губки или губки вместе с иглокожими. Если губки вместе с мшанками – меньшая глубина. Находки губок могут интерпретироваться либо как углубление бассейна, либо как бассейн, в котором постоянно менялись соленость, температура. *Спикулы*, из которых состоит губка, могут

также говорит о температуре воды – в более теплой воде они будут карбонатными, а в более холодной кремнистые (например, в Поволжье).



Рис. 9.9. Колониальный коралл

Кораллы (рис. 9.9) – температура воды 20-30°C, нормальная соленость, мелководно-морская обстановка. Можно найти либо в начале ТСТ, либо в так называемых лагунных обстановках, либо в конце развития секвенции или свиты, когда обстановка вновь имеет небольшую глубину.



Рис. 9.10. Одиночный коралл

Одиночный коралл (рис. 9.10) часто встречается в каменно-угольных отложениях Подмосковья. Сейчас они доступны для изучения, например, в Домодедовском карьере. То же самое видим в разрезе скважин.



Рис. 9.11. Червь

На рис. 9.11 другой пример мелководных организмов – *Serpul’ы*, черви-обрастатели. Сейчас их можно встретить на днищах кораблей, корпусах подводных лодок, плавучих буровых платформ. В любом случае, твердый субстрат для их прикрепления должен находиться в обстановке небольшой глубины. Черви, как и губки, говорят о том, что соленость и температура в бассейне может меняться.



Рис. 9.12. Мшанка

Мшанки (рис. 9.12) более эвригалийные, чем кораллы, могут выносить изменения солености, им не обязательна температуры в 20-30 градусов. На рис. 9.12 помимо мшанки можно увидеть брахиоподу, обломки ежей – все это крайне мелководная обстановка мшанко-кораллового рифа, глубина – первые десятки метров.

Кораллы можно увидеть также на поднятой плейстоценовой рифовой террасе (например в Красном море, Египет). Это говорит о том, что с точки зрения тектоники возникают условия растяжения и погружения, что может приводить к поднятию накопленных ранее осадков. Возможно также, что это след движения африкано-аравийской тектонической плиты на север, где она упирается в Евразию и мигрирует под нее, что приводит к тектоническому подъему отдельных областей и возникновению зон тектонического растяжения, находящимся под косым углом к зоне сжатия. Соответственно, находки рифовых террас с коралловыми отложениями сейчас выше уровня Красного моря говорит либо о том, что уровень Красного моря раньше был выше, либо о том, что территория была тектонически приподнята.



Рис. 9.13. Стебель морской лилии

В более глубоководных отложениях, как правило, больше иглокожих (рис. 9.13). Если мы находим *только* иглокожих, то это глубокий шельф 100-200 м. Если находим иглокожих вместе с брахиоподами, кораллами, мшанками, двустворчатыми моллюсками, то глубины – первые десятки метров.

После целого комплекса бентосных организмов, которые живут на дне, мы начинаем путешествие уже в открытую часть бассейна. Если это континентальная окраина, то бассейн отвечает склону пелагической части, либо речь может идти о затопленном материке, платформе глубиной в первые сотни метров (рис. 9.14). Здесь мы не видим никакой бентосной макрофауны, есть головоногий моллюск, плавающий в толще воды. Опоковидный мергель состоит частично из осадков кремнистых организмов планктонов, частично из организмов с карбонатным скелетом. Это говорит о наличии переходной обстановки, не такой теплой, чтобы это был писчий мел, но и не такая холодная, чтобы была опока.

Мы можем смотреть по разрезу – если будет постепенный переход от карбонатных пород к кремнистым, как это характерно, например, при переходе от коньяка к сантону разрезе Саратовского Поволжья, то климат стал более холодным. Не обязательно говорить прекращении карбонатного осадконакопления как о следствии увеличения глубины.

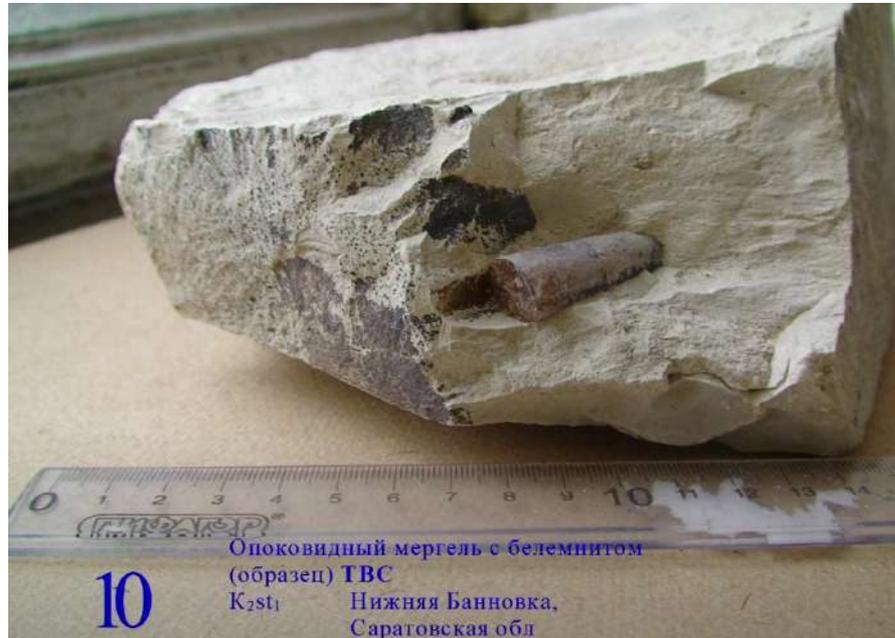


Рис 9.14. Опоковидный мергель с белемнитом, ТВС



Рис. 9.15. Известняк биокластический слабопесчанистый с серпулами, ТСТ

На рис. 9.15 пример головного организма. Здесь есть бентосный организмы.



Рис. 9.16. Ядро аммонита

На рис. 9.16 пример эврибатного организма. Они могут жить в большой диапозоне глубин. Если находим только если только аммониты, то это ТВС, если находим в том числе бентосные организмы, то ТСТ. Сами по себе аммониты – типичная руководящая форма Мезозоя, с точки зрения солености стеногалинные, температура варьируется.

9.2. Литологическая коллекция



Рис. 9.17. Трансгрессивный системный тракт

Тренды в разрезе с точки зрения литологии: на рис. 9.17 типичный трансгрессивный ряд, переход от доломитов к глинам, постепенное углубление бассейна.



