

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Кафедра палеонтологии и стратиграфии*

**С.О. ЗОРИНА  
Н.И. АФАНАСЬЕВА**

**Учебно-методическое пособие**

**СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЯ КАРБОНАТНЫХ  
КОМПЛЕКСОВ**

**(Материалы к лекциям. Практические задания)**

**Казань – 2020**

**УДК 551.7(075.8)**

*Принято на заседании кафедры палеонтологии и стратиграфии  
Протокол № 4 от 20 января 2020 г.*

**Рецензенты:**

доктор геолого-минералогических наук,  
заведующий кафедрой палеонтологии и стратиграфии **В.В. Силантьев**  
кандидат геолого-минералогических наук,  
зав. отделом ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» **Е.В. Беляев**

**Зорина С.О., Афанасьева Н.И.**

**Секвенс-стратиграфия карбонатных комплексов. (Материалы к лекциям. Практические задания) / С.О. Зорина. – Казань, 2020 – 34 с.**

Учебно-методическое пособие предназначено для лекционных и практических занятий с магистрантами Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, обучающимися по направлению подготовки «Геология», профилю – «Стратиграфия нефтегазовых бассейнов». В учебном пособии рассматриваются классификации карбонатных пород, фациальные обстановки накопления карбонатных толщ, основные положения секвенс-стратиграфии, модели строения карбонатных секвенций и их соотношение с фациями. В первой части пособия кратко изложен лекционный материал, необходимый магистрантам для успешного освоения материала по курсу. Во второй части приведены задания по практической части курса. Основные разделы пособия составлены с привлечением опубликованных теоретических разработок по секвенс-стратиграфии, находящихся в свободном доступе, практических примеров интерпретации геологических данных с применением секвенс-стратиграфического подхода. Приведены темы рефератов и контрольные вопросы для подготовки к зачету.

© Зорина С.О., Афанасьева Н.И. 2020

© Казанский университет, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. Материалы к лекциям.....	4
Лекция 1. Классификации карбонатных пород.....	4
Лекция 2. Фациальные обстановки накопления карбонатных отложений. Глубоководные фации.....	8
Лекция 3. Фациальные обстановки окраины и внутренней части платформ. формы.....	16
Лекция 4. Карбонатные фации и секвенс-стратиграфия .....	23
Библиографический список.....	28
Перечень информационных ресурсов.....	28
Часть 2. Практические задания.....	29
Задание 1.....	29
Задание 2.....	29
Задание 3.....	30
Задание 4.....	31
Задание 5.....	32
Задание 6.....	33
Вопросы к зачету.....	34

## ЧАСТЬ 1. МАТЕРИАЛЫ К ЛЕКЦИЯМ

### Лекция 1. Классификации карбонатных пород

Классификация карбонатных пород Фолка. Классификация карбонатных пород Данхема. Классификация карбонатных пород Эмбри и Клована

Широко используются классификации Фолка и Данхема (Folk, 1959, 1962; Dunham, 1962). Обе классификации основаны на составе и количестве матрикса (рис. 1, 2).

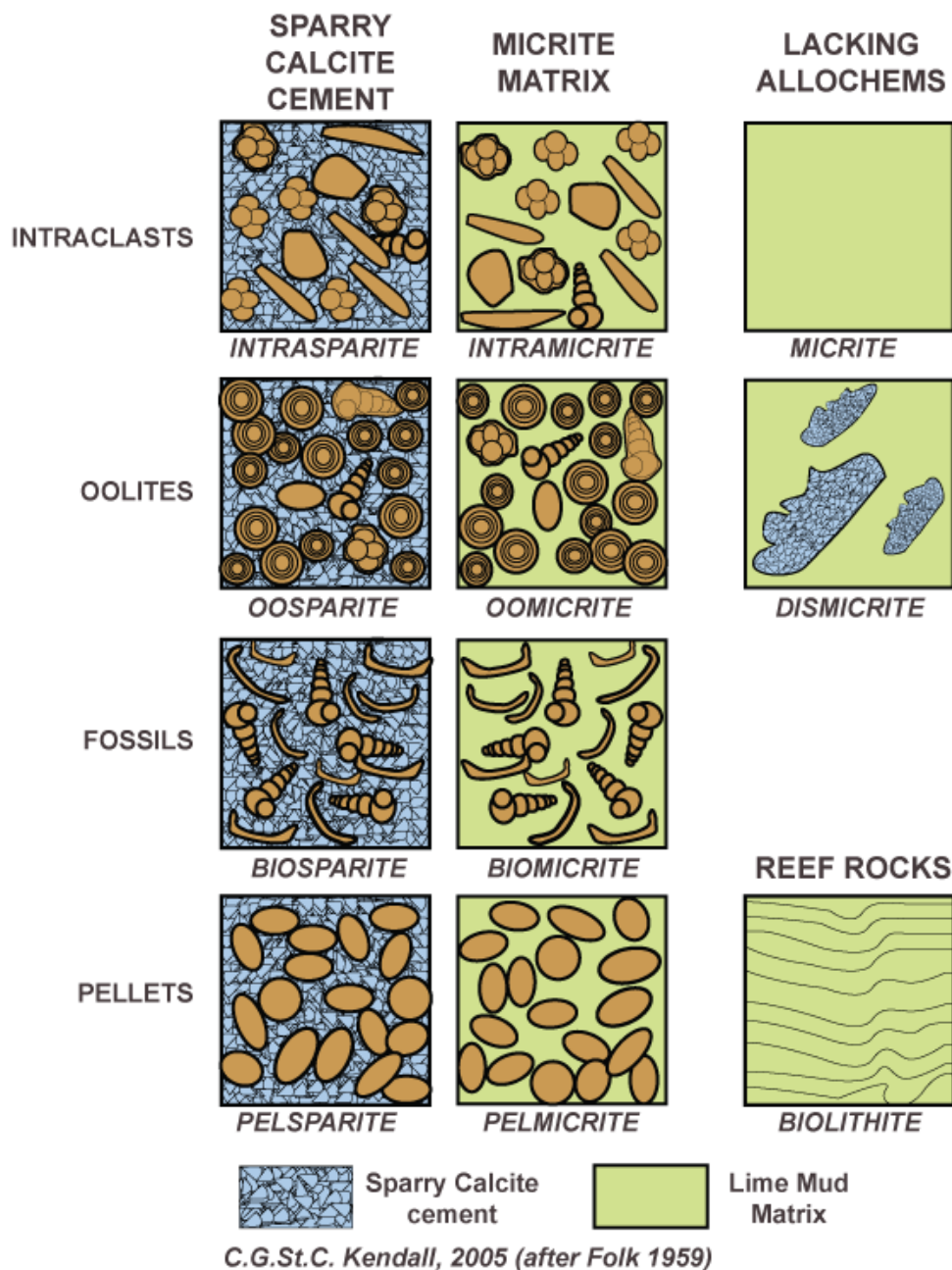


Рис. 1. Классификация Фолка на основе состава матрикса (Kendall, 2005 after Folk, 1959)

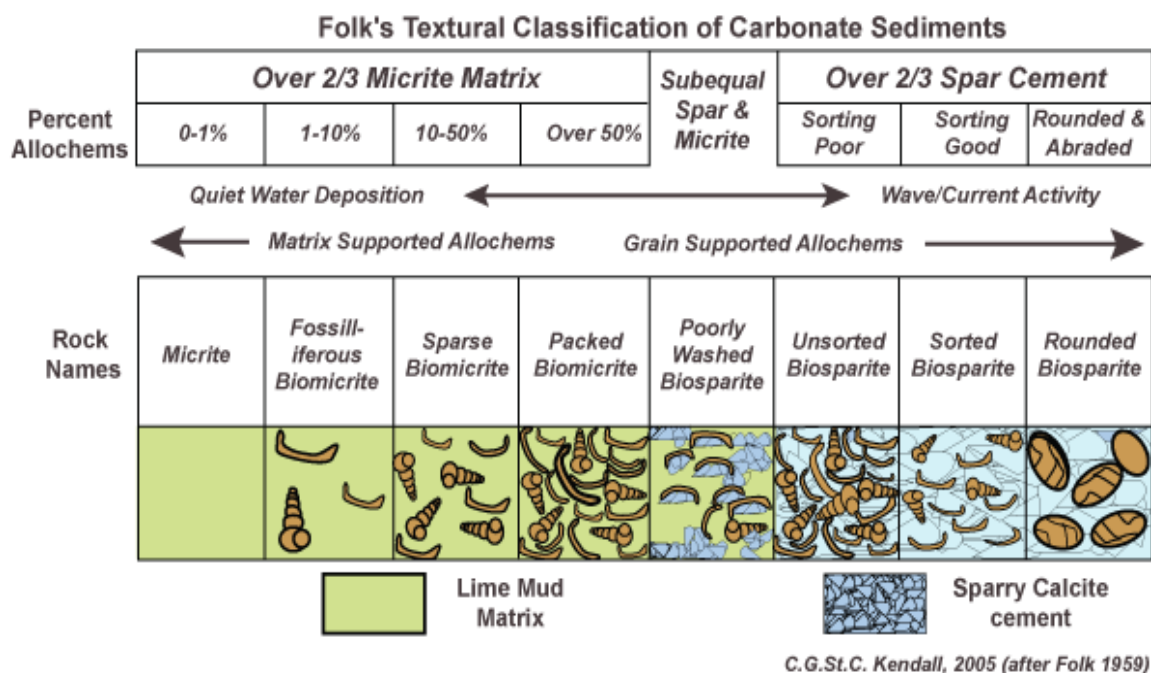



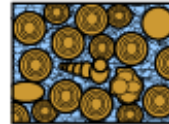
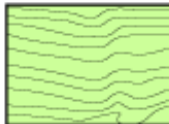


Рис. 2. Структурная классификация карбонатных осадков Фолка (Kendall, 2005 after Folk, 1959)

Если известняки содержат более 10% обломочных карбонатных зерен, Фолк их относит к **аллохимным породам** (allochemical rocks).

Затем по процентному содержанию и составу матрикса Фолк выделяет 2 группы: **спаритовые аллохимные известняки**, содержащие спаритовый кальцитовый цемент (мозаичные хорошо раскристаллизованные зерна кальцита) и **микрористаллические аллохимные известняки**, содержащие мельчайшие зерна кальцитового ила, микрита, который не просвечивает в шлифах (размер зерен не более 5 микрон).

**Классификация Данхэма** (рис. 3) и ее дальнейшие модификации, выполненные Эмбри и Клованом (1971) и Джеймсом (James, 1984), основаны на особенностях структур карбонатных пород (рис. 4).

Original components not bound together at deposition				Original components bound together at deposition. Intergrown skeletal material, lamination contrary to gravity, or cavities floored by sediment, roofed over by organic material but too large to be interstices
Contains mud (particles of clay and fine silt size)		Lacks Mud		
Mud-supported		Grain-supported		
Less than 10% Grains	More than 10% Grains			
<b>Mudstone</b> 	<b>Wackestone</b> 	<b>Packstone</b> 	<b>Grainstone</b> 	<b>Boundstone</b> 

C. G. St. C. Kendall, 2005 (after Dunham, 1962, AAPG Memoir 1)




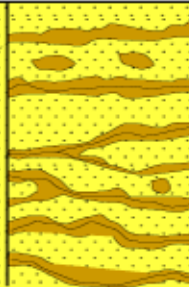
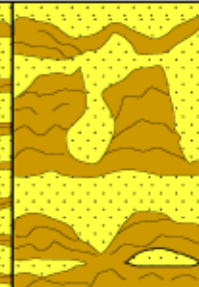
Рис. 3. Структурная классификация карбонатных осадков (Kendall, 2005 after Dunham, 1962).

