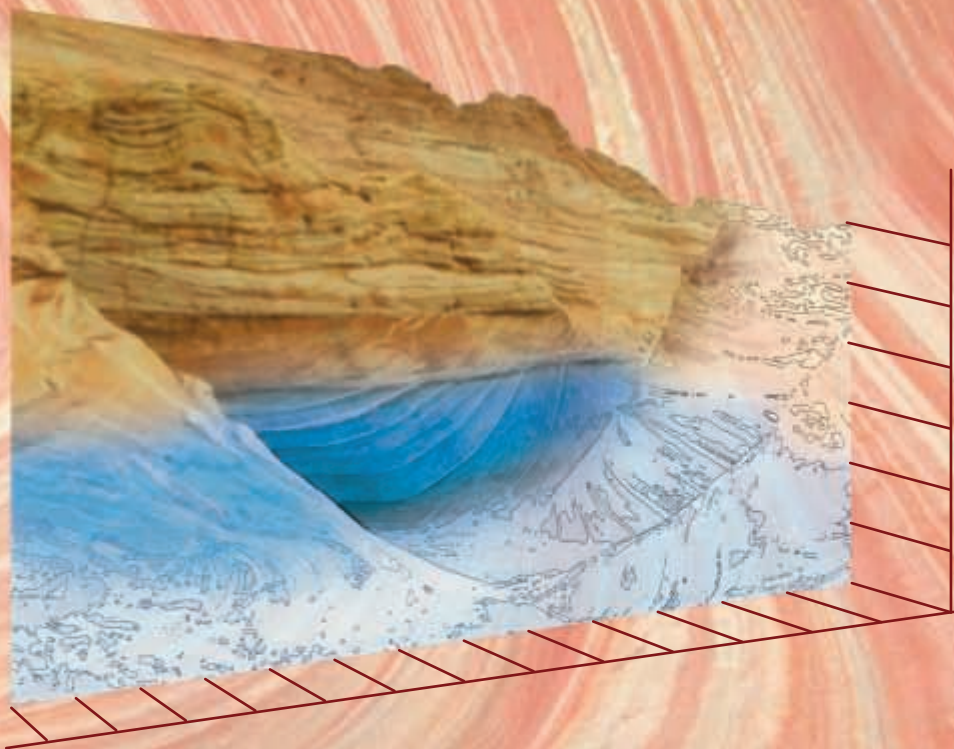


Р.Р. ГАБДУЛЛИН, Л.Ф. КОПАЕВИЧ, А.В. ИВАНОВ

СЕКВЕНТНАЯ СТРАТИГРАФИЯ



Р.Р. ГАБДУЛЛИН, Л.Ф. КОПАЕВИЧ, А.В. ИВАНОВ

СЕКВЕНТНАЯ СТРАТИГРАФИЯ

*Допущено УМС по Геологии УМО классических университетов
в качестве учебного пособия для магистрантов,
обучающихся по направлению и специальности
«Геология»*



Москва 2008

УДК 551.7(075.8)

ББК 26.33я73

Г12

*Печатается по решению Ученого Совета геологического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова от 25.09.2008*

Ответственный редактор:

доктор геолого-минералогических наук, профессор *А.М. Никишин*

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук, зав. лаб. ГИН РАН *В.С. Вишневецкая*
доктор геолого-минералогических наук, зам. директора ГИН РАН *Ю.О. Гаверилов*

Габдуллин Р.Р., Копаевич Л.Ф., Иванов А.В.

Г12 Секвентная стратиграфия: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс,
2008. – 113 с.

ISBN 978-5-317-02525-0

В учебном пособии рассматриваются основные положения секвентной стратиграфии, характеризуются модели строения секвенций и их соотношение с фациями. Предложены материалы для практических занятий по секвентному анализу стратиграфических и литологических особенностей разрезов обнажений и скважин, по секвентной интерпретации данных каротажа и сейсмических профилей.

Пособие предназначено для студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей геологических и географических специальностей высших учебных заведений, а также специалистов-геологов.

УДК 551.7(075.8)

ББК 26.33я73

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований (гранты 05-05-65157а, 08-05-00283а) и Федеральной целевой программы «Ведущие Научные Школы» (грант НШ-841.2008.5)

ISBN 978-5-317-02525-0

© Р.Р. Габдуллин, Л.Ф. Копаевич, А.В. Иванов, 2008

Содержание

Введение	4
1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СЕКВЕНТНОЙ СТРАТИГРАФИИ.....	8
2. МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ СЕКВЕНЦИЙ И ФАЦИИ	56
3. ПРИМЕРЫ СЕКВЕНТНО-СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ	67
4. ПРАКТИКУМ ПО СЕКВЕНТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ	72
5. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РАЗРЕЗОВ СКВАЖИН С ПОМОЩЬЮ КАРОТАЖА	81
6. ПРАКТИКУМ ПО ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЛИТОЛОГИИ ПОРОД ПО ДАННЫМ КАРОТАЖА.....	91
7. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ КАРОТАЖА С ПОЗИЦИЙ СЕКВЕНТНОЙ СТРАТИГРАФИИ	94
8. ПРАКТИКУМ ПО СЕКВЕНТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ КАРОТАЖА.....	101
9. ПРАКТИКУМ ПО СЕКВЕНТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ	101
Список литературы	110