Рис. 9.18. Тренды на уровне подсвит и внутри подсвит

Иногда мы видим чередование мелководных с более глубоководными свитами (рис. 9.18): белые карбонатная известковистая суворовская свита, глинистая воскресенская свита, вновь карбонатная ратмировская свита. Такая цикличность на уровне свит – это секвенции более высоких порядков.



Рис. 9.19. Разрез, Нижняя Банновка

Иногда от секвенции может остаться только часть. На примере (рис. 9.19) секвенция представлена только ТСТ (песчанистая и карбонатная) и ТВС (песчий мел). Важно не принять часть одной секвенции к другой секвенции.



Рис. 9.20. Разрез. Нижняя Банновка

Если двигаться по Волге к другой части разреза, видим другую секвенцию, новый трансгрессивный тренд новой секвенции (рис. 9.20). Выше видим нижний сантон, откуда происходит опоковидный мергель с ядром двустворки, кремнистые губки и некоторые другие образцы.

Поэтапная палеогеографическая реконструкция путем анализа состава палеоценоза дает возможность предложить секвентно-эвстатическую модель ее образования.

В тракте высокого стояния можем встретить иноцерамусов, иглокожих (рис. 9.21). Иногда также можем встретить рыб, некоторых членистоногих. Мощность меняется, поскольку в некоторых местах лежали большие иноцерамы, и когда эрозия осадков приводила к тому, что под этими иноцерамами осадок не выносился, они превращались в холмы и обрастали организмами-обрастателями.

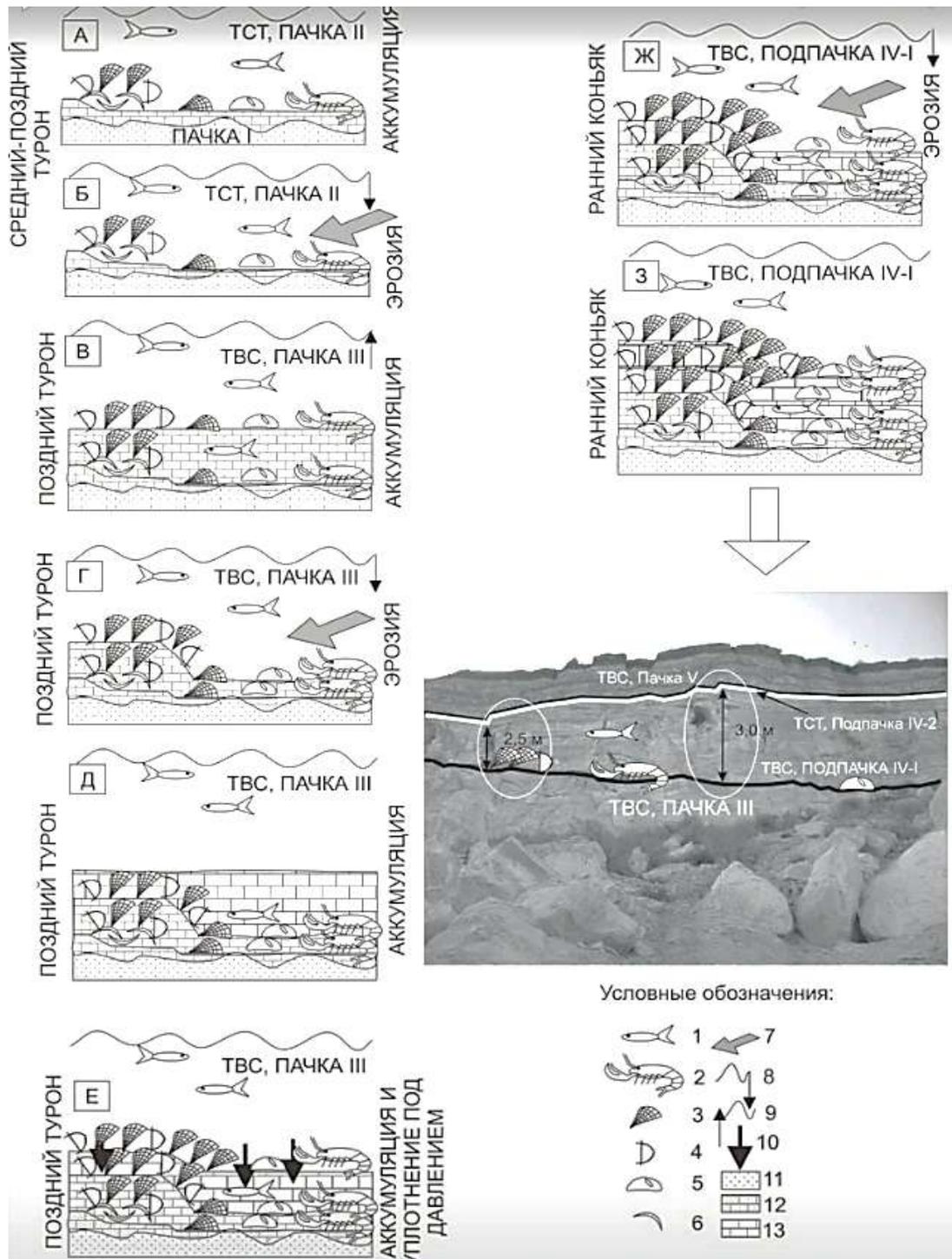


Рис. 9.21. Реконструкция. Условные обозначения: 1-рыбы, 2-ракообразные, 3-двустворчатые моллюски, 4-брахиоподы, 5-иглокожие, 6-раковинный детрит, 7-эрозия осадка придонными течениями, 8-эвстатическое падение уровня моря, 9-эвстатический подъем уровня моря, 10-уплотнение осадка под давлением вышележащих слоев и столба воды, 11-пески и песчаники, 12-песчанистый мел, 13-мел и мергели

Далее представлена литологическая коллекция с точки зрения секвентной стратиграфии от тракта низкого стояния до тракта высокого стояния.



Рис. 9.22. Континентальный красноцветный песчаник, ТНС

На рис. 9.22 красноцветный песчаник с косой, волнистой слоистостью. Такие клиноформы – это типичные речные отложения, дельтовая часть. Косая слоистость характерна для рек, ТНС, континентальная обстановка.