Если зерна известняка касаются друг друга при отсутствии ила, порода называется **грейнстоуном** (grainstone).

Если в породе среди зерен присутствует немного илистого матрикса, она называется **пакстоуном** (packstone).

Если в породе присутствует более 10% зерен, она называется ***вакстоуном*** (wackestone), а если менее 10% зерен – то **мадстоуном** (mudstone).

В модифицированной **классификации Эмбри и Клована** вакстоун, в котором зерна более 2 мм, назван **флоутстоуном** (floatstone), а грубозернистый грейнстоун – **рудстоуном** (rudstone).

Allochthonous		Autochthonous		
Original components not bound organically at deposition		Original components bound organically at deposition		
>10% grains >2mm				
Matrix supported	Supported by >2mm component	By organisms that act as baffles	By organisms that encrust and bind	By organisms that build a rigid framework
Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone
				

*Textural classification of reef limestones after Embry & Klovan (1971) and James (1984)*

Рис. 4. Структурная классификация рифовых известняков Эмбри и Клована (Embry, Klovan, 1971) и Джеймса (James, 1984).

Эмбри и Клован в своей классификации отразили роль организмов. Рифовый баундстоун, выделенный Данхэмом, они разделили на **баффлстоун** (bafflestone), **байндстоун** (bindstone), и **фреймстоун** (framestone) в зависимости от разной функции организмов при формировании биогерма.

## **Лекция 2. Фациальные обстановки накопления карбонатных отложений.**

### **Глубоководные фации**

Схема стандартных фациальных поясов Уилсона. Бассейн. Шельф открытого моря. Глубоко погруженная окраина шельфа. Передовой склон. Биогерм. Три типа биогермных профилей. Отмученные пески края платформы. Шельфовая лагуна со свободным водообменом. Шельфовые фации ограниченной циркуляции. Платформенные эвапоритовые фации. Фациальные обстановки накопления карбонатных отложений. Пелагические осадки бассейнового склона. Турбидиты и обломочные потоки бассейнового склона. Карбонатные отложения бассейнового склона, формирующиеся на границе между мелководной платформой и глубоководными участками бассейна

Определение фациальной принадлежности карбонатных пород проводится по схеме стандартных фациальных поясов Уилсона (Уилсон, 1980) (рис. 5). Ниже приведено описание девяти поясов.

**1. Бассейновые фации** - фации некомпенсированной или заполненной впадины. Глубина слишком большая, освещенность недостаточная для того, чтобы обеспечить донное образование карбонатов. Осадконакопление зависит от количества привносимого глинистого и кремнистого материала и осаждающегося отмершего планктона. Могут создаваться эвксинные или застойные условия, а также условия повышенной солености.

### **2. Шельф открытого моря.**

Глубины достигают десятков или даже первых сотен метров. Течения обеспечивают хорошую циркуляцию и насыщенность кислородом. Соленость нормальная. Донные осадки лежат ниже нормального базиса действия волн, но штормы периодически затрагивают их.

### **3. Глубоко погруженная окраина шельфа.**

Фации глубокой окраины шельфа сформированы у подножия карбонатного шельфа за счет сносимого с него материала. Глубины, положение базиса действия волн и насыщенность кислородом приблизительно те же, что и в поясе 2.



Бассейн	Шельф открытого моря	Глубоко погруженная окраина шельфа	Передовой склон	Органическая постройка (биогерм)	Отмученные пески мелководья	Шельфовая лагуна со свободным водообменом	Шельф с ограниченным водообменом и приливно-отливные побережья	Эвапориты на соляных равнинах-себха	Фациальный профиль
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
		Потоки обломочного материала и тонкослоистые турбидиты. Илчистые купола на краю подводного склона	Гигантские обвалово-сползневые глыбы. Заполненные крупные лощины. Купола в нижней части подводного склона	Купола в нижней части подводного склона. Рифовые бугры. Лоскуты рифового известняка баундстоуна. Окаймляющие и барьерные каркасные рифы. Желоба и выступы	Острова. Дюны. Барьерные бары, проходы в рифах и проливы	Приливо-отливные дельты. Лагунные изолированные водоемы. Типичные шельфовые купола. Колонообразные водорослевые войлоки. Каналы стока и приливо-отливные бары, сложенные карбонатным песком	Затопляемые приливо-отливные побережья. Каналы и береговые естественные валы. Водоемы типа озер. Пояса водорослевых войлоков	Купола ангидритов. Текстура виглама. Листоватые корочки гипса. Салниас (засоленные лагуны) Себха (засоленные побережья)	Осадочные тела II порядка
1 Спиккулит 2 Микробиокластовый карбонатный алевролит 3 Пелагический микрит Радюляритовые сланцы	2 Микробиокластовый карбонатный алевролит 8 Целые раковины в микрите 9 Органогенно-обломочный вакстоун 10 Зерна с обломочной в микрозернистой массе	2 Микробиокластовый карбонатный алевролит 3 Пелагический микрит 4 Лито- и биокластовая микробрекчия	4 Лито- и биокластовая микробрекчия Литокластовый конгломерат 5 Биокластовый грейстоун и пакстоун Известняк с преобладанием основной массы-флуототуи 6 Рифовый грубообломочный известняк-рудстоун	7 Рифовый известняк (баундстоун) 11 Обломочный известняк с зернами с оболочкой 12 Ракушечник (ракушняк)	11 Обломочный известняк и с зернами с оболочкой 12 Ракушечник (ракушняк) 13 Оксидный биокластовый грейстоун 14 Остаточная брекчия 15 Оолиты	8 Целые раковины в микрите 9 Органогенно-обломочный вакстоун 10 Зерна с оболочкой в микрозернистой массе 16 Ступчатый кристаллический известняк (пельспарит) 17 Гроздьевидные оолиты в микрите-грейстоун 18 Фораминиферо-дактилокладцевый грейстоун	16, 17, 18, 19 Ступчатый тонкослоистый микрит с окончатой текстурой 24 Грубообломочный известняк эрозийных ложбин 21 Сложностратомовый микрит 23 Неслоистый чистый микрит 22 Инконадальный микрит	20 Строматолитовый микрит 23 Неслоистый чистый микрит Нодулярный ангидрит с энтеролитовой структурой Пластинки селенита в микрите	Стандартные микрофации

Рис. 5. Стандартные фациальные пояса Уилсона (1980).

**4. Фации передового склона карбонатной платформы** - морской коллювий). Склон расположен выше нижней границы насыщенных кислородом вод и выше или ниже базиса действия волн. Материал представлен обломками, отложившимися на склоне крутизной до 30 градусов. Осадки подвижны; размер обломочных частиц значительно варьирует. Слоистость характеризуется наличием оползневых текстур, раздувов, крупных глыб.

### **5. Биогерм**

Экологические особенности варьируют в зависимости от:

- энергии вод,
- крутизны склона,
- биологической продуктивности,
- степени развитости каркаса,
- процессов связывания элементов постройки и улавливания мелкозернистого материала между элементами каркаса,
- частоты осушения и последующей цементации.

Различают три типа профилей через линейные органогенные постройки окраины шельфа.

Тип 1 - скопление карбонатного ила и органогенных обломков на склоне.

Тип 2 - склон, усеянный рифами - буграми или холмами; строящие каркас организмы встречаются изолированно или образуют панцирь; они растут лишь до базиса действия волн и ограничивают накопление обломочного материала.

Тип 3 - каркасные кольцевые рифовые постройки, подобные современным кораллово-водорослевым сообществам с прикрепленными формами организмов, пересекающих при росте базис действия волн и достигающих зоны прибоя.

### **6. Перевеваемые (winnowed) или отмученные пески края платформы**

слагают отмели, пляжи, веера или пояса приливных баров (offshore tidal bars) или острова - дюны. Глубины колеблются от 5 или 10 м до нуля. Вода сильно насыщена кислородом, но неблагоприятна для жизни морских организмов из-за движения субстрата.

**7. Шельфовая лагуна со свободным водообменом** (морские платформенные фации) - проливы, открытые лагуны и заливы. Глубины обычно незначительны - максимум несколько десятков метров. Соленость может быть различна. Циркуляция вод умеренная.

**8. Шельфовые фации ограниченной циркуляции** включают главным образом тонкие осадки весьма мелководных отшнурованных бассейнов и лагун. Более грубые осадки встречаются в приливных каналах и на редких пляжах. Развит весь комплекс отложений приливной полосы. Условия разнообразны и в основном неблагоприятны для организмов. Воды пресные, соленые и сильно соленые. Встречаются осушающиеся участки, восстановительные или окислительные условия, морская и болотная растительность.

**9. Платформенные эвапоритовые фации** формируются выше зоны приливов, в отгороженных от моря водоемах. В областях с засушливым и жарким климатом образуются участки себхи, салин, соленых маршей. При испарении морской воды образуются как осадочный, так и диагенетический гипс и ангидрит. Море затопляет местность лишь временами.

**Карбонатные фации** образуются под действием процессов, активных в тех областях, где они образуются (рис. 6). Глубина бассейна, ветер, волны, течения, температура, химический состав воды, биологическая активность – все эти факторы влияют на фациальные особенности карбонатных пород.

**Диагенез** также играет важную роль в формировании и преобразовании карбонатных фаций. Карбонатные фации группируются в соответствии с обстановками их накопления и в зависимости от положения уровня моря.

Эти обстановки располагаются вдоль континентальных окраин, в пределах частично или полностью изолированных внутренних морей.

#### **Бассейн и склон. Пелагические осадки**

Пелагические карбонатные осадки образуются в условиях открытого моря, в фотической зоне, но ниже уровня воздействия волн.