ВВЕДЕНИЕ

По мере повышения требований к точности решения практических геологических задач становится очевидным, что классические стратиграфические методы работают на пределе своей разрешающей способности и нуждаются в комплексировании и дополнении. Биостратиграфический метод, дополненный палеоэкологическим, обеспечивает сопоставление относительно крупных стратиграфических подразделений, но оказывается недостаточным для решения многих иных актуальных вопросов. Моделирование осадочных тел для нужд современной практической геологии требует объемной и тонкой пластовой корреляции, тщательного обоснования и четкого сопоставления границ осадочных тел низких иерархических уровней – слоев, пачек, толщ.

В связи с этим последние два десятилетия бурно развивается новое научное направление – секвентная стратиграфия – зародившееся в 60-е годы 20 века. Ключевым вопросам этого направления посвящены работы Боума (1962), Слосса (1963, 1972), Вейла (1977), Хака и Харденбола (1987), Ван Вагонера (1990), Хенфорда и Лука (1993) и др. В России по секвентно-стратиграфической тематике опубликованы работы К.Р.Волкова и А.Е.Шлезингера (1992), С.Л.Белякова (1993), Ю.Н.Карагодина (1996), А.В. Дронова (1998, 1999), Н.В.Беляева (1998, 2000) и других авторов. Метод стратиграфии секвенций уверенно входит в геологическую практику (Беляков, Гладенков, Шлезингер, 1993) и постоянно результативно применяется многими исследователями, в том числе авторами данного пособия.

Секвентная стратиграфия представляет собой направление, нацеленное на выявление и интерпретацию в осадочных толщах следов колебаний уровня моря и разворачивание детальных исследований строения, функционирования и эволюции осадочного

палеобассейна на этой основе. При этом в качестве элементарного стратиграфического подразделения рассматривается секвенция, соответствующая одному трансгрессивно-регрессивному циклу. Основные преимущества метода стратиграфии секвенций можно сформулировать следующим образом (по О.Н.Зуйковой, 2006):

а) корреляция осуществляется не на основе сопоставления отдельных точек-индексов, а на основании сравнения всего профиля седиментации;

б) при стратиграфических исследованиях учитываются процессы и обстановки седиментации;

в) большое внимание уделяется анализу вертикальных и латеральных границ осадочного тела, обеспечивающих хроностратиграфическую основу для корреляции и картирования осадочных комплексов.

Следует отметить, что на ритмичности географических процессов в стратиграфии базируется не только понятие секвенции. Некоторая методологическая аналогия прослеживается с известными климатостратиграфическими подразделениями (ступень – соответствует половине климатического цикла, звено – соответствует полному климатическому циклу, раздел – объединяет несколько климатических циклов и имеет биостратиграфическую характеристику), которые выделены и успешно используются прежде всего в стратиграфии четвертичных отложений.

Заметим также, что понятие секвенции широко используется в самых разных областях человеческой деятельности. Вообще, понятие «секвенция» происходит от латинского слова «sequentia», что означает – последовательность, следование. Весьма применимо это понятие, например, в музыке, где им обозначается проведение мелодического оборота или многоголосного музыкального построения на определенный интервал выше или ниже первоначального или предыдущего. Важнейшее значение секвентный подход в целом имеет для изучения эволюции систем разной природы. Описания процессов в природе и обществе фактически основаны на двустороннем подходе – построении секвентных рядов и изменении измерителя временной протяженности, которому присуща циклическая природа. При этом пользуются понятием «секвент-

ный ряд» — последовательность явлений или объектов, сменяющих друг друга во времени. Построение секвентных рядов (систем) широко применяется в исторических науках (истории, археологии и др.) и др., в зависимости от целей и методов выделяют те или иные отрезки секвентных рядов и соответствующие им этапы. События или объекты (как и их ряды) сами по себе не содержат количественной информации о протяженности их во времени. Измерителями времени при этом служат регулярные циклические природные процессы, например движение небесных тел. Сопоставление секвентного ряда с независимой стрелой времени позволяет оценить длительность событий, этапов и отдельных секвенций, проводить их корреляцию. Так, в частности, секвентный подход применяется при решении вопроса происхождения календаря с семидневной неделей (см, например, www.ort.spb.ru/spb-israel/7/nedelya.html).

Основным механизмом формирования секвенций являются изменения относительного уровня моря, представляющие собой производные эвстатических колебаний и скорости погружения края шельфа. Каждая секвенция, таким образом, рассматривается в стратиграфии как комплекс отложений, образовавшийся в течение одного эвстатического цикла, начинающегося и заканчивающегося падением уровня моря.