Рис. 9.23. Песчаник кварцитовидный, очень прочный – трансгрессивная поверхность, твердое дно

На рис. 9.23 образец конца аналога тракта низкого стояния либо верхней части секвенции, представленной трактом высокого стояния. Выше нее начинается новая секвенция, трансгрессивный тракт.



Рис. 9.24. Песчий мел с фосфоритовыми желваками, ТСТ1

В основании трансгрессивного тракта можем встретить образец на рис. 9.24. Разные конкреции фосфорита можно видеть на крымской практике, в разрезе палеогена в основании. Это – контакт двух свит, с точки зрения секвентной стратиграфии это трансгрессивная система трактов, самое ее начало. Стратиграфический контакт. Другой пример трансгрессивной поверхности на рис. 9.25.



Рис. 9.25. Трансгрессивная поверхность



Рис. 9.26. Песчаник кварцитовидный, ТСТ

На рис. 9.26 может быть что-то мелкозернистое, возможно ТСТ, хотя сами по себе песчаники – это космополитные породы, так же как и глинистые. Глины и песчаники мы можем встретить в любой обстановке, и в континентальной, и в глубоководно-морской.



Рис. 9.27. Железистый песчаник, ТСТ

Иногда, когда трансгрессия только начинается, воды приходят в низменность и затопливают холмы, на которых лежат осыпные, оползневые, обвальные накопления,

порода приобретает «мусорные облик» (рис. 9.27). Крайняя мелководная обстановка, источник сноса находится рядом, мусорный песчаник.



Рис. 9.28. Песчаник кварцитовидный, ТСТ

Хорошо отсортированный песчаник (рис. 9.28) говорит о дальнейшем развитии трансгрессии, отступлении береговой линии. на образце на рис. 9.28 можно видеть двустворчатые моллюски, т.е. бентосные организмы, говорящие о мелководно-морской обстановке.



Рис. 9.29. Алевролит глинистый, ТСТ₁

На смену песчаников далее могут приходиться глинистые отложения (рис. 9.29), размер обломочной части становится меньше – алевриты, алевролиты, начинает расти глинистость. Это все еще ТСТ, но идет уже постепенное углубление бассейна .



Рис. 9.30. Алевролит глинистый с растительным детритом, ТСТ₂

На рис. 9.30 – растительный детрит, из устья реки выносятся отдельные фрагменты растительной древесины.



Рис. 9.31. Глина песчаная с двусторками, ТСТ₃

Далее продолжается трансгрессия, появляются мелководно-морские моллюски (рис. 9.31), глубина еще больше увеличивается.



Рис. 9.32. Песчий мел биотурбированный, TST3

В условия небольших глубин или теплой воды мы можем получить более глубоководные отложения, конец трансгрессивного тракта, начало ТВС – песчий мел (рис. 9.32). Это топологическая порога, состоящая из раковин планктонных организмов, животных. и растений, нанопланктона, планктонных водорослей с карбонатным скелетом. Но наличие в них двустворчатых моллюсков (рис. 9.32) говорит о том, что это уже конец трансгрессии и скоро бентосных организмов в разрезе не будет, останутся только пелагические, например, головоногие моллюски, опоки или диатомиты. Увеличивается глубина бассейна, появляется головоногий моллюск (рис. 9.33).



Рис. 9.33. Песчий мел с аммонитом, TST2



Рис. 9.34. Известняк кавернозный, ТСТ

На рис. 9.34 другой пример палеозоя, где каналы и каверны растворения – это фрагменты выщелоченных раковин беспозвоночных, в том числе бентосных.



Рис. 9.35. Известняк с отпечатком гастроподы, ТВС-ТСТ

На рис. 9.35 известняк имеет гемипелагический вид. Наличие бентосных организмов (гастроподы, улитки на фоне породы, образованной фораминиферами) говорит о более глубоководной обстановке, это конец трансгрессии и начало ТВС.



Рис. 9.36. Известняк органогенно-обломочный

На рис. 9.36 – что-то мелководное, либо ТСТ, либо верхняя часть секвенции, мелеющий кверху ряд просеквенцев, последовательность осадков. Это уже либо вторая половина ТВС или ее аналоги.



Рис. 9.37. Известняк глинистый, ТВС

На рис. 9.37 – ТВС, не видим бентосных (цельнораковинных) организмов, видим детрит, иклокожих, фрагменты стеблей морских лилий и иглы морских ежей. Это говорит о глубоководных отложениях – это глубокий шельф, 100-200м, ТВС.



Рис. 9.38. Известняк органогенно-обломочный с кавернами, ТВС

На рис. 9.28 видим каверны по следам явно крупных организмов (макрофауна: двустворчатые, брюхоногие моллюски, брахиоподы и др.). Это может быть вторая половина ТВС, когда последовательность осадков мелеет кверху.



Рис. 9.39. Известняк органогенно-обломочный

На рис. 9.39 не видим практически ничего, кроме фораминиферов, поэтому это можно интерпретировать как что-то глубоководное, ТВС.



Рис. 9.40. Известняк пелитоморфный, нефтенасыщенный, ТВС

Многие из пористых известняков являются хорошими коллекторами для углеводородов (рис. 9.40). По таким образцам идет высачивание нефти, это пример породы-коллектора. Также известняки могут быть коллекторами воды. Это ТВС, известняк без макрофауны. Каверны и трещины заполнены битумом и нефтью.



Рис. 9.41. Песчий мел, ТВС

На рис. 9.41 – типичный пелагический литотип, петротип известняка, состоит исключительно из планктона с карбонатным цементом. Это ТВС, относительно глубоководные осадки, т.к. макрофауны совсем нет.



Рис. 9.42. Мрамор, ТВС

Если пясчий мел или известняк будет метаморфизован, то можем получить мрамор (рис. 9.42). Это также глубоководный ТВС.



Рис. 9.43. Известняк комковато-слоистый, ТВС



Рис. 9.44. Глина пестроцветная, TVC

На рис. 9.44 – средняя часть воскресенской свиты, TVC.



Рис. 9.45. Алевролит

На рис. 9.45 – алевролит, сама по себе эта порода, так же как и песчаник и глина, может формироваться в разных обстановках. Необходимо смотреть на то, что снизу и что сверху, сама по себе порода ни о чем не говорит. Но если в алевролите нет

макрофауны и есть морская микрофауна, то его можно интерпретировать как ТВС. Если есть морская макрофауна – ТСТ, что-то мелководное. Если фауны пресноводная – континентальная обстановка, аналог ТНС.