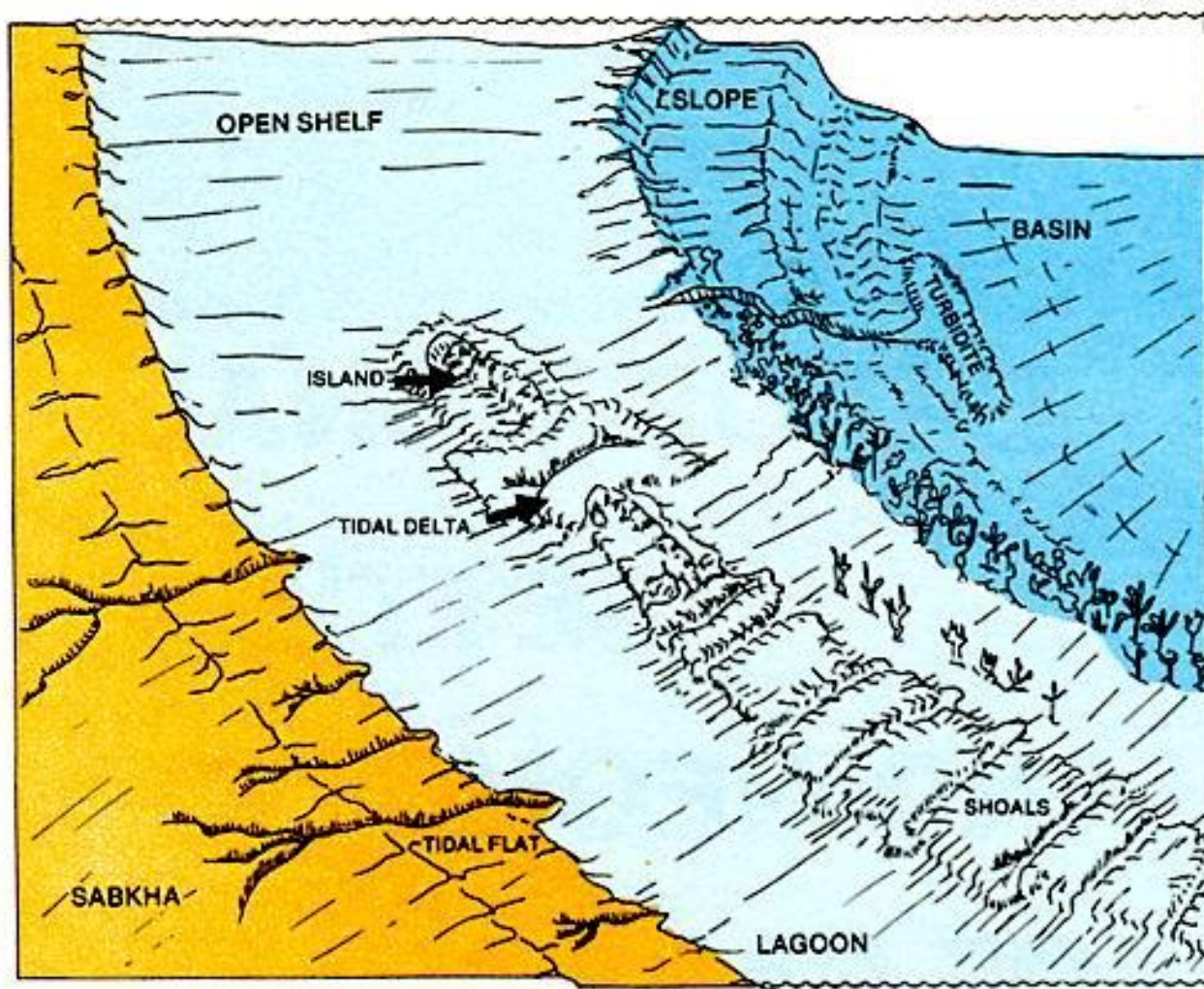


Рис. 6. Обстановки накопления карбонатных фаций

Количество пелагических карбонатов изменяется в зависимости от глубины, т.к. с увеличением глубины возрастает растворимость арагонитовых и кальцитовых скелетных частиц.

В современных океанах **арAGONИТ** растворяется на глубинах 500-1500 м, тогда как **КАЛЬЦИТ** - существенно глубже – 750-4300 м.

**Лизоклин** (Lysocline) – это глубина, на которой растворяется карбонат кальция. Он располагается на меньшей глубине, чем глубина компенсации карбоната кальция (Calcium Carbonate Compensation Depth - CCD) – глубина, на которой океанские осадки содержат менее 10% карбоната кальция.

В отложениях открытого моря обычно отмечается тонкая слоистость (5-10 мм).

Поверхности слоев обычно плоско-параллельные, иногда нодулярные, прослеживаются на значительные расстояния (рис. 7). Нодулярные текстуры глубоководно-морских карбонатов могут формироваться разными путями. Нодули могут быть результатом погружения, сжатия или химического растворения.

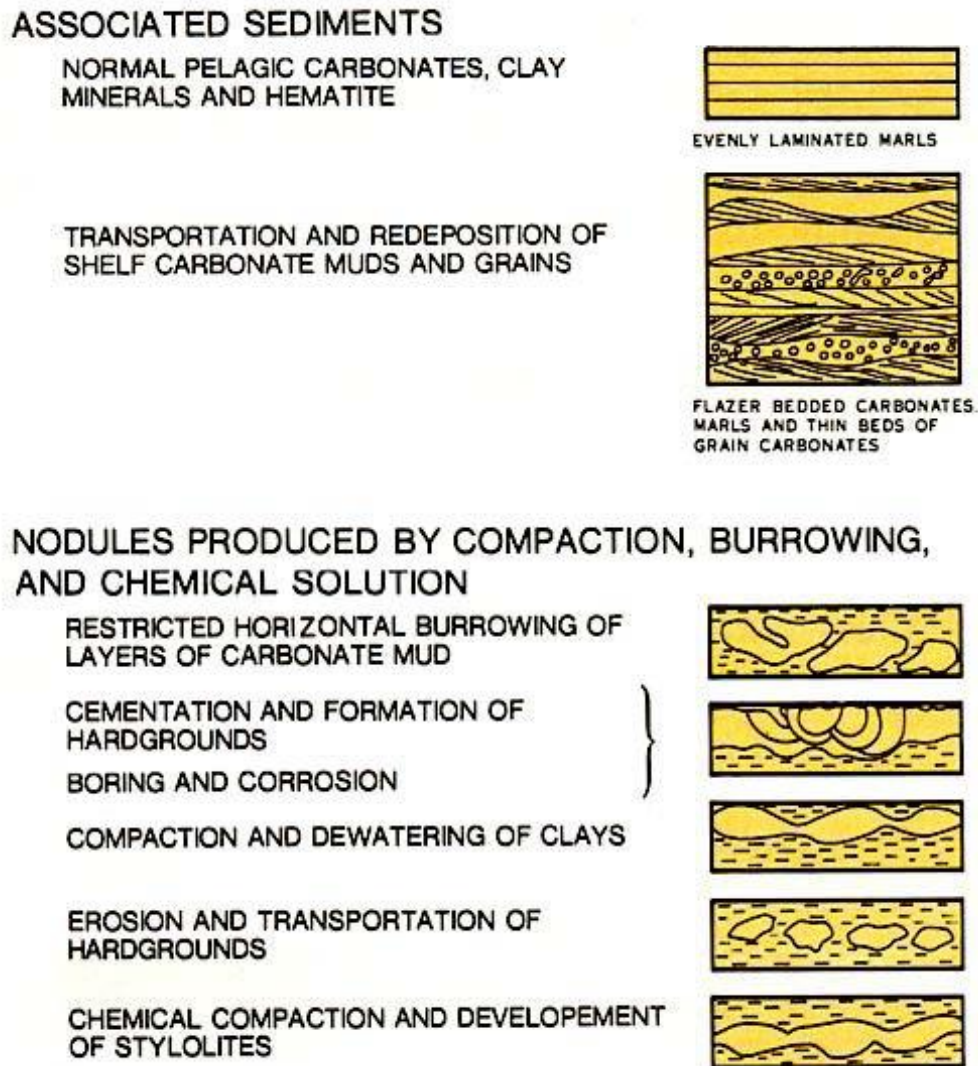


Рис. 7. Преобразование карбонатных нодулей в глубоководных осадках.

### Турбидиты и обломочные потоки

Турбидиты – это осадки, принесенные и переотложенные турбидитными потоками. Турбидиты могут переноситься на весьма значительные расстояния (рис. 8). Терригенные и карбонатные турбидиты имеют сходную текстуру.

Слоистость нерегулярная и прерывистая, т.к. осадок отлагается в каналах заполнения и в виде валов на дне бассейна. Состав осадка и размер зерна сильно изменяются и могут включать широкий спектр мелководной биоты, перемешанной со скелетами и обломками пелагических форм.

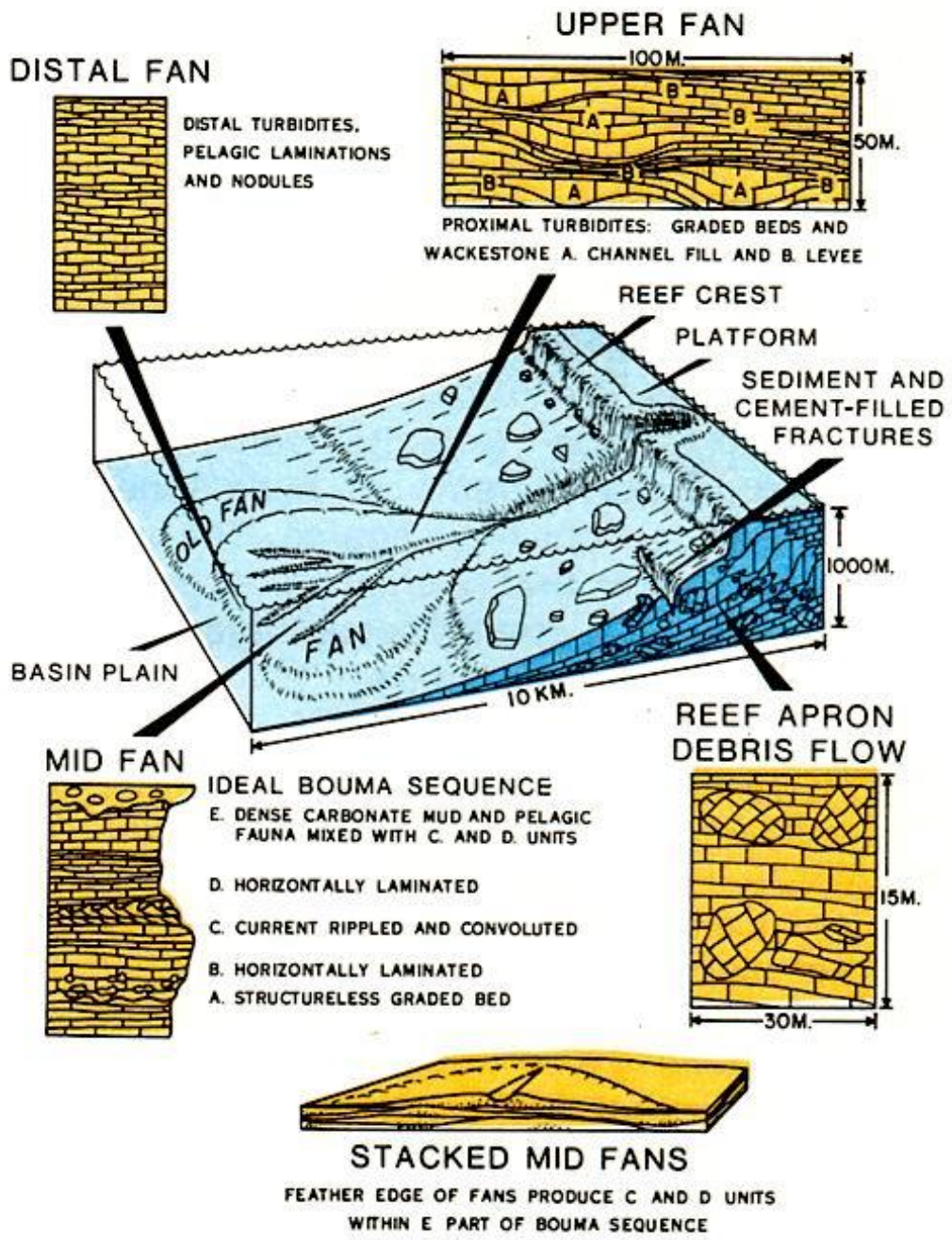


Рис. 8. Фациальная модель образования турбидитов и обломочных потоков

Карбонаты, образующиеся на границе между мелководной платформой и мелководным бассейном, - проксимальные карбонатные турбидиты (Prox-

imal carbonate turbidites) характеризуются массивными вакстоунами, в которых карбонатные зерна окружены известковым илом. Слоистость нерегулярная и прерывистая, т.к. осадок отлагается в каналах заполнения и в виде валов на дне бассейна. Состав осадка и размер зерна сильно изменяются и могут включать широкий спектр мелководной биоты, перемешанной со скелетами и обломками пелагических форм.