Сегодня очевидно, что знания и навыки по секвентной стратиграфии являются важнейшей составляющей подготовки современного геолога университетского уровня, и обучение его новейшим методам получения и интерпретации информации об особенностях геометрии, генезиса геологических тел, последовательности напластования в объемном представлении необходимо. Это позволяет достичь уровня, при котором будущий специалист способен представить эволюцию палеобассейна седиментации как сложный комплекс взаимосвязанных геолого-географических процессов и явлений. Секвентная стратиграфия позволяет проследить и понять естественный ход формирования отложений в геологическом времени и пространстве и может служить важнейшим инструментом, формирующим научную картину мира современного геолога.

Одной из ключевых проблем учебного процесса в этой связи явился дефицит учебной литературы. Отдельные элементы, реже,

разделы учебного характера можно видеть в ряде работ стратиграфического и геофизического плана (см, например: Шлезингер, 1998). Существуют также англоязычные учебники (Sequence stratigraphy) или разделы в учебниках по седиментологии, стратиграфии, бассейновому анализу. Авторы поставили перед собой задачу создать фактически первое русскоязычное учебное пособие непосредственно по секвентной стратиграфии, объединяющее теоретические и практические аспекты этого научного направления. Поэтому предлагаемая книга рассматривает основные положения секвентной стратиграфии, модели строения секвенций и их соотношение с фациями. Исходя из опыта собственных практических работ и преподавания учебных дисциплин, авторы предложили материалы для практических занятий по секвентному анализу стратиграфических и литологических особенностей разрезов обнажений и скважин, по секвентной интерпретации данных каротажа и сейсмических профилей. Мы сочтем задачу выполненной, если пособие окажется полезным студентам, аспирантам и преподавателям геологических и географических специальностей вузов, а также специалистам-геологам, и будем признательны за замечания и предложения по совершенствованию работы.

Авторы благодарят профессоров А.М.Никишина, А.С.Алексеева, И.А.Михайлову, В.С. Вишневскую, Ю.О. Гаврилова за консультации и помощь при подготовке пособия.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СЕКВЕНТНОЙ СТРАТИГРАФИИ

1.1. Общая характеристика секвентной стратиграфии.

Анализ сейсмических профилей при изучении стратиграфии и пространственного распределения сейсмофаций (сеймостратиграфия) лег в основу **секвентной стратиграфии (sequence stratigraphy)**. Основополагающую роль при этом сыграл анализ сейсмических профилей пассивных континентальных окраин, на которых видна реальная форма и строение осадочных геологических тел, которые до этого были доступны лишь по данным буровых скважин и редким обнажениям (Vail et al., 1977). При этом авторы пришли к выводу, что основным фактором, контролирующим форму этих тел, являются колебания уровня моря.

Секвентная стратиграфия (СС) очень быстро привлекла к себе внимание исследователей, так как ее данные, помимо прикладного значения, позволили реконструировать последовательность глобальных эвстатических колебаний уровня Мирового океана (Vail et al., 1977, Naq et al., 1987, 1998). В свою очередь это открыло возможности корреляции разнофациальных толщ, расположенных на различных континентах и содержащих различные комплексы фоссилий. СС открывает блестящие перспективы перед стратиграфией, так как позволяет соединить хроно-, лито-, и био-стратиграфические единицы.

Не менее важна СС для региональных исследований, так как она позволяет восстанавливать структурное положение и взаимоотношение осадочных толщ, их внутреннее строение в пространстве и во времени. Основными факторами, контролирующими эти процессы, могут быть тектоника, морфология бассейна осадкона-

копления, скорость и объем поступающего в него осадочного материала. В рамках регионального применения роль СС оказывается связанной с восстановлением литологических особенностей геологических тел, скрытых от непосредственного наблюдения. Подобного типа реконструкции особенно важны в нефтяной геологии, при поиске и разведке месторождений. Именно поэтому возникновение и развитие СС происходит в значительной мере внутри нефтяных компаний или в коллективах, работы которых связаны с их проблемами.

СС разработала существенно новый методический подход к анализу осадочных разрезов. Была разработана новая, присущая только СС терминологическая база. Эта методика позволяет при необходимости перевести на язык СС уже имеющиеся лито- и био-стратиграфические данные не только по территориям пассивных окраин, но и по древним платформам.

1.2. История появления СС тесно связана с выделением и изучением трансгрессивно-регрессивных циклов, которое началось еще в конце XIX–начале XX веков. Эти циклы исследователи пытались использовать как инструмент для региональных и глобальных корреляций. Здесь следует отметить труды таких классиков, как Э. Зюсс (Suess, 1888), Г.Штилле (Stille, 1924). Идеи этих исследователей пользовались большой популярностью в России и нашли свое отражение в трудах Н.С. Шатского, В.В. Белоусова, М.В. Муратова, М.А. Усова, Н.П. Хераскова.

Крупные стратиграфические подразделения, ограниченные сверху и снизу несогласиями, которые Слосс впоследствии назвал секвенциями, в России выделялись под названием осадочных комплексов, или формаций. Это зафиксировано в работе М.В. Муратова 1949 г. (см. с. 11,12). Там же приводятся рисунки соотношений пластов с ограничивающими их поверхностями несогласий, которые можно найти в более поздних работах американских ученых по сейсмостратиграфии (Сейсмическая стратиграфия, 1982).