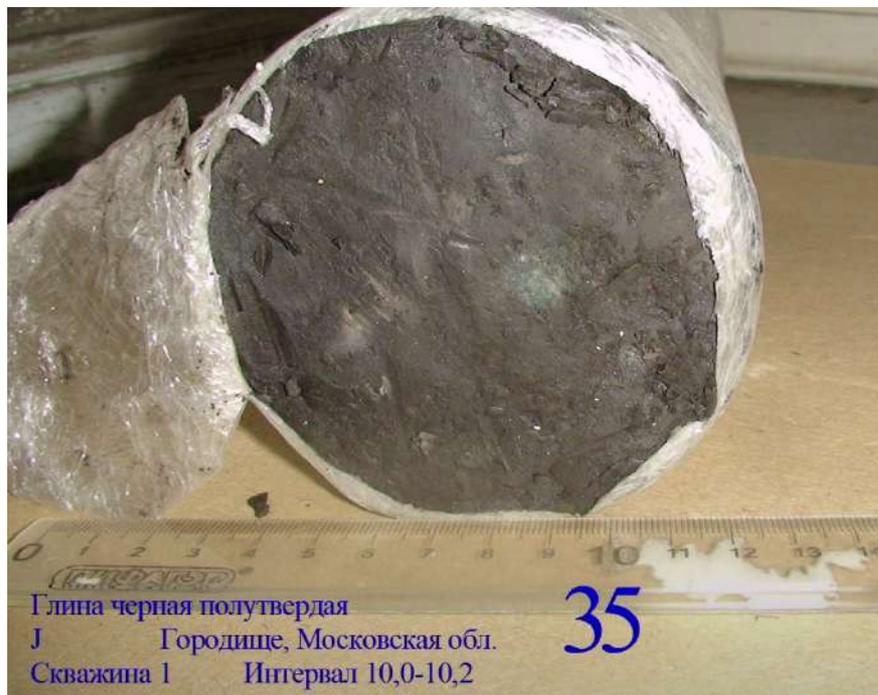


Рис. 9.46. Глина черная полутвердая

На рис. 9.46 – морские отложения, нет макрофауны, а значит глубоководные отложения, ТВС. Если бы видели моллюсков, аммониты, то можно бы было говорить о мелководной морской обстановке, мелком шельфе, глубина до 100 м, аналог ТСТ.



Рис. 9.47. Глина красная, ОШТ

На рис. 9.47 – неверовская свита, верхняя треть разреза, аналог второй половины ТВС. Если бы мы были на окраине системы тракта шельфовой окраины, то это уже мелеющая кверху последовательность осадков, совершение разреза, история развития свиты и секвенции.



Рис. 9.48. Глина коричнево-красная, ОШТ

То же самое для воскресенской свиты (рис. 9.48), мелеющая кверху последовательность осадков.



Рис. 9.49. Известняк органогенно-обломочный, ОШТ

На рис. 9.49 – мелководная мелеющая кверху последовательность осадков.



Рис. 9.50. Гипс

Иногда образуются лагунные и даже хемогенные осадки (рис. 9.50), там может накапливаться гипс. Это говорит о том, что мы подошли к концу разреза секвенции: сначала были мелководно-морские организмы и осадки, потом глубоководные, ТВС, потом мелеющая кверху последовательность и далее – образования, характерные для крайне мелководной обстановки.

Цель знакомства с такой коллекцией – это освежение знаний и навыков по литологии, петрографии, седиментологии. Этот курс помогает при работе со скважинами, описании разрезов, при анализе каротажных диаграмм, реконструкции условий осадконакопления.

9.3. Выводы

- 1) Существует более-менее четкая связь между седиментологией пород и эвстатическими вариациями;
- 2) Не все осадки и породы, а следовательно, и не всегда данный метод дает точную оценку палеобатиметрии и ее вариаций (необходимо комбинировать с другими методами).

Семинар 10

Выделение секвенций и систем трактов в керне и на обнажении

10.1. Знакомство с литолого-палеонтологической коллекцией

Изучая материал обнажений, керна, мы можем понять в каких отложениях мы находимся с точки зрения секвентной стратиграфии.

Задачи:

- 1) Знакомство с литолого-палеонтологической коллекцией.
- 2) Установление связи между литолого-палеонтологическими характеристиками породы и эвстатическими вариациями.



Рис. 10.1. Континентальный красноцветный песчаник

На рис. 10.1 – образование из типичного ТНС и заполнения врезанной долины (о ней мы будем говорить в начале лекции и в конце). Красноцветность – окисление железосодержащих минералов в кислородсодержащей атмосфере. Бывают также красные глины, но они, как правило находятся на гораздо больших глубина, поэтому такие отложения секвентная стратиграфия не изучает.

Для четвертичных отложений тоже применимы методы секвентной стратиграфии, например, современных разрезов, в том числе мощных, типа современных р. Лены и р. Енисея. Они несут свой обломочный материал в акваторию Северного Ледовитого

океана, где образуются клиноформы, мощные толщи, например, известная Лескинская толща.



Рис. 10.2. Костные остатки рыб

Помимо литологического анализа, требуется контроль и ископаемой фауны, по которой можно уточнить, где мы находимся. Находки рыб или рыб вместе с брюхоногими и двустворчатыми моллюсками при полном отсутствии иглокожих, головоногих моллюсков (рис. 10.2) говорят о том, что это континентальные пресноводные отложения. Бывает, что в результате течения в одно место сносится большее количество останков умерших организмов, хотя в действительности они не обитали там в такой численности.



Рис. 10.3. Песчаник, трансгрессивная поверхность, твердое дно

На рис. 10.3 песчаник, он прочный и слегка мероморфизованный. Это типичная трансгрессивная поверхность. Идет развитие трансгрессивного системного тракта, морские воды проникают все дальше и дальше.



Рис. 10.4. Песчаник с фрагментом древесины, ТСТ

В г. Камышин находят большое количество остатков флоры. Логично предположить, что фрагмент древесины (рис. 10.4) – это континентальная обстановка либо крайне мелководно-морская рядом с крупной речной системой, хотя известны факты того, что отдельные фрагменты могут проплывать огромное расстояние. В процессе своего путешествия ствол дерева может затонуть, и мы найдем его вместе с морскими, или даже в составе глубоководно-морских отложений.