**Дистальные турбидиты** (Distal turbidites) характеризуются равномерной горизонтальной слоистостью. Такие турбидиты обычно включают прослой мергелей. Данные турбидиты отлагаются на окраинах подводных равнин, иногда на значительных расстояниях от источника.

**Отложения карбонатных обломочных потоков** (Carbonate debris flow deposits) характеризуются смесью угловатых разноразмерных обломков разнообразных литотипов. Они могут образовывать необычно ориентированную слоистость. Они представлены мегабрекчиями с блоками размером до 25x30 м в поперечнике или больше, погруженными в известковый или терригенный ил.

### Лекция 3. Фациальные обстановки окраины и внутренней части платформы

Окраина платформы: рифы, барьерные рифы, илесто-скелетные банки. Окраина платформы: башенные рифы, одиночные рифы и рифовые холмы, потенциальные резервуары и нефтематеринские породы. Внутренняя часть платформы: эпиконтинентальное море, лагуна или залив, приливная равнина, потенциальные резервуары и нефтематеринские породы

#### Платформенная окраина. Рифы или органические постройки

Рифы и органические постройки могут формироваться как в мелководных нормально морских условиях, в зоне образовавшегося на склоне разлома. Они также могут образоваться значительно ближе к суше, в условиях более глубокого внутреннего моря. Различают два вида рифов: протяженные вытянутые тела, параллельные окраине шельфа, или серии одиночных биогермов, которые могут формироваться по обе стороны от окраины шельфа (рис. 9).

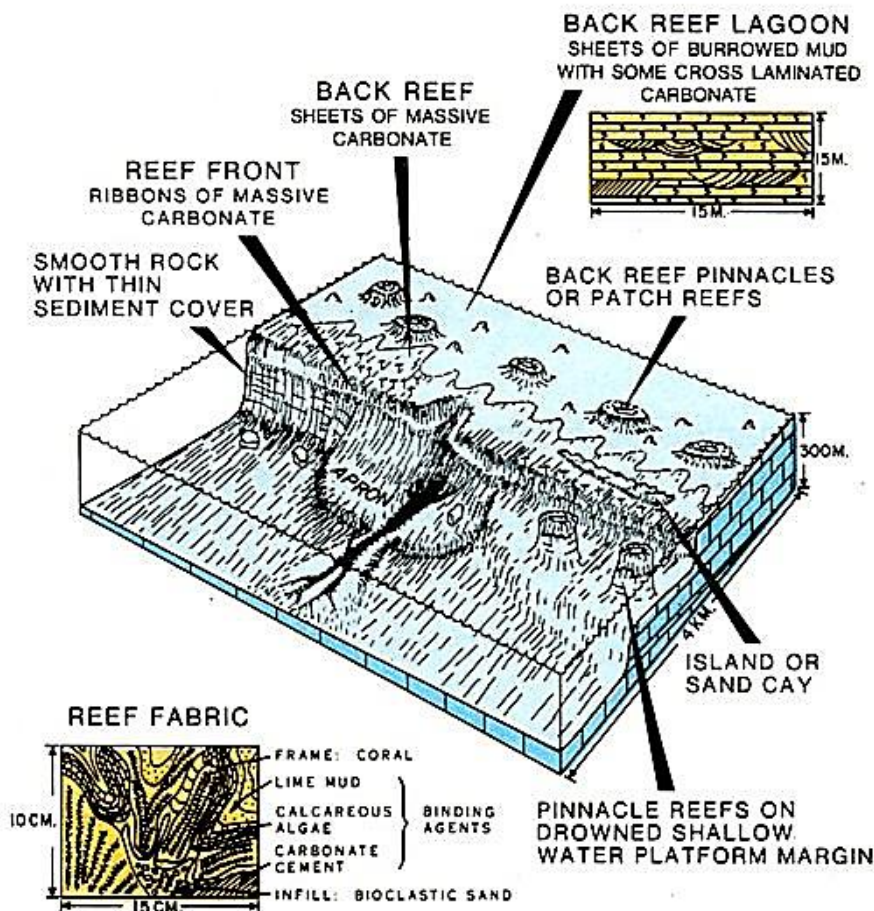


Рис. 9. Фациальная модель формирования рифов



**Рифы.** Геометрия рифов определяется изменениями уровня моря.

Во время высокого стояния моря строение рифа может быть как проградационным, так и аградационным. При падении уровня моря образуются осадки отступающего моря (forced regressive wedges), они перекрывают образовавшийся до этого широкий склон высокого моря.

### **Барьерные рифы и илесто-скелетные банки.**

**Барьерные рифы и илесто-скелетные банки** обычно образуются в условиях относительно неглубокого открытого моря, примерно на границе с застойными водами бассейна. Склон, на котором растут рифы, контролируется рельефом дна, сформировавшегося во время предшествующего этапа изменения уровня моря, положением разломов и соседством активных вод мелководья с застойными водами глубоководья.

**Барьерные рифы** обычно массивны, но всегда сопровождаются прерывистыми тонкими слоями осадков. Геометрию рифов можно охарактеризовать как толстые пласты или ленты, которые параллельны окраине шельфа. Мощность определяется изменениями уровня моря.

Важнейшие строители рифов – это кораллы, строматопоры, известковые губки, водоросли и рудисты.

**Илесто-скелетные банки** – это вытянутые массивные тела, которые могут формироваться как параллельно, так и перпендикулярно платформенной окраине. Их форма варьируется от холмов размером несколько квадратных метров, до массивных линейных поясов, протягивающихся на сотни километров вдоль окраины шельфа. Мощность банок изменяется от метра до 100 и более метров. Пласты могут быть толстыми до массивных и могут иметь как горизонтальное, так и наклонное залегание (клиноформы). Осадки древних банок могут состоять из известкового ила, а также из фоссилизованного карбонатного песка.

### **Башенные рифы, одиночные рифы и рифовые холмы (Pinnacles, Patch Reefs, Mounds)**

**Башенные рифы** образуются во время относительно быстрого повышения уровня моря, когда карбонатное осадконакопление происходит только локально

(в отдельных местах). Донное перемешивание незначительно влияет на формирование башенных рифов, одиночных рифов и рифовых холмов, поэтому организмы-строители в основном образуют скопления одинаковых форм (а не много разных в одном месте), тогда как каркасообразующие организмы менее развиты.

**Одиночные рифы** также отличаются от рифов шельфовых окраин, т.к. они более симметричны и менее ориентированы по направлению воздействия волн и ветра (рис. 10).

Одиночные и башенные рифы строятся организмами-строителями, тогда как **рифовые холмы** состоят из известкового алеврита и ила, захваченного и перенесенного губками, октокораллами, водорослями и криноидеями. Центральные части этих рифов обычно массивные или толстослоистые, тогда как фланги представлены неравномерно тонкослоистыми пластами.

Одиночные рифы представлены баундстоунами, образовавшимися in-situ и сложенными известковыми организмами. Каркас рифа представлен массивными и кавернозными известняками, пустоты выполнены известковым илом или цементом.

### **Потенциальные резервуары или нефтематеринские породы**

Основные месторождения углеводородов приурочены к древним одиночным рифам и илистым постройкам. Объем резервуара, приуроченного к одиночному рифу, строго ограничен, в отличие от окраинно-шельфовых рифов.

Это происходит потому, что пористые центральные части рифа со всех сторон ограничены относительно непроницаемыми отложениями окраин шельфа - бассейновыми сланцами или бассейновыми эвапоритами, связанными с трансгрессиями и падениями уровня моря, соответственно. Эти отложения как бы запечатывают риф, сохраняя УВ, но при этом новое поступление УВ в такой риф невозможно.

Примеры нефтяных месторождений в одиночных рифах известны в силуре бассейна Мичиган, девоне Западной Канады, Оренбуржья России.

(ASSUMING UNIFORM RATE OF TECTONIC SUBSIDENCE FOR PLATFORM AND BASIN )

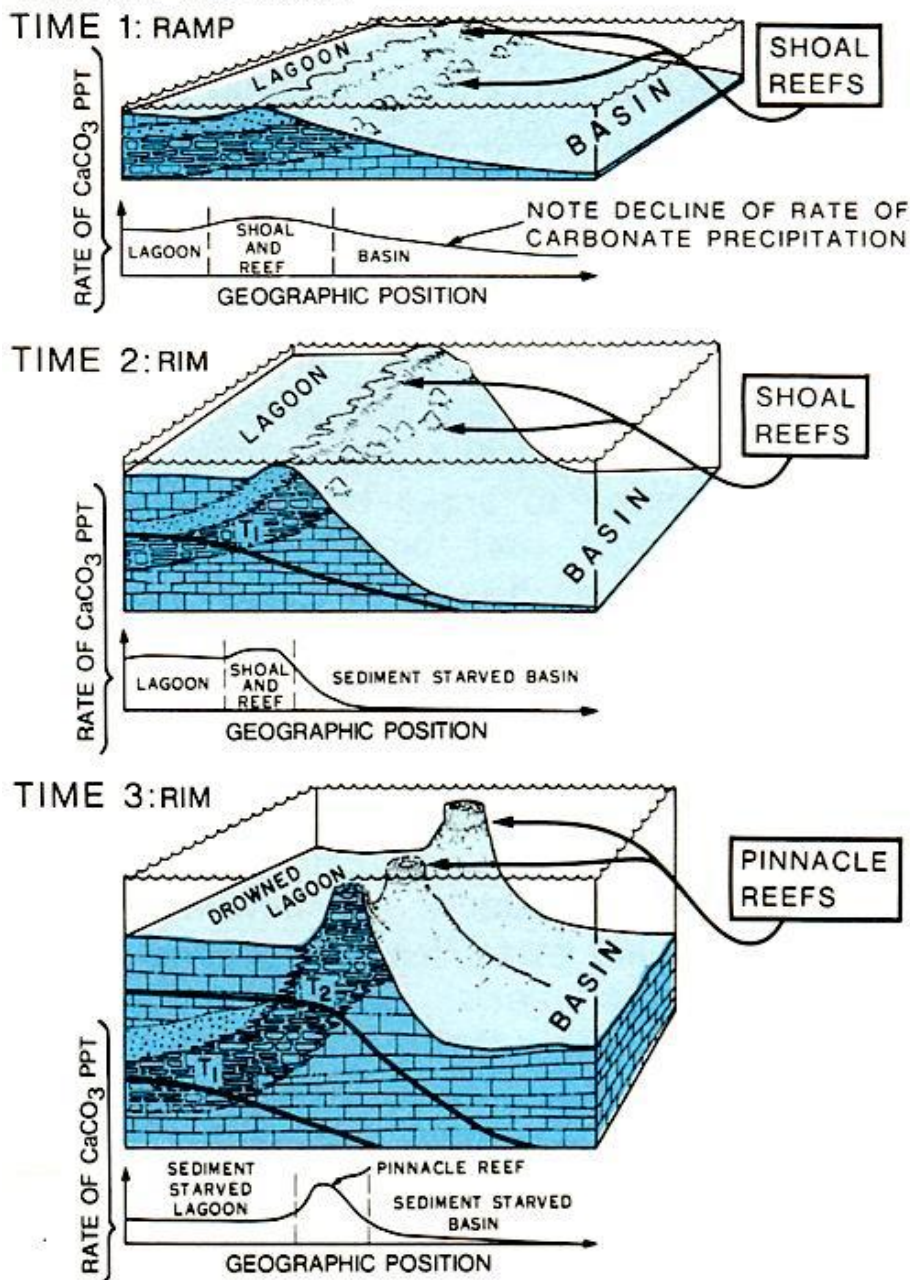


Рис. 10. Фациально-временные модели образования одиночных рифов.