Современная концепция, методика и терминология секвентной стратиграфии разработана американскими геологами-нефтяниками, издавшими ряд сборников и отдельных работ с

изложением основных принципов и путей практического использования этого направления (Seismic stratigraphy, ...1977; Seismic stratigraphy II, 1985; Van Wagoner et al., 1990 и др.). В российской науке секвентная стратиграфия также вызывает большой интерес. Во ВНИГРИ были проведены два симпозиума, посвященных этой проблеме (Секвенстратиграфия..., 1995; Био- и секвенстратиграфия..., 1997). Основные положения секвентной стратиграфии изложены в целой серии публикаций (Кунин, Кучерук, 1985; Карагодин, 1996; Шлезингер, 1998).

1.3. Терминология и основные понятия. Собственно термин **«секвенция»** (*sequence*) был впервые предложен Слоссом (Sloss, 1963), которую он определил как «относительно согласную последовательность генетически взаимосвязанных слоев, ограниченных несогласиями или коррелятивно связанными с ними согласными поверхностями».

Секвенции (рис. 1) – это региональные стратиграфические единицы, которые охватывают весь бассейн седиментации или его части. Они отчетливо фиксируются в краевых участках осадочных бассейнов (рис. 2) и с трудом различимы в его центральных, относительно глубоководных частях.

Секвенции образуются в результате заполнения осадками определенного пространства (*sediment accommodation*). Периодическое изменение размеров этого пространства является отражением колебания относительного уровня моря (*relative sea-level*). Эти колебания (рис. 3–5) в свою очередь определяются эвстазией, тектоникой и объемом поступающей в бассейн массы осадочного материала (рис. 6–8). В каждом конкретном месте и в каждый конкретный временной отрезок роль этих факторов может быть различной.

Секвентная стратиграфия – это геологическая дисциплина, занимающаяся выделением и прослеживанием секвенций в пространстве и во времени, изучением закономерностей их состава, строения и развития, а также хроностратиграфической корреляцией на этой основе. Исходным положением секвентной стратиграфии является неразрывная связь секвенций с колебаниями относительного положения уровня моря.

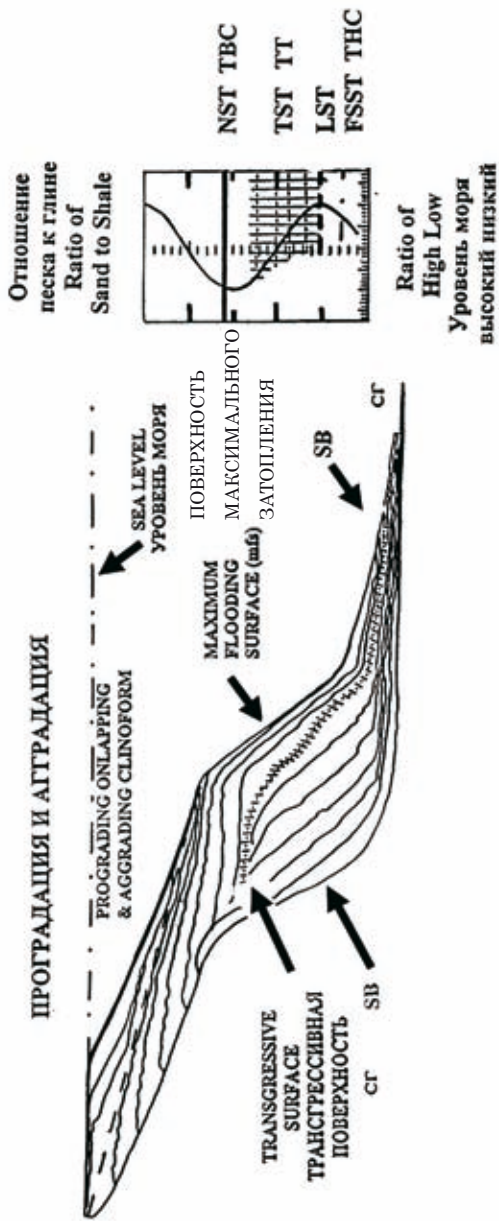


Рис. 1. Принципиальное строение секвенции (<http://strata.geol.sc.edu>).

Сокращения: CG – секвентная граница;

TBC – тракт высокого стояния;

TT – трансгрессивный тракт;

THC – тракт низкого стояния.