Рис. 10.5. Песчий мел с фосфоритом, ТСТ1

Распространяющаяся трансгрессия почти всегда с несогласием перекрывает более древние отложения, в результате в основании различных свит мы можем найти, например, фосфоритовые желваки (рис. 10.5). Они часто характеризуют границу между свитами, и это часто используется как один из картировочных признаков при государственном геологическом картировании. На рис. 10.5 – самое начало трансгрессии, самый низ разреза. Это важно, поскольку, например, при описании разреза мы понимаем, что выше у нас регрессивная система осадков, мелеющая кверху последовательность, потом вдруг снова начинается трансгрессивная система, а между ними мы не нашли хардграунд, выше него – опесчаненный мел, мел в фосфоритами или осадки с галькой более древних пород. Это дает возможность предположить, что керн был, но по каким-то причинам, например из-за слабоцементированности породы, при бурении разрушился. Но, помня, что он должен быть, потом на каротажной диаграмме мы увидим наличие осадков, и по изменению свойств на параметрических кривых, полученных при каротировании скважины, мы увидим, что там были базальные слои с фосфоритовыми желваками или с галькой нижележащих пород.

Образец на рис. 10.5 характеризует средний турон при трехчленном делении отложения туронского яруса. Этот уровень лежит в основании геохронной границы, в одних местах которой на Воронежской антиклизе он отвечает началу турона, а в Ульяновско-Саратовском прогибе – середине турона. Это говорит о том, что трансгрессия развивалась постепенно.



Рис. 10.6. Трансгрессивная поверхность

На рис. 10.6 четко видно, как один слой (песчаник) ложится на другой (известняк). Это тоже отложения среднего турона, Кавказ.



Рис. 10.7. Разрез. Нижняя Банновка

На разрезе на рис 10.7 видим отложения ТСТ, сеноманская секвенция представлена только одним системным трактом – трансгрессивным. Туронская секвенция представлена трансгрессивным системным трактом высокого стояния, писчий мел. В основании – песчанистый мел с фосфоритовыми желваками (рис. 10.5). В сеноманской секвенции верхняя часть, соответствующая ТВС, отсутствует. Она разрушена эрозионными последствиями, в частности следующей за сеноманом туронской трансгрессии. Важно уметь разделять секвенции! На рис. 10.7 одним из критериев, который не позволит нам спутать секвенции, будет наличие фосфоритовой плиты, лежащей поверх перерыва.



Рис. 10.8. Устричная банка, ТСТ

При развитии трансгрессии в крайне мелководных условиях мы встречаем большое количество различных банок (рис. 10.8) – брахеоподовых, устричных, которые можно встретить практически в любых отложениях. На рис. 10.8 образец позднесеноманских отложений в Саратовской области. Устрицы, как правило, живут на небольшой глубине, не более 50 м, поэтому при реконструкции палеографических обстановок можно ориентироваться на такие цифры.



Рис. 10.9. Разрез. Нижняя Банновка

На рис. 10.9 видно в отличном от рис. 10.7 сечении, что если бы не горизонт, который отвечает несогласию, то в целом визуально казалось бы, что вся песчанистая часть – ТСТ, а далее идет ТВС. На самом деле это две разные секвенции.



Рис. 10.10. Устрица

Живое ископаемое на рис. 10.1 живет и сейчас и известно с мезозойских времен. Образец был найден при бурении скважины в Имеретинской низменности, когда строились объекты зимней Олимпиады Сочи-2014. Данная раковина используется стратиграфическом, биостратиграфическом датировании осадков при расчленении разрезов скважин. С точки зрения палеографической интерпретации это крайне мелкозернистые отложения, либо ТСТ, либо мелеющая кверху осадочная последовательность типа СТШО, если мы находимся на окраине, либо вторая половина тракта высокого стояния, если мы находимся на платформе.



Рис. 10.11. Песчаник кварцитовидный, ТСТ

Мелкозернистый песчаник на рис. 10.11 характеризует ТСТ.



Рис. 10.12. Железистый песчаник, ТСТ

На рис. 10.12 порода крайне разнородная, гетерогенная, содержит большое количество различных материалов, иногда даже литопластов, горных пород. Это говорит о том, что мы находимся рядом с береговой линией, с источником сноса, куда проникают трансгрессирующие воды, рядом с которыми находятся палеоподнятия, с которых ветром и реками сносится этот материал бассейна осадконакопления. Чем-то напоминает мусорный облик отложений мангушской свиты, которая находится рядом с базой МГУ в Крыму в селе Прохладное.



Рис. 10.13. Песчаник кварцитовидный, ТСТ

На рис. 10.13 – мелководно-морские отложения, песчаник с глуконитом, имеющий характерную окраску. Глуконит – это индикатор морской или океанической среды. Обломки моллюсков говорят о небольшой глубине в условиях ТСТ.



Рис. 10.14. Алевритистая опока, ТСТ

Опока (рис. 10.14) – это порода, имеющая кремнистый состав. Можно сделать вывод, что было относительно холодно, и планктон в этом месте не могу сохраниться, если мы говорим о глубине карбонатной конденсации, хотя в данном случае это слишком глубоко для двусторчатого моллюска. Он мог быть снесен мутьевыми, турбидными потоками, но, если мы находимся в пределах Восточно-европейской платформы (Саратов, палеоген), то это относительно неглубокий бассейн. Видимо в то время температура в нем была не очень высокой, и в нем обитали тонкостворчатые раковины, состав планктона был в основном кремнистый, на что указывает характер этой биогенной породы. Размер моллюска относительно большой, а значит глубина – первые несколько десятков метров.



Рис. 10.15. Алевролит глинистый, ТСТ1

На рис. 10.15 – фрагмент керна из разреза байос-батских отложений, самое начало ТСТ. Видимы ходы доннороющих животных, что говорит о том, что воды в целом были обитаемы. Характер осадков – песчанистые глины или глинистые алевролиты. При условии того, что мы находимся в эмпирическом море, которое покрывало Восточно-Европейскую платформу, это относительно мелководная обстановка, самое начало ТСТ.

Дальше (рис. 10.16) мы можем видеть алевролит-глинистые осадки с растительным дейтеритом. Это говорит о том, что откуда-то сносился растительный материал – рядом была береговая линия или река, которая несла мелкие фрагменты бывших растений. Все это также говорит о крайне мелководной обстановке.