**Внутренние области платформ. Эпиконтинентальные моря, лагуны, заливы**

Осадки внутренних областей платформ характеризуются протяженными пластами, сложенными плохо отсортированным материалом.

Они либо отлагались *in situ*, либо были транспортированы из областей, соединяющимися с открытым морем, и подверглись «сортирующему и перевева-

ющему» воздействию волн и течений. Остатки фауны, как правило, обильны, но не разнообразны. Если накопление происходит за десятки км от открытого моря, например, в эпиконтинентальном бассейне, видовое разнообразие фаунистических остатков постепенно уменьшается в связи с увеличением солености.

Основными фациями мелководья являются чистые карбонатные пески, илистые скелетные пески, известковые илы, тогда как в более глубоководных условиях образуются мергели и сланцы. Мелководные пески слагают ровные участки, на которых энергии течений достаточно только для перемещения ила, но не зерен.

Обломочная часть может быть представлена оолитами, но чаще встречаются пеллеты, грейпстоуны (скопление пеллет, сгустков) и онколиты.

Вдоль береговой линии эпиконтинентальных морей илистые осадки обычно имеют доломитовый и строматолитовый состав. Эти осадки имеют хорошо выраженную слоистость и широкое латеральное распространение.

В подприливных зонах (subtidal - ниже зоны прилива) фауна обычно малочисленна, но разнообразна. В приливной зоне, наоборот, количество остатков может быть высоко, а разнообразие низкое. Циклическое строение этих мелководных последовательностей свидетельствует о циклических изменениях уровня моря.

### **Приливная равнина**

Осадки **приливных равнин** формируются во время суточных приливов (intertidal zone), а также за счет наваянного ветром материала и во время весеннего половодья (supratidal zone) (рис. 11). Осадки приливной равнины (Tidal flat) занимают обширные площади, часто они изрезаны каналами.

Слоистость, как правило, тонкая и равномерная, контакты контрастные.

**Эвапориты** имеют неравномерную слоистость, часто образуя нодули.

Основная последовательность фаций эпиконтинентального бассейна следующая (в направлении море-суша): пески приливной зоны, илы приливной зоны, зона водорослевых илов, **надприливная зона** (Supratidal flat).

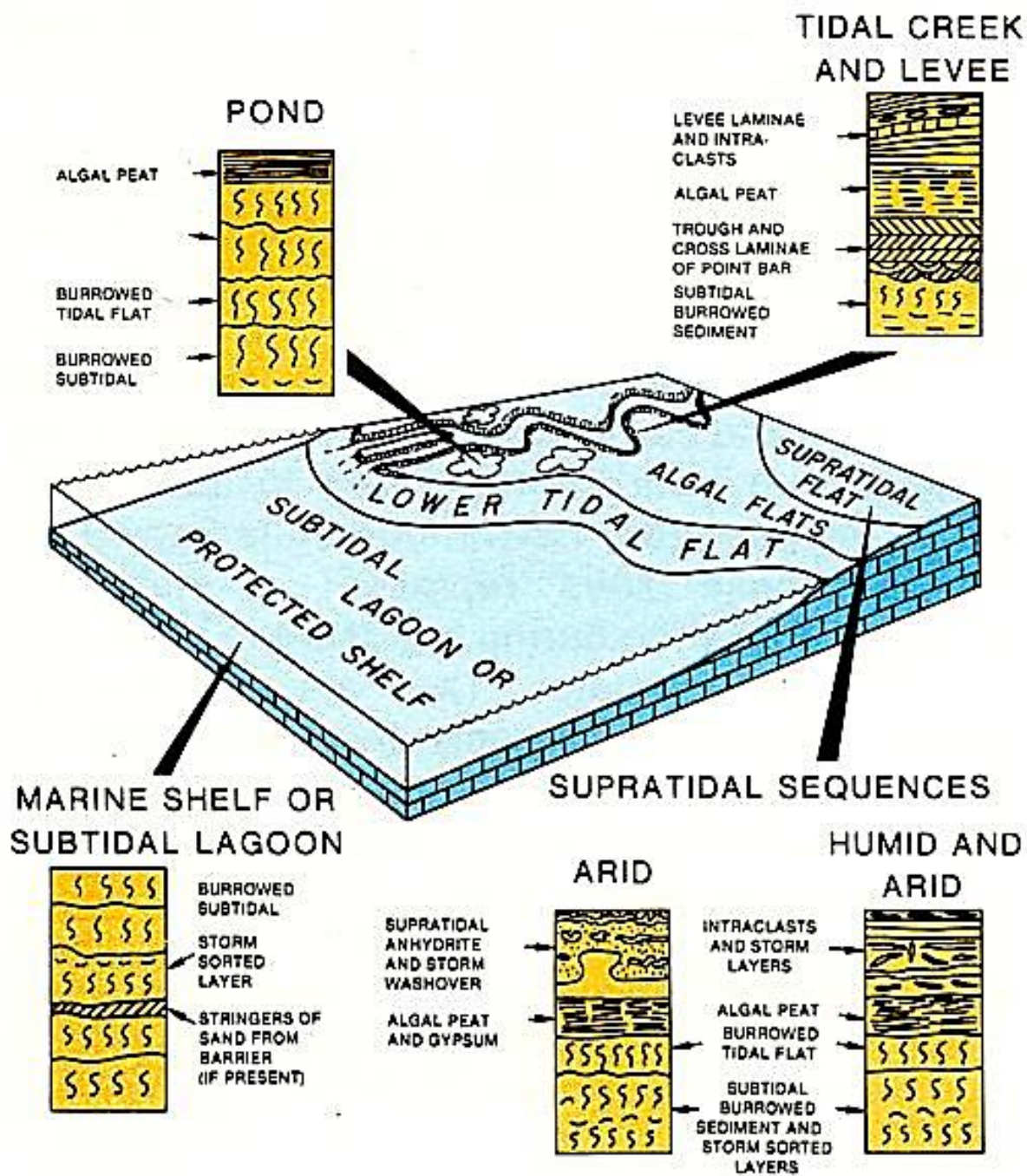


Рис. 11. Фациальная модель приливной равнины

Пески приливной равнины, как правило, косослоистые и отсортированные, так как подвержены воздействию штормовых волн и течений. Состав осадков надприливной зоны находится в сильной зависимости от климата. Например, в условиях высокой солености и высоких концентраций магния (метеорные воды) карбонат кальция замещается доломитом.

В регионах аридного климата в осадках могут встречаться гипс и ангидрит. При этом на поверхности осадка может отлагаться галит, но обычно он не сохраняется и удаляется ветром или приливом.

### **Резервуары и нефтематеринский потенциал**

Илы приливной равнины и пеллетовые пески имеют низкую пористость в силу происходящей дегидратации и сжатия. Однако доломитизация этих отложений может создать высокую вторичную пористость и проницаемость.

Карбонаты приливной равнины обычно ассоциируют с эвапоритами, которые выступают в роли крышки для резервуаров.

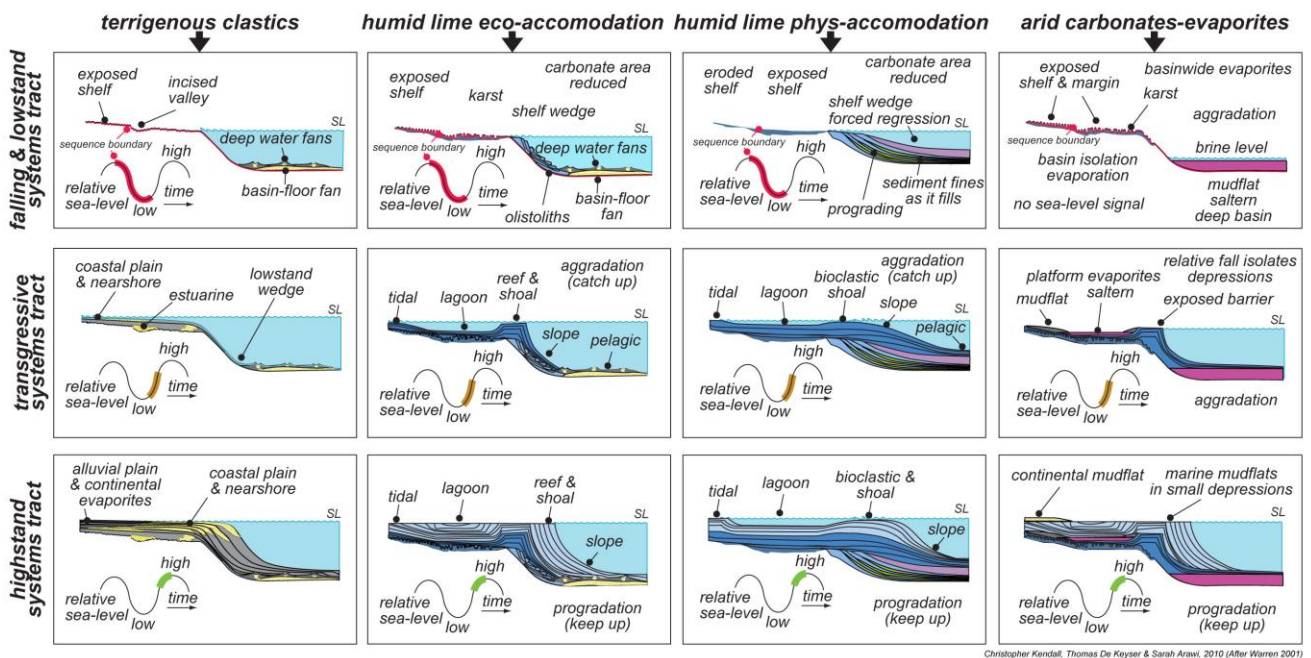
## Лекция 4. Карбонатные фации и секвенс-стратиграфия

Различия между карбонатными и обломочными комплексами. Разделяющие поверхности. Карбонатный цикл сигмоида. Косеты и мегасеты. Интерпретация карбонатных секвенсов. Строение карбонатных последовательностей в зависимости от размера зерна. Последовательность низкого моря. Трансгрессивная последовательность. Последовательность высокого моря

### Различия между карбонатными и терригенными секвенционными комплексами

Терригенные и карбонатные секвенсы разделены одними и теми же поверхностями, образование которых связано с колебаниями уровня моря (рис. 12).

Различия в секвенс-стратиграфии этих двух комплексов связаны с тем, что карбонатное осадконакопление происходит *in situ*, на карбонатной фабрике (рис. 13), тогда как терригенный материал переносится из питающей провинции в осадочный бассейн.