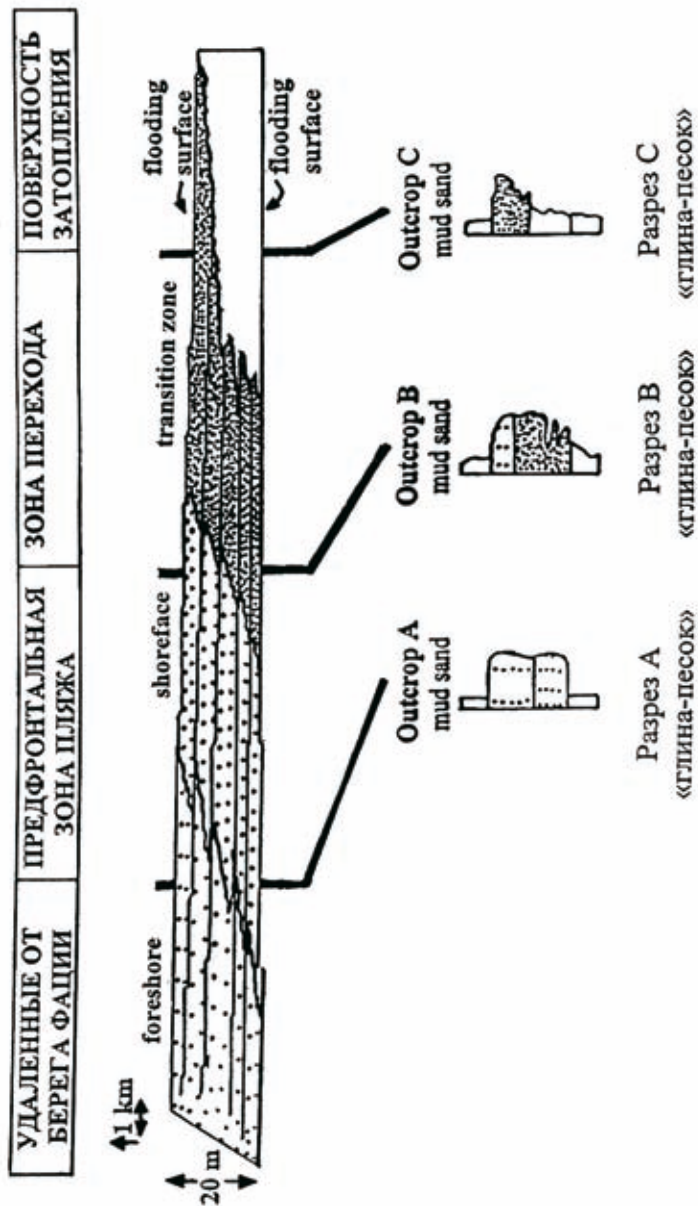
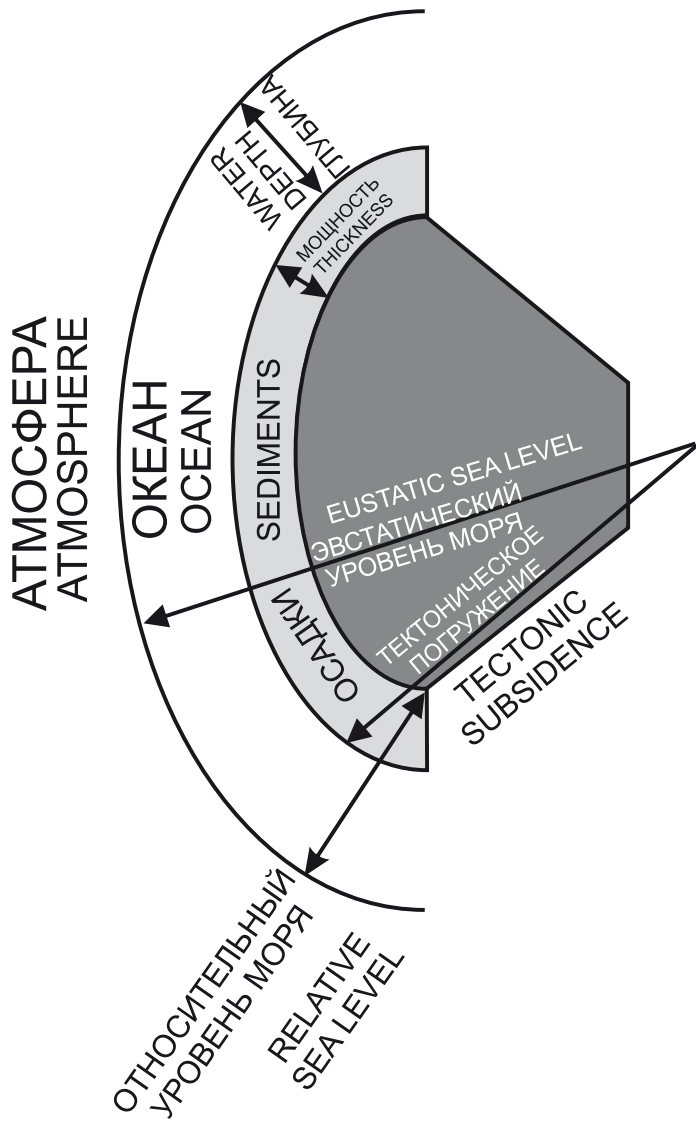


Рис. 2. Принципиальное строение парасеквенции (www.uga.edu/~strata/sequence.html).
 Условные обозначения: 1 – падающие к морю поверхности напластования;
 2 – косая слоистость; 3 – буеристые слои; 4 – биотурбированный морской мадстоун.