Рис. 10.16. Алевролит глинистый с растительным детритом, TST₂

Относительно более глубоководные осадки, хотя и все еще находящиеся в разрезе скважины, представлены на рис. 10.17. Мы невооруженным глазом видим тонкостенные двустворки, это говорит о продолжающемся увеличении глубины бассейна – от глинистых алевролитов переходим в глинам песчанистым с морскими двустворками.

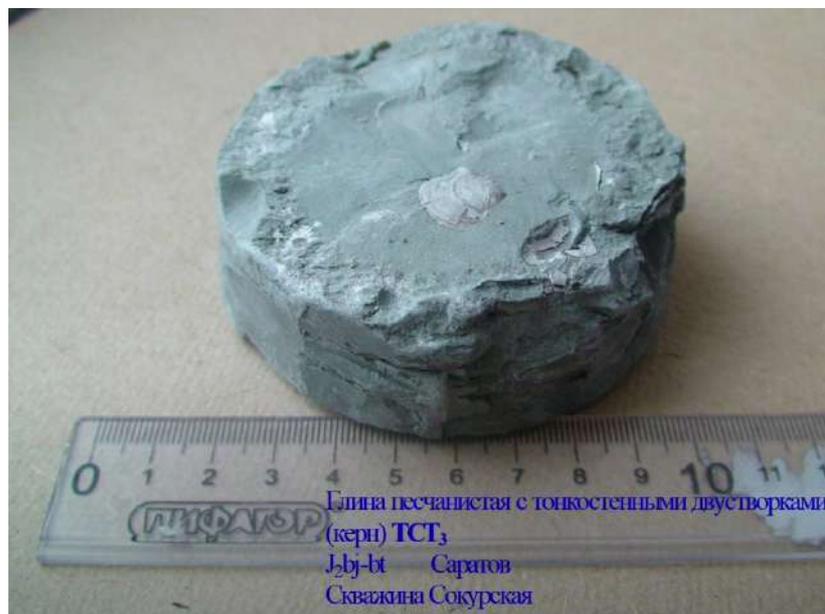


Рис. 10.17. Глина песчанистая с двустворками, TST₃

Если дальше продолжать ряд по мере углубления и развития трансгрессии, то на смену двустворчатым моллюскам в керне могли бы встретить более глубоководных головоногих моллюсков (рис. 10.18), хотя они в том числе распространяются с трансгрессией и населяют разные глубины. Экземпляр на рис. 10.18 говорит нам о том,

что трансгрессия продолжается, глубина бассейна в месте нахождения скважины продолжает увеличиваться, а береговая линия продвигается в пространстве все дальше и дальше. Поэтому в этом месте могла быть сначала прибрежная зона, затем мелкий шельф, сейчас условия среднего или глубокого шельфа (глубины 150-200 м).



Рис. 10.18. Известняк биокластический

На рис. 10.19 видим большое количество двустворок в биогенной породе (писчий мел состоит из раковин планктонных организмов – животных и водорослей с карбонатным скелетом). Это говорит о том, что воды здесь были теплые, а отличие, например, от опоки с двустворками (холодные воды). Если бы эти осадки не содержали двустворок, то это был бы типичный ТВС, это даже аналог не шельфа, а пелагической области. Но наличие двустворок говорит о завершении ТСТ.



Рис. 10.19. Писчий мел биотурбированный, ТСТ

По мере дальнейшего увеличения глубины в писчем мелу помимо двустворок появляются гетероморфные аммониты (рис. 10.20), головоногие моллюски. Трансгрессия продолжается. Если двустворки постепенно исчезнут и останутся только головоногие моллюски, можно будет говорить про отложения тракта высокого стояния.



Рис. 10.20. Песчий мел с аммонитом, ТСТ2

Образец на рис. 10.21 происходит с территории бывшей фабрики «Красный октябрь», ратмировская свита. Каверны выщелачивания возникают по многочисленным органическим остаткам в керне, т.к. ископаемые раковины живых организмов с карбонатным скелетом часто представлены органиком, разновидностью кальцита. Они растворяются лучше, чем собственно кальцитовый цемент. Процесс растворения идет от каверн к каналам, каналы идут по трещинам, и постепенно порода становится пористой – породой-коллектором (может быть коллектором воды, нефти). С точки зрения палеографических условий это мелководные отложения, ТСТ либо мелеющей кверху последовательности второй половины ТВС или СТШО (если разрез на окраине палеоматерика).



Рис. 10.21. Известняк кавернозный, ТСТ

Рис. 10.22 – тоже ратмировская свита. Встречена только одна гастропода, облик породы землистый, мелоподобный, напоминает писчий мел. Это похоже на осадки ТВС, но находки бентосных организмов, улиток говорит о том, что это может быть самый конец ТСТ – начало ТВС.



Рис. 10.22. Известняк с отпечатком гастроподы, ТВС-ТСТ

На рис. 10.23 видим большое количество ожелезненных каверн и каналов. Это крайне мелководные осадки.



Рис. 10.23. Известняк органогенно-обломочный

Такой анализ помогает работать на обнажении (рис. 10.24), где мы можем выделять секвенции. Мы видим блоки пясчег мела, известняков, мергелей, которые лежат у р. Волги и делают ее воды прозрачными на большую глубину, как это часто бывает на южном берегу Крыма. Видимо турон-коньякскую секвенцию, которые по трансгрессивной поверхности перекрываются ниже-сантонскими отложениями. Видно также, что цикличность практически отсутствует, породы представлены пясчим мелом – это ТВС. Чередующиеся пачки слоев – это начало нового цикла осадконакопления. Температуры в это понижаются, поэтому осадки более кремнистые.



Рис. 10.24. Разрез Нижняя Банновка

Рис. 10.25 – образец с эмпирических морей каменно-угольного времени в подмосковье. Есть детрит, но он в основном представлен многочисленными обломками стеблей морских лилий и иглокожих (одни из самых глубоководных животных). Поэтому данные условия можем интерпретировать как ТВС. В ТВС, когда уровень стабилизируется, а осадконакопление продолжается, осадки постепенно забивают бассейн осадконакопления, и глубина уменьшается. Тогда мы имеем мелеющую кверху последовательность и можем обнаружить известняки с большими кавернами.