Christopher Kendall, Thomas De Keyser & Sarah Aravi, 2010 (After Warren 2001)

Рис. 12. Фациальные обстановки накопления системных трактов терригенных и карбонатных комплексов в гумидных и аридных условиях

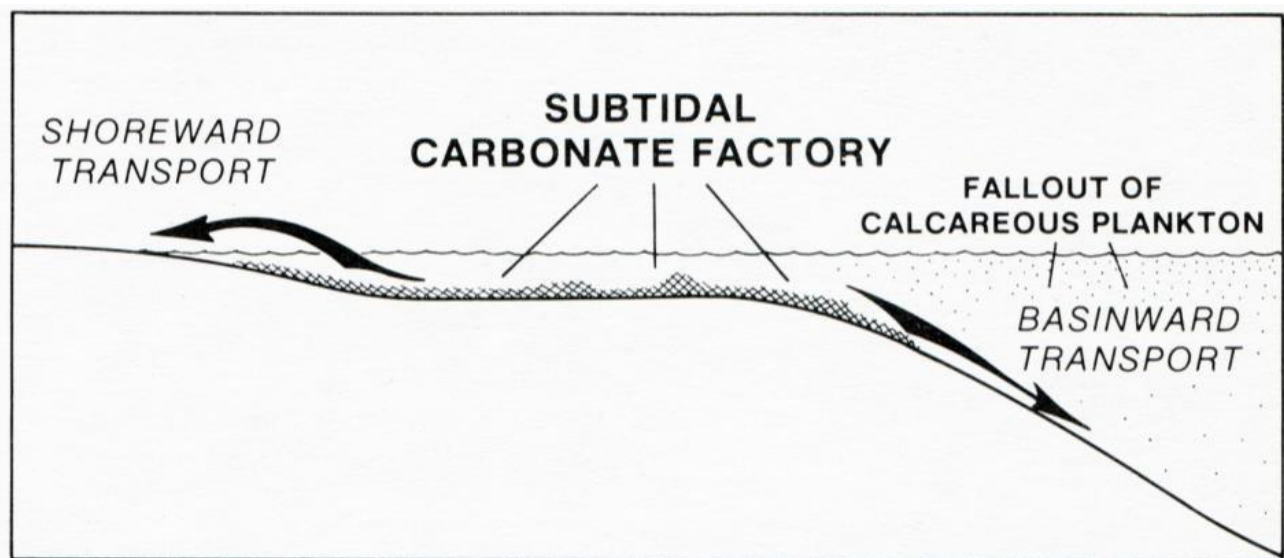


Рис. 13. Фациальная модель «карбонатной фабрики».

Скорости карбонатного осадконакопления наиболее высоки у поверхности моря, т.к. оно связано с фотосинтезом, интенсивность которого меняется с глубиной. Таким образом, карбонатные фации и их текстуры напрямую отражают положение уровня моря.

Организмы с карбонатным скелетом или раковиной могут обитать и, соответственно, встречаются в осадках выше определенных гидродинамических барьеров. Это обусловлено их биологическими особенностями и химизмом воды. Данный фактор называется экологической аккомодацией. Тогда как обломочные отложения, отлагающиеся только в зависимости от гидродинамических барьеров, ограничены физической аккомодацией.

Разделяющие поверхности. Также как и в терригенных отложениях, в карбонатных комплексах могут быть проведены поверхности, разделяющие толщу на секвенсы, парасеквенсы и другие циклы. Это следующие виды поверхностей:

- эрозионные поверхности секвенсов (SB) или парасеквенсов;
- поверхности затопления - трансгрессивные поверхности (TS) и поверхности максимального затопления (MFS).

Поверхности в карбонатных циклах часто эродированы, так, MFS и TS часто бывают уничтожены эрозией.



По этой причине карбонатные секвенсы часто не полностью совпадают с терригенными секвенсами Ван Вагонера (Van Wagoner et al., 1990).

### Карбонатный сигмоидный цикл против парасеквенса

Рифовый комплекс часто представлен «СИГМОИДОМ» (рис. 14).

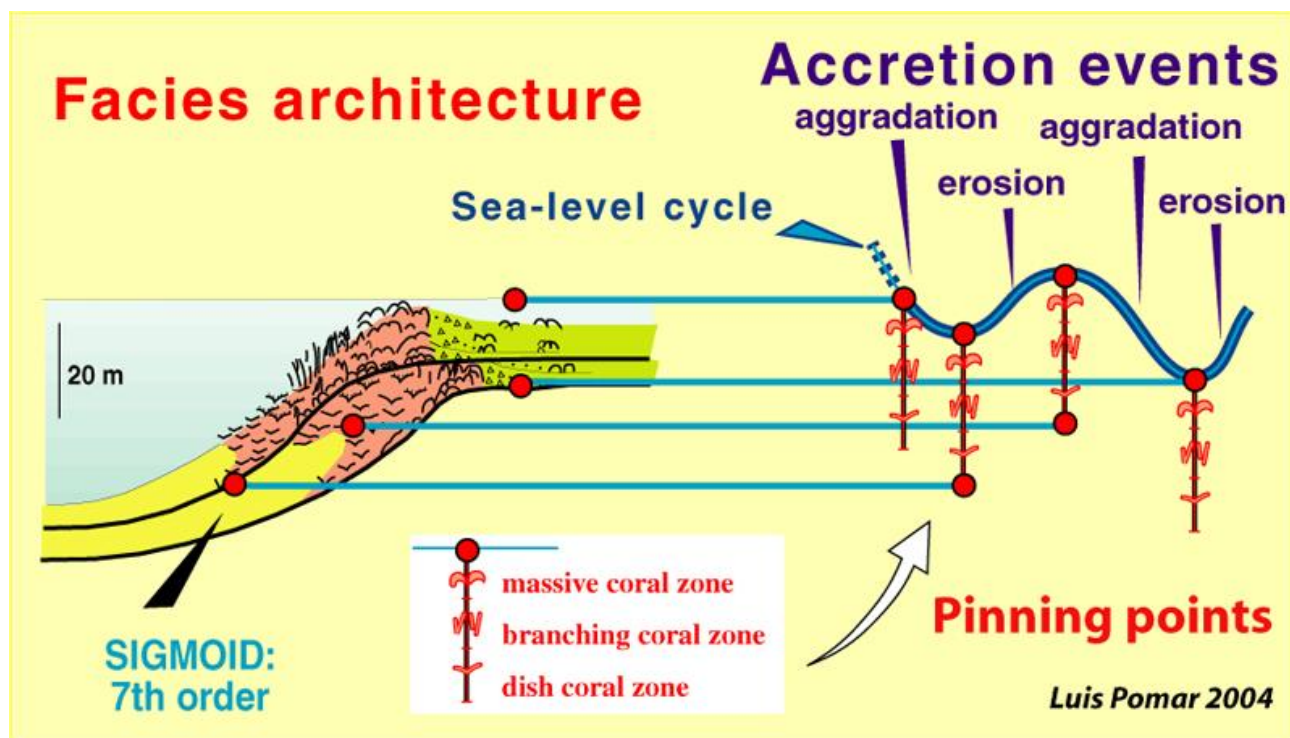


Рис. 14. Модель миоценового рифа Маллорки (Pomar 2004)

Сигмоид ограничен отчетливыми эрозионными поверхностями, образовавшимися в результате понижения уровня моря и эрозии, и коррелятивными с ними согласными поверхностями, которые являются их продолжением в глубоководные участки бассейна.

Сигмоид не имеет отчетливых поверхностей затопления (MFS).

В верхней части разреза и ближе к суше сигмоид представлен горизонтально слоистой лагунной толщей, которая при прослеживании в сторону бассейна переходит в сигмоидную литофацию центральной части рифа, далее – в наклоннослоистую (клиноформенную) толщу склона, а еще далее – в бассейновые литофации.

Особенности геометрии сигмоида, как и в случае с парасеквенсом, могут быть использованы для определения системных трактов.

Для циклов более низких порядков (более крупных) используются термины *сигмоидные косеты* и *мегасеты* (рис. 15).

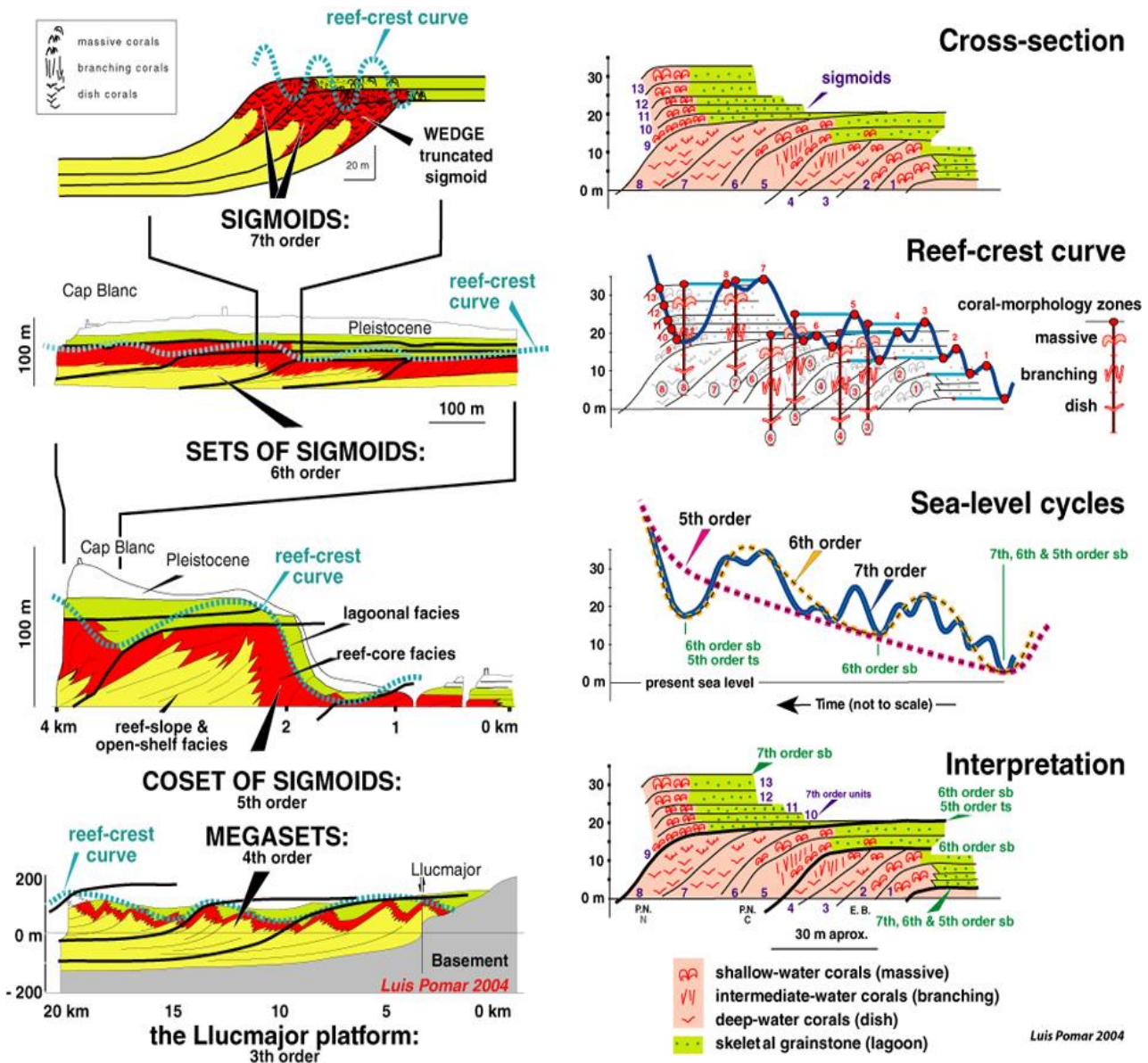


Рис. 15. Фациальные модели косетов и мегасетов сигмоидов разных порядков (Ponar, 2004)

### Интерпретация карбонатных секвенсов

Секвенс-стратиграфическая интерпретация карбонатных разрезов обычно проводится путем комбинирования данных 2 and 3 D-сеймики (с относительно низким разрешением =точностью интерпретации), данных каротажа (с относи-

тельно высоким разрешением), по керну (с очень высоким разрешением) и по обнажениям (с наилучшей комбинацией высокого и низкого разрешения).