**ЦЕНТР ЗЕМЛИ
CENTER OF THE EARTH**

*Рис. 3. Определение эвстатического уровня Мирового океана
(www.uga.edu/~strata/sequence.html).*

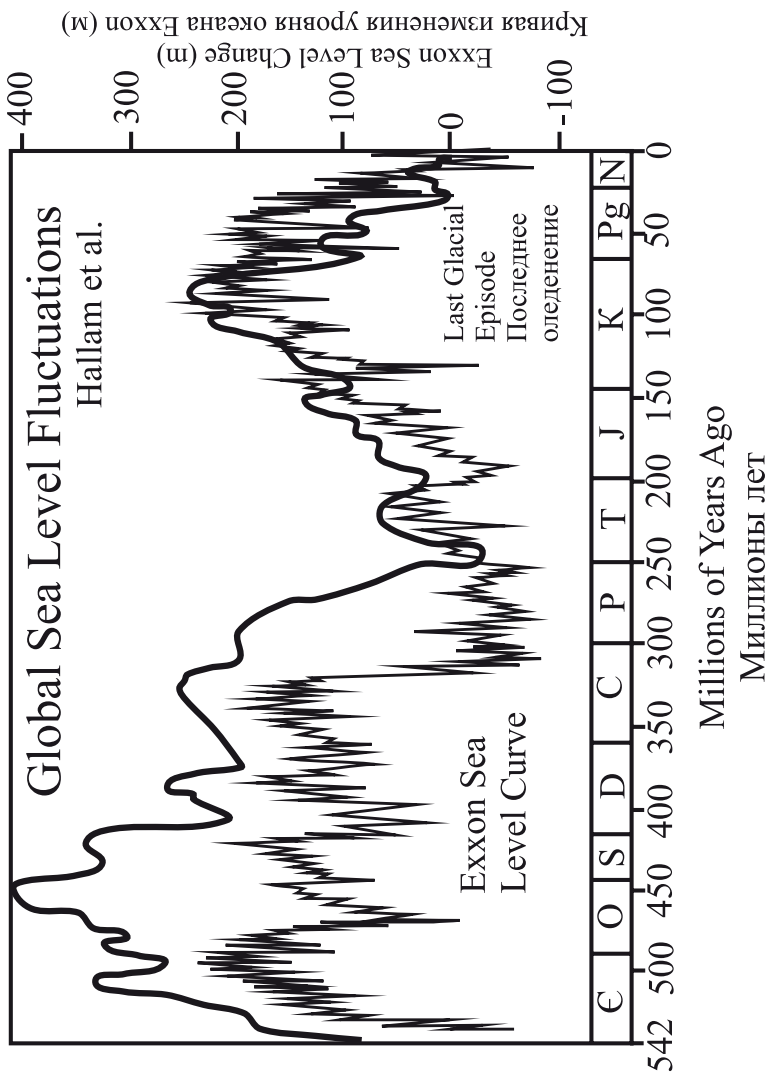


Рис. 4. График эвстатических вариаций уровня Мирового океана в фанерозое
(www.uga.edu/~strata/sequence.htm).

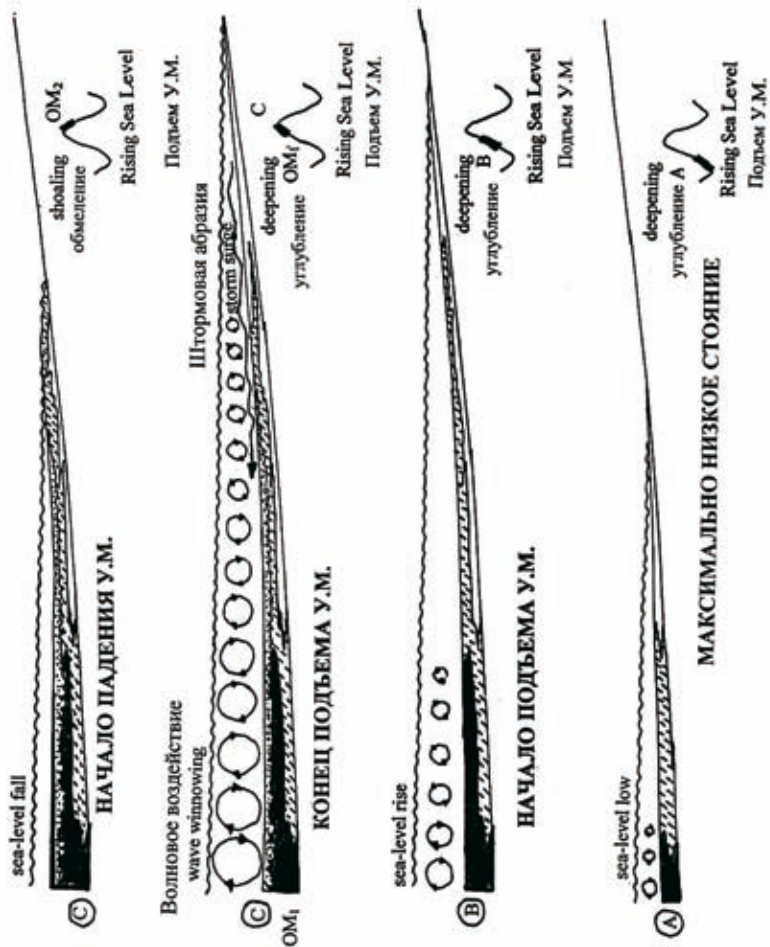


Рис. 5. Принципиальная схема эвстатических вариаций в свете секвентной стратиграфии (<http://strata.geol.sc.edu>).