Рис. 10.25. Известняк глинистый, ТВС

Если просто показать фрагмент керна на рис. 10.25, трудно сказать что-либо помимо того, что это мелководно-морская обстановка, скорее всего ТСТ. Но если мы анализируем всю совокупность керна, то мы можем сказать точнее, т.к. иногда это может оказаться концом ТВС.



Рис. 10.26. Известняк органогенно-обломочный

Яркий пример хорошего коллектора на рис. 10.27, московский ярус среднего карбона. Видим примазки нефти, битума внутри известняка – по трещинам и каналам растворения. Такое можно наблюдать, например, в Абхазии на верхне-юрских известняках, которые являются одним из известных уровней коллекторов для средниземноморского пояса. Там было много коралловых, рудистовых рифов, после которых остались высокопористые известняки, являющиеся хорошими коллекторами на углеводороды.



Рис. 10.27. Известняк пелитоморфный нефтенасыщенный, ТВС

Образец на рис. 10.27 позиционируется как ТВС, поскольку в тех местах, где они был доступен для изучения, шельф литоморфный, растворение шло по каналам, а макрофауна практически отсутствует. Весь биогенный карбонат в этом известняке образован фораминиферами.

На рис. 10.28 – фрагмент сантонской секвенции, лежащий поверх турон-коньякских карбонатных осадков. Видим характерный излом с белемнитом, и больше никаких бентосных животных – двустворок, брахеопод, иглокожих. Такой фрагмент разреза на естественном обнажении или в керне можно интерпретировать как ТВС.



Рис 10.28. Опоковидный мергель с белемнитом, ТВС



Рис. 10.29. Писчий мел, ТВС

На рис. 10.29 турон-коньякские отложения, представленные писчим мелом, визуалью без макрофацны, иногда с редкой биотурбацией. Это типичный пример ТВС.

При нагреве карбонатных пород получаем метаморфические породы – мрамор (рис. 10.30). Выделение секвенций в породах, находящихся в подвижных поясах и испытавших барическое и термическое воздействие, благодаря тектоническим деформациям и мощным инъекциям интрузий иногда возможна, если степень мероморфизации осадков невысокая.

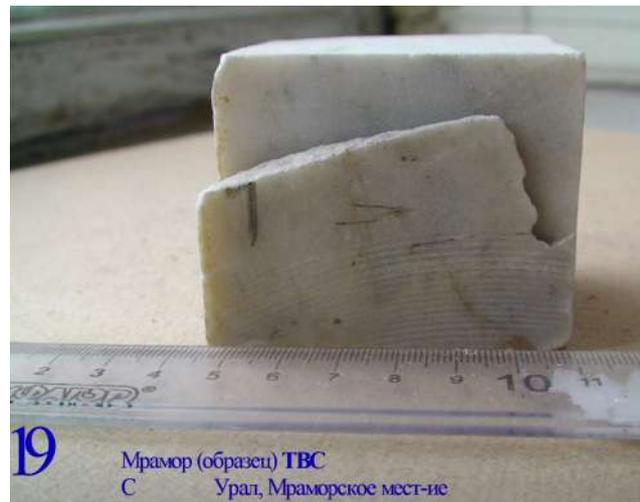


Рис. 10.30. Мрамор, ТВС

Многие из продемонстрированных образцов происходят из района бывшей фабрики «Красный октябрь» на Берсеневской набережной (рис. 10.31). Мы видим, что можно выделять разные системные тракты. Если бы мы находились на окраине платформы, то конец отложений, венчающих разрез секвенции, мы бы интерпретировали как СТШО. Но если мы находимся на платформе, то его правильно интерпретировать как ТВС2.

ТСТ как правило представлена известняками с многочисленными кавернами и каналами выщелачивания, которые показывают, что условия были крайне мелководными, а глубина была небольшая, около 50 м. Дальше макрофауны становится существенно меньше, появляется больше иглокожих, местами кроме фораминифер ничего не встречается – это типичный ТВС. В представленных глинах свитах, в их базальной трансгрессивной части можем встретить пакеты переслаивания доломитов, глин, мергелей, известняков – это мощная толща ТВС. Верхняя часть – это то же самое, что мы видим внизу, но в обратной последовательности. Иногда ТСТ по мощности может быть больше, а верхушка секвенции, которая отвечает регрессии, меньше. Причин может быть несколько: регрессия происходит быстрее, чем трансгрессия, новая секвенция – в момент перерыва осадконакопления могла все накопившиеся осадки могли быть разрушены, и новая трансгрессивная поверхность «съест» более древние осадки.