Секвенс-стратиграфическая интерпретация карбонатных комплексов обеспечивается интеграцией:

- выделенных границ системных трактов;
- состава литофаций;
- иерархии циклов;
- особенностей строения циклов.

При интерпретации карбонатных комплексов можно применять подход, основанный на различиях в размерах зерна - также, как и для терригенных комплексов. Этот подход позволяет проводить границы элементов карбонатных секвенсов. Иерархия этих элементов не зависит от мощности и времени накопления.

Во время **низкого стояния моря** (lowstands) и последующей **трансгрессии** (transgressions) или во время начала высокого стояния моря (early highstands), когда платформа быстро аградирует (наращивает мощность без смещения в сторону суши или бассейна), формируются обломочные и иловые потоки, состоящие из карбонатного ила, снесенного с платформы или со склона.

Наоборот, во время **высокого стояния моря**, когда платформа затоплена, формируются плотные потоки (density-flow) и турбидиты (turbidite), состоящие из карбонатного песка с меньшим количеством карбонатного ила.

## Библиографический список

Зорина С.О. Секвенс-стратиграфия. (Материалы к лекциям. Практические задания) / С.О. Зорина. - Казань, 2016. - 65 с. Режим доступа: <http://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/34302>

Зорина С.О. Методы стратиграфических исследований. (Материалы к лекциям. Практические задания) / С.О. Зорина. - Казань: Казан. ун-т, 2015. - 40 с. Режим доступа: [http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/20347/03\\_18\\_001100.pdf](http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/20347/03_18_001100.pdf)

Зорина С.О. Литостратиграфия. (Материалы к лекциям. Практические задания) / С.О. Зорина. - Казань, 2017. - 70 с. Режим доступа: [http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/net/109916/1/Zorina\\_Lithostratigraphy.pdf](http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/net/109916/1/Zorina_Lithostratigraphy.pdf)

Прозоровский В.А. Общая стратиграфия. 2-е изд. М., 2010. 208 с.

Степанов Д.Л., Месежников М.С. Общая стратиграфия (Принципы и методы стратиграфических исследований). Л., 1979. 423 с.

Учебно-методическое пособие "Основы стратиграфии". Лекции. Часть I. / Сост. В.В. Силантьев, С.О. Зорина. Казань: Казанский университет, 2010. - 44 с. [https://old.kpfu.ru/f3/bin\\_files/osn-str-1!251.doc](https://old.kpfu.ru/f3/bin_files/osn-str-1!251.doc)

## Перечень информационных ресурсов

Учебно-методическое пособие по секвенс-стратиграфии - <http://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/34302>

Учебно-методическое пособие «Основы стратиграфии» [https://old.kpfu.ru/f3/bin\\_files/osn-str-1!251.doc](https://old.kpfu.ru/f3/bin_files/osn-str-1!251.doc)

Карбонатная седиментация и карбонатные фации <http://www.lithology.ru/node/32>

сайт Международного союза седиментологов - [www.sepm.com](http://www.sepm.com)

сайт Международной комиссии по стратиграфии - [www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org)

сайт юрской системы России - [www.jurassic.ru](http://www.jurassic.ru)

## ЧАСТЬ 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

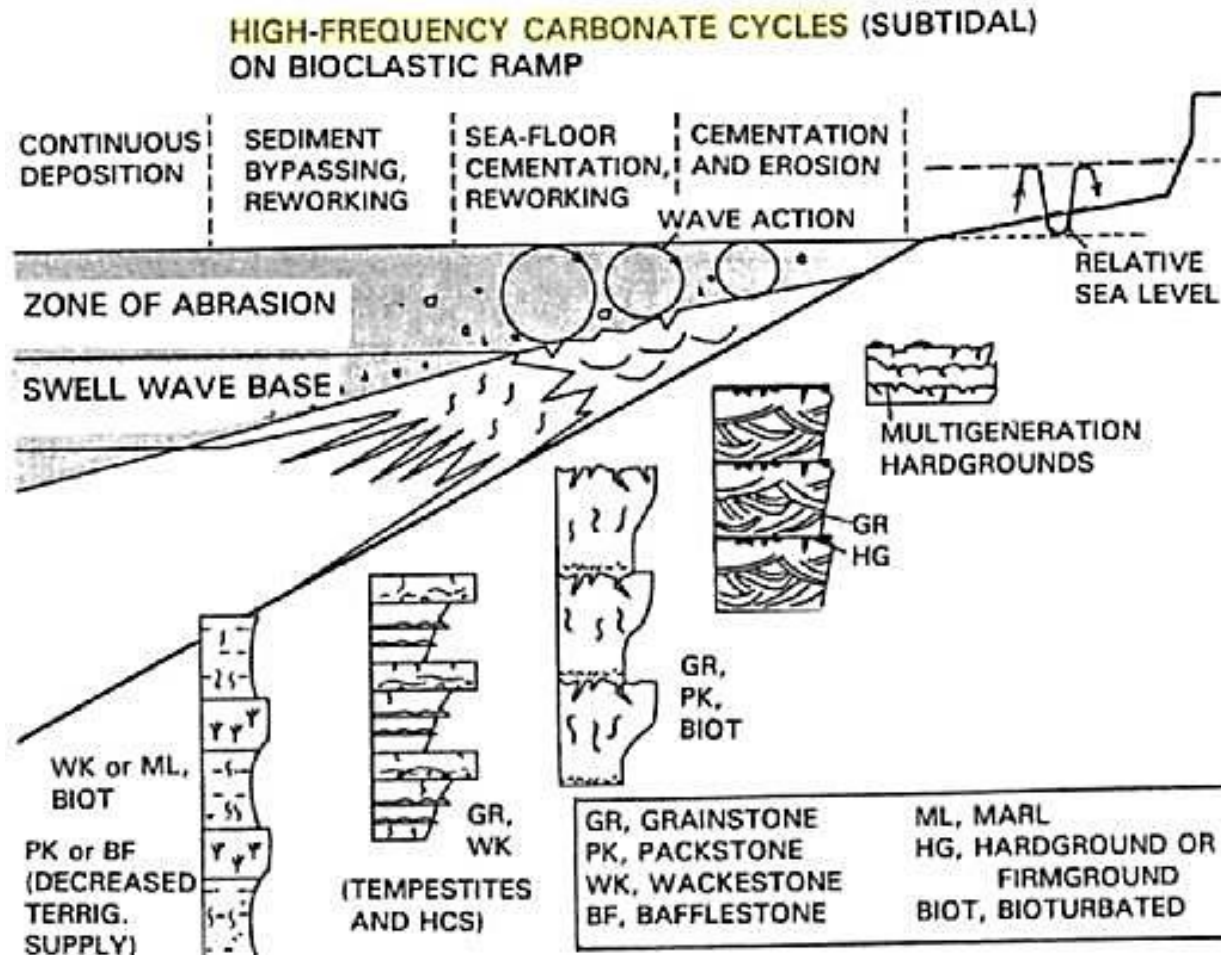
**Задание 1.** Составить реферат и сделать доклад на семинаре

### Темы рефератов

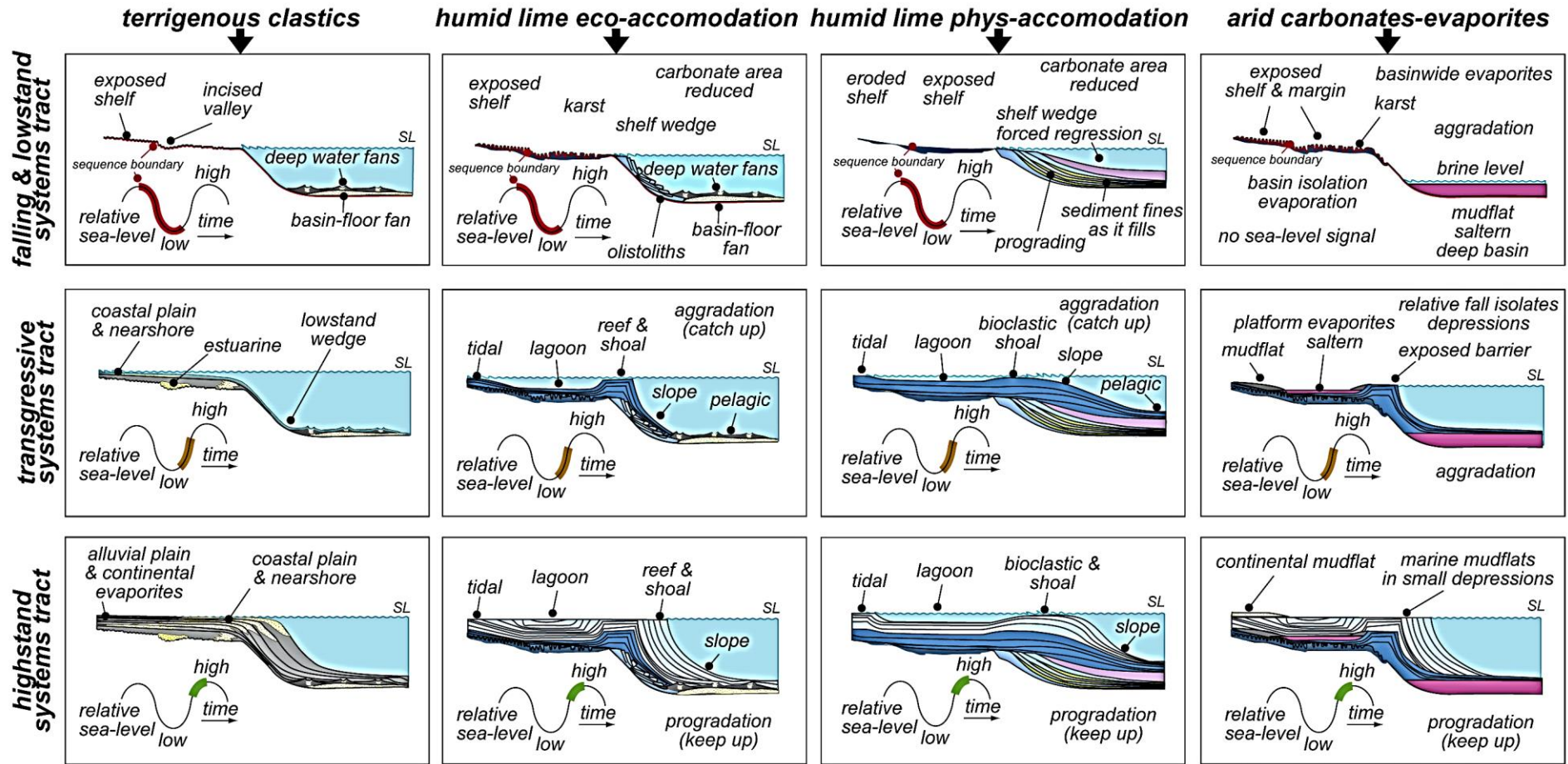
1. Строматолиты: особенности литологии и значение для фациального анализа
2. Разнообразие рифов
3. Кораллы: особенности литологии и значение для фациального анализа
4. Фораминиферы и остракоды: особенности литологии и значение для фациального анализа
5. Брахиоподы: особенности литологии и значение для фациального анализа
6. Водоросли и цианобактерии: особенности литологии и значение для фациального анализа
7. Осадочные брекчии: особенности литологии и значение для фациального анализа

**Задание 2.** Изучить фациальные пояса Уилсона (Wilson`s Facial Zones) по презентации к лекции 2 и используя дополнительную презентацию “Microfacies and facies zones\_1\_Wilson model”. Подготовить устную характеристику десяти фациальных зон.