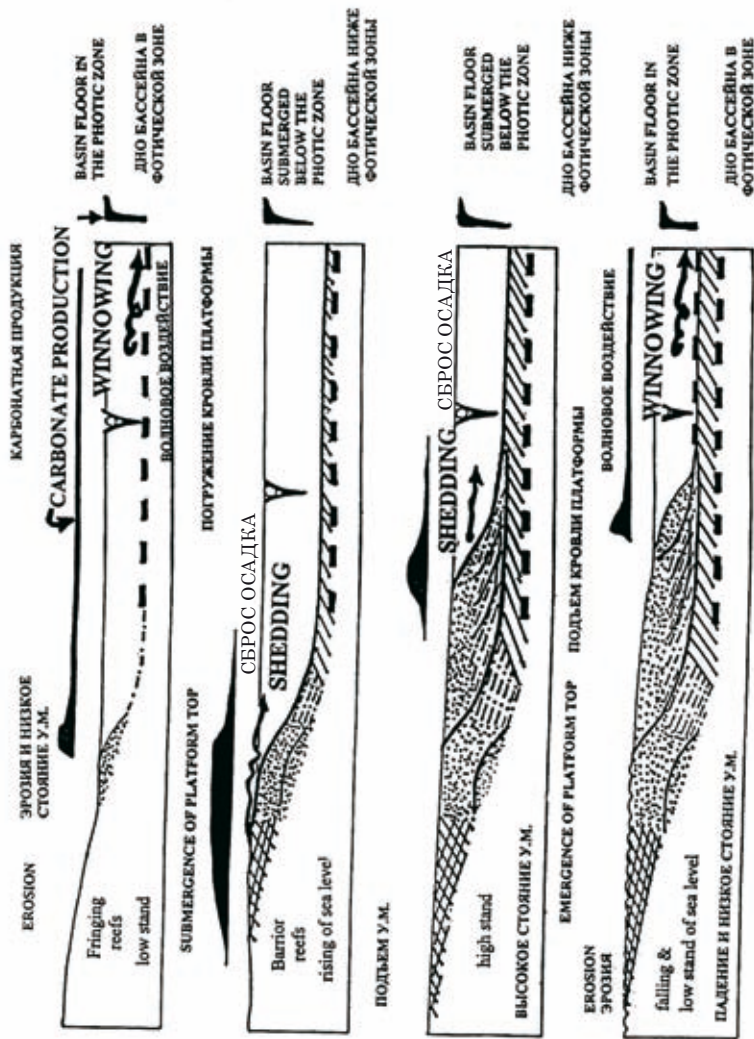


Рис. 6. Формирование секвенций в условиях эвстатических флуктуаций уровня моря (<http://strata.geol.sc.edu/images>).