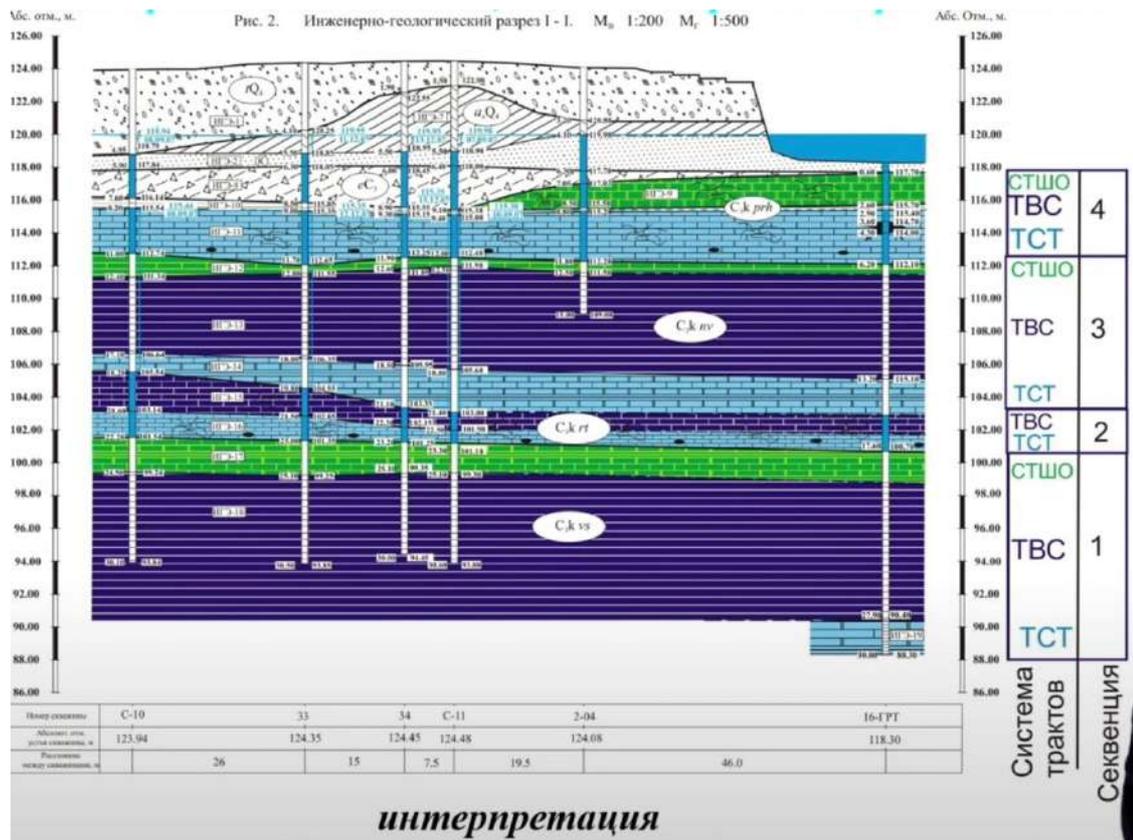


Рис. 10.31. Инженерно-геологический разрез

Красная глина на рис. 10.32 характеризует ТВС, мелющую кверху осадочную последовательность. Например, в таких глинистых свитах как воскресенская или неверовская. В разрезе они чередуются с более карбонатными свитами – это говорит о наличии эвстатических вариаций более высокого порядка, которые в конечном итоге влияют на глубины бассейнов осадконакопления. Иногда это определяется климатом: влажный – больше глинистых осадков, сухой – больше карбонатных.



Рис. 10.32. Глина красная, ОШТ

На рис. 10.33 верхняя часть ТВС, или мелеющий к верху набор парасиквенсев. Экземпляр из воскресенской свиты. Выше этих свит мы находим органогенно-обломочный известняк (рис. 10.34) – это завершение ТВС.



Рис. 10.33. Глина, ОШТ



Рис. 10.34. Известняк органогенно-обломочный, ОШТ

Кораллы живут в воде при температуре не менее 20 и не более 30 градусов, что помогает при реконструкции палеотемператур. Колониальные кораллы (рис. 10.35) – это

стеногалинные организмы, поэтому диапазон нормальной солености – 33-35 ‰. Они живут только в чистой воде, что крайне благоприятно при реконструкции палеографических условий и обстановок. Находки таких кораллов говорят о крайне мелководной обстановке, как правило ТСТ, либо самом конце развития свиты, где мелководная обстановка связана с регрессией. В средней, глубоководной части свиты, кораллов мы не видим. Одиночные кораллы характеризуют примерно такие же палеографические условия.



Рис. 10.35. Колониальный коралл

Губки (рис. 10.36) могут жить и в пресной, и в морской воде. Коралловые рифы никогда не являются чисто коралловыми, на них живет большое количество организмов-симбионтов – черви, рудисты, мшанки, губки. Но если условия становятся неблагоприятными, то сразу появляются губки и мшанки, являющиеся эвригалинными организмами. Изменение солености мы можем интерпретировать как изменение климата либо эвригалинного уровня осадконакопления в бассейне. Если мы встречаем только губки, то среда глубоководная, либо же это может быть любая глубина, но с нестабильными условиями.



Рис. 10.34. Губка

Когда мы находим гипс (рис. 10.35), который часто встречается в разрезах Юрских отложений московской синеклизы. Это крайне мелководная обстановка, засушливый тип климата.



Рис. 10.35. Гипс

Современные речные системы, их эрозионные врезы в том числе на платформах и неотектонический этап. Их изучение позволяет показывать этапы эрозионного вреза, когда мы выделяем террасы, террасные уровни, и с позиции секвентной стратиграфии *четвертичные отложения* тоже можно изучать. Это отложения либо врезанных долин, либо на дельтовой части современных рек мы будем видеть мощные клиноформы – в устьевой части больших рек они могут достигать сотни метров.

На рис. 10.35 современные четвертичные континентальные речные отложения, они могут быть представлены супесями. Когда они окаменеют, то превратятся в глины, алевролиты, которые будут находиться в разрезах палеодолин.



Рис. 10.35. Супесь

Их не нужно путать с ледниковыми отложениями, которые могут быть представлены в Московской области, например, кирпично-красными суглинками московского горизонта (рис. 10.36), так называемая московская морена. В ископаемом состоянии морена называется *теллитами*, они имеют важное значение для определения климата, помогают решать проблемы сопоставления морских и континентальных отложений, когда, например, ледник сползает с суши в акваторию. Если мы находим теллиты в Южной Америке, Австралии, Индии, Антарктиде и Африке, а когда-то они все были вместе в составе Гангваны, то можно сделать вывод о существовании супер-материка, после раскола которого молодыми океанами (Атлантическим и Индийским) фрагменты были разобщены. Это является литологическим обоснованием такой мобилистской концепции.



Рис. 10.36. Суглинок



Рис. 10.37. Супесь

Рядом с ледниковыми отложениями мы встречаем водно-ледниковые отложения, которые, как правило, формируются при таянии ледников и образовании больших озер на их месте. Это может быть после последнего оледенения или между фазами оледенения. В результате накапливаются озерные осадки – разные глины, суглинки и супеси (рис. 10.37).



Рис. 10.38. Глина черная полутвердая

Когда происходит трансгрессия морских отложений, то в разных палеодолинах, когда-то принадлежавших рекам из пермского и триасового времени, в районе Московской обл. мы можем встречать юрские отложения, которые будут сначала заполнять долины, а потом перекрывать чехлом огромные площади. Одним из примеров служит черная глина на рис. 10.38, которую мы встречаем в оксфордских отложениях и в отложениях волжского или титонского яруса.

Курс «Секвентная стратиграфия» связан с курсами «Историческая геология», «Нефтегазоносные бассейны мира», в котором мы обсуждаем основные уровни нефтегазоматеринских пород и уровни, где продуцированные из них углеводороды в конечном итоге могли накопиться. Этот курс также связан с курсом «Инновационное недропользование», которые тоже освещает проблемы связанные с разработкой трудноизвлекаемых запасов из ачимовской толщи и баженовской свиты.



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