1. Изучить модель. 2. Используя классификации карбонатных пород, сделать небольшие зарисовки структур карбонатных пород, слагающих каждый разрез. 3. Выбрать два соседних разреза и дать краткое объяснение, почему эти два разреза различаются по типу седиментации и типу слагающих пород.

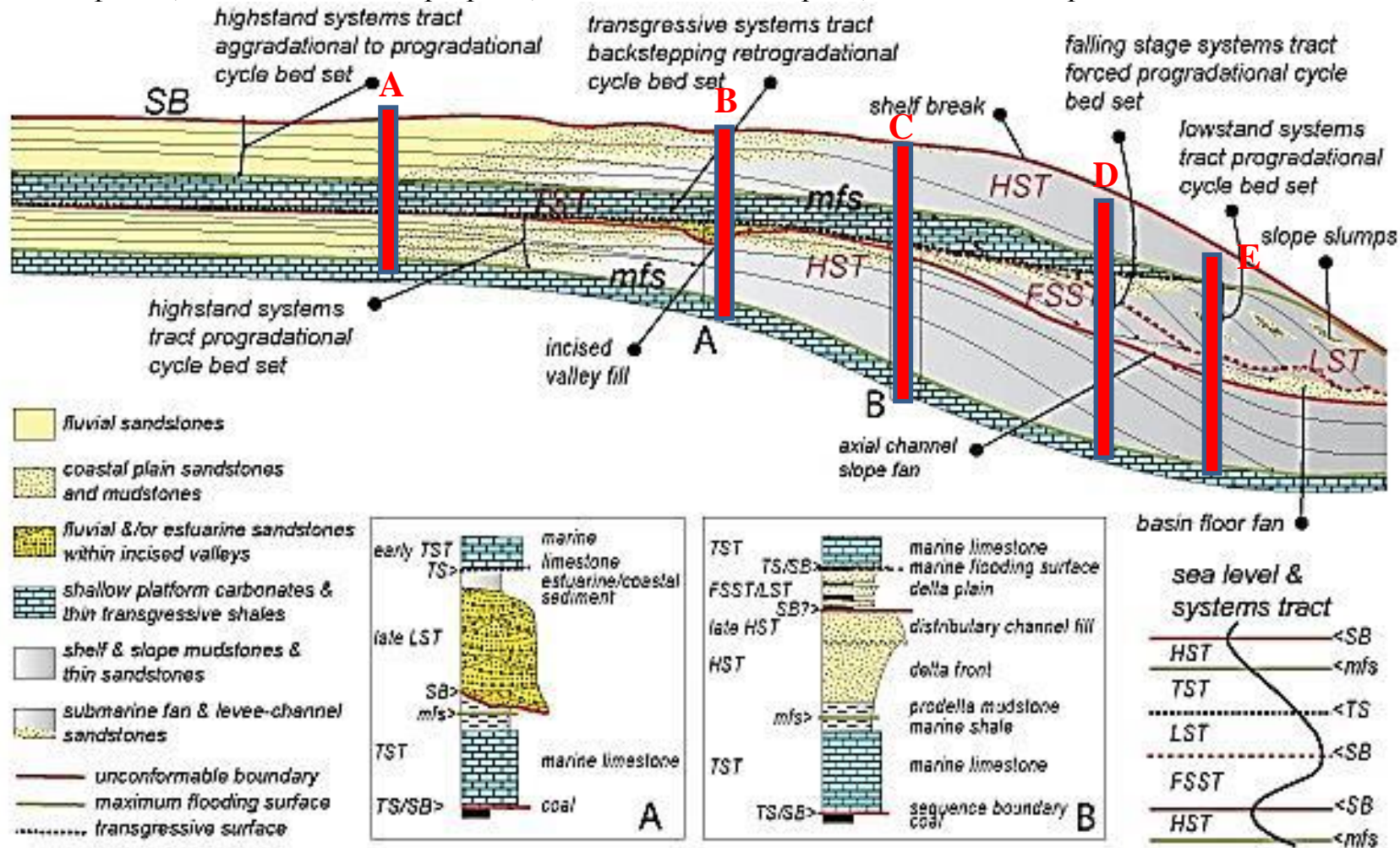


1. Изучите модели, приведенные ниже. 2. Кратко опишите каждый системный тракт и условия его формирования. 3. Подготовить устные описания процессов, повлиявших на формирование каждого системного тракта.



Christopher Kendall, Thomas De Keyser & Sarah Arawi, 2010 (After Warren 2001)

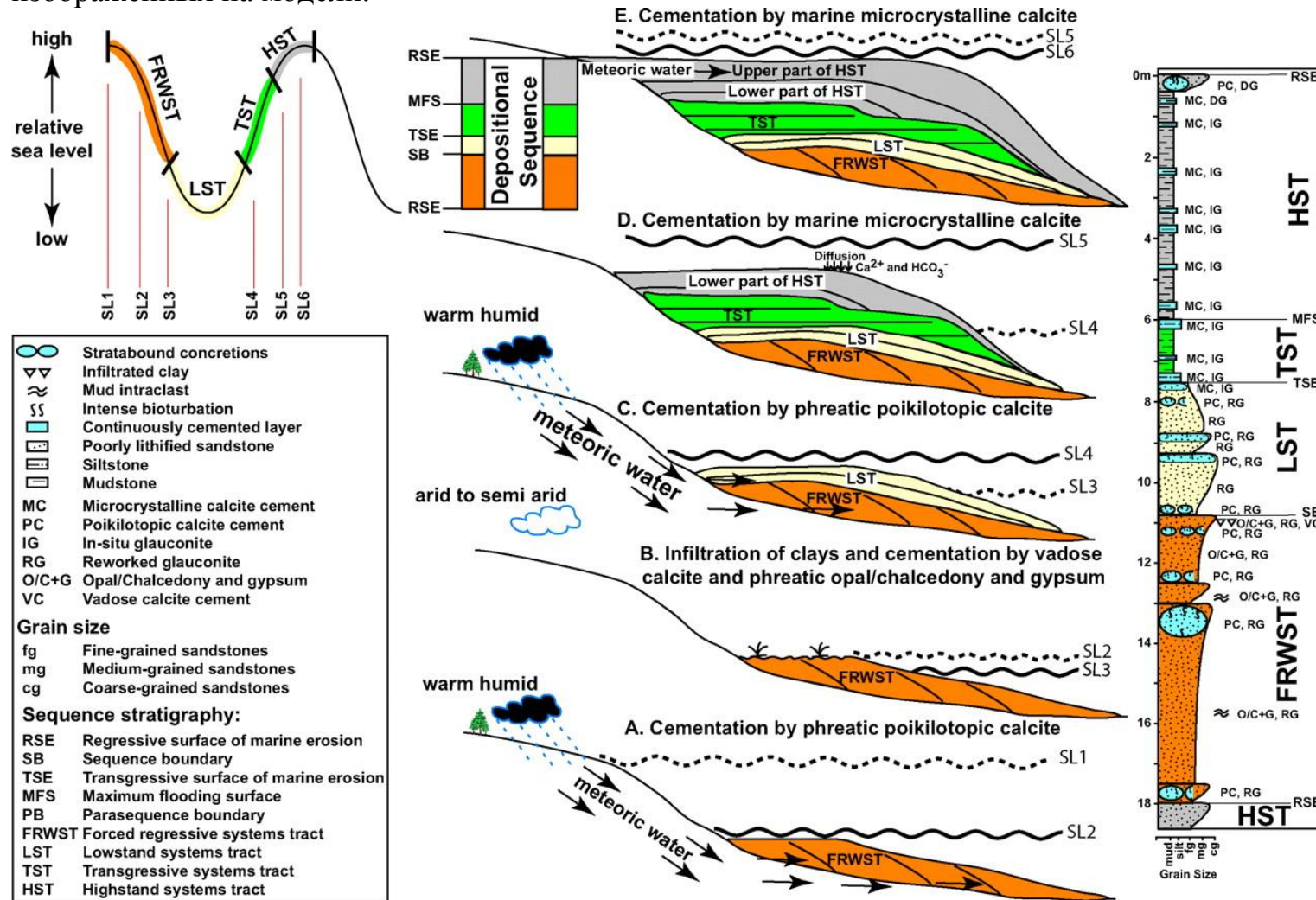
1. Изучите модель. 2. Постройте два разреза (варианты выберет преподаватель) по примеру приведенных ниже. 3. Определите фации, слагающие ваши разрезы, и подпишите их справа, и системные тракты – слева.



Christopher G. St. C. Kendall, and Maurice Tucker, 2010



1. Изучите модель. 2. Найдите самостоятельно и приведите описание типов цементации карбонатных пород для вариантов А-Е с зарисовками шлифов. 3. Подготовьте устные описания типов пород, формирующихся при разных условиях, изображенных на модели.



## Вопросы к зачету

1. Классификация карбонатных пород Фолка
2. Классификация карбонатных пород Данхема
3. Классификация карбонатных пород Эмбри и Клована
4. Схема стандартных фациальных поясов Уилсона
5. Бассейн. Шельф открытого моря. Глубоко погруженная окраина шельфа. Передовой склон. Биогерм. Три типа биогермных профилей.
6. Отмученные пески края платформы. Шельфовая лагуна со свободным водообменом. Шельфовые фации ограниченной циркуляции. Платформенные эвапоритовые фации
7. Фациальные обстановки накопления карбонатных отложений
8. Пелагические осадки бассейнового склона
9. Турбидиты и обломочные потоки бассейнового склона
10. Карбонатные отложения бассейнового склона, формирующиеся на границе между мелководной платформой и глубоководными участками бассейна
11. Окраина платформы: рифы, барьерные рифы, илесто-скелетные банки
12. Окраина платформы: башенные рифы, одиночные рифы и рифовые холмы, потенциальные резервуары и нефтематеринские породы
13. Внутренняя часть платформы: эпиконтинентальное море, лагуна или залив, приливная равнина, потенциальные резервуары и нефтематеринские породы
14. Различия между карбонатными и обломочными комплексами
15. Разделяющие поверхности
16. Карбонатный цикл сигмоида. Косеты и мегасеты
17. Интерпретация карбонатных сиквенсов
18. Строение карбонатных последовательностей в зависимости от размера зерна
19. Последовательность низкого моря
20. Трансгрессивная последовательность
21. Последовательность высокого моря