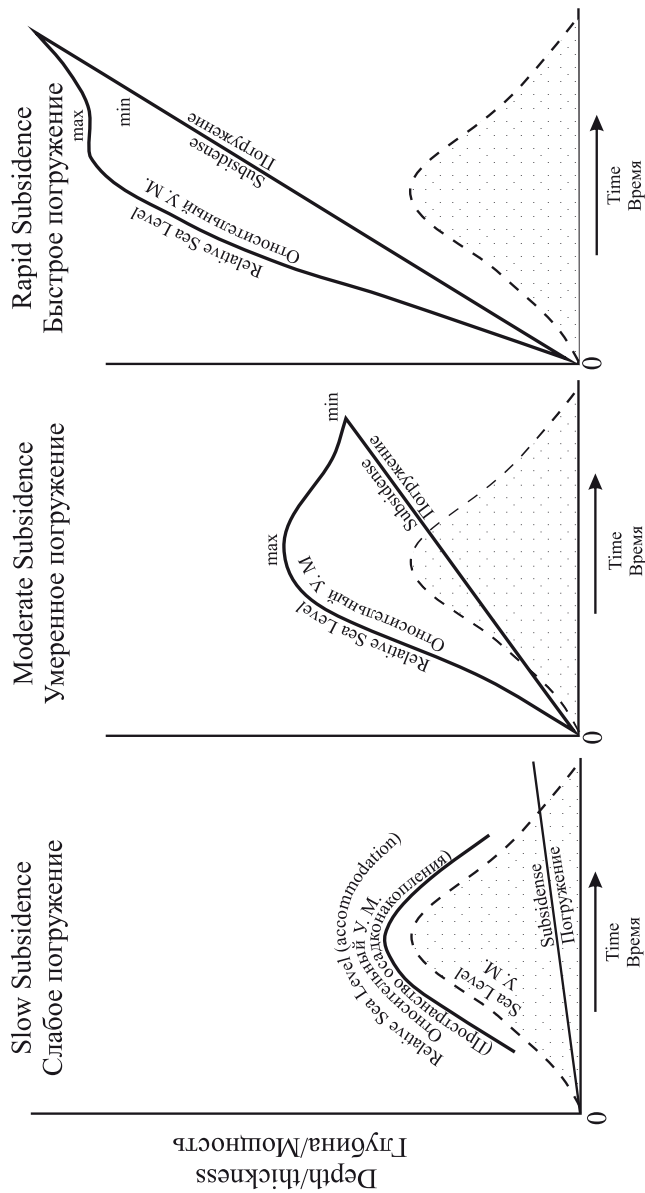
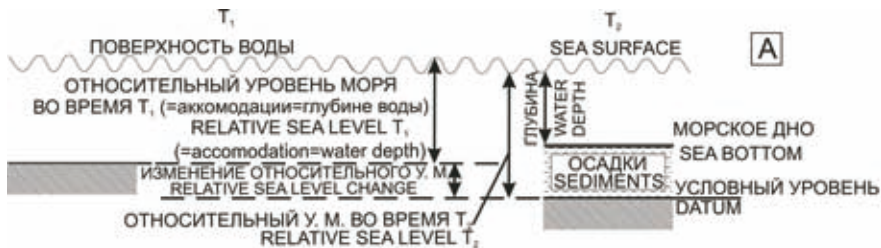
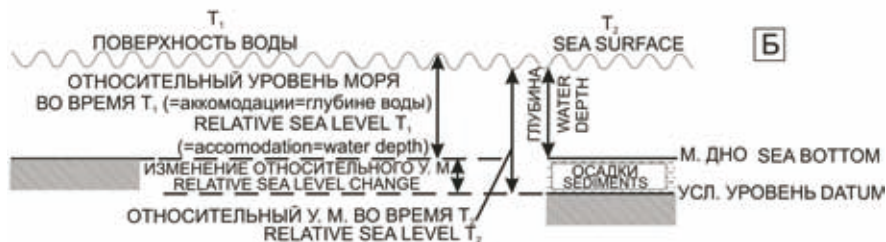


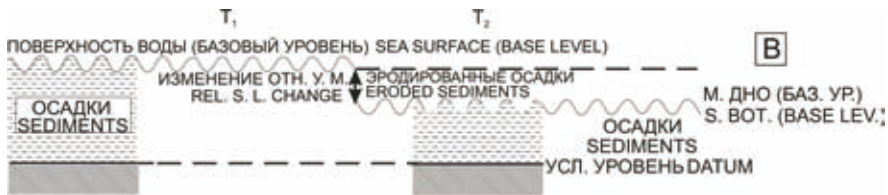
Рис. 7. Пространство осадконакопления в зависимости от скорости тектонического погружения (Emery, Muers, 1996). Сокращения: П – погружение.



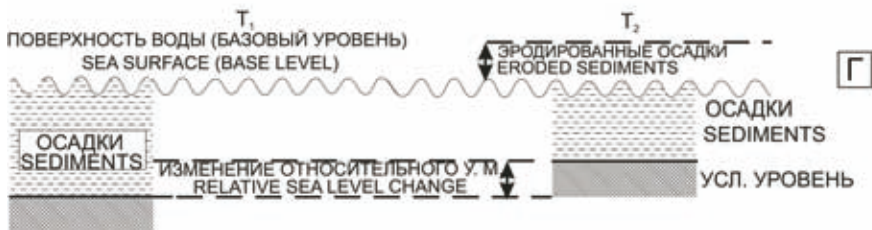
- A:
- 1) относительный уровень мирового океана поднимается от t_1 до t_2 в результате погружения;
 - 2) поступление осадков > скорости относительного подъема уровня мирового океана (аккомодация возрастает);
 - 3) аккомодация воды и глубины осадка возрастает от t_1 до t_2 , т.е. происходит возникновение трансгрессивного ряда фаций.



- B:
- 1) относительный уровень мирового океана поднимается от t_1 до t_2 в результате погружения;
 - 2) поступление осадков > скорости относительного подъема уровня мирового океана (аккомодация возрастает);
 - 3) аккомодация осадка возрастает от t_1 до t_2 , но глубина воды уменьшается, выражаясь в регрессивном ряде фаций.



- В: 1) осадком заполнен бассейн вплоть до поверхности (т.е. базового уровня) в t_1 ;
- 2) относительный уровень мирового океана понижается от t_1 до t_2 в результате эвстатического падения;
- 3) базовый уровень падает вслед за падением относительного уровня океана;
- 4) осадок эродирован до нового базового уровня.



- Г: 1) осадком заполнен бассейн вплоть до поверхности (т.е. базового уровня) в t_1 ;
- 2) относительный уровень мирового океана понижается от t_1 до t_2 в результате тектонического подъема;
- 3) базовый уровень (эвстатический уровень) не меняется;
- 4) осадок, поднятый выше базового уровня, нарушает равновесие в системе и эродирован.

Рис. 8. Взаимодействие эвстатического подъема (падения) и тектонического подъема (погружения) определяет (создает или разрушает) аккомодацию (Emery, Myers, 1996).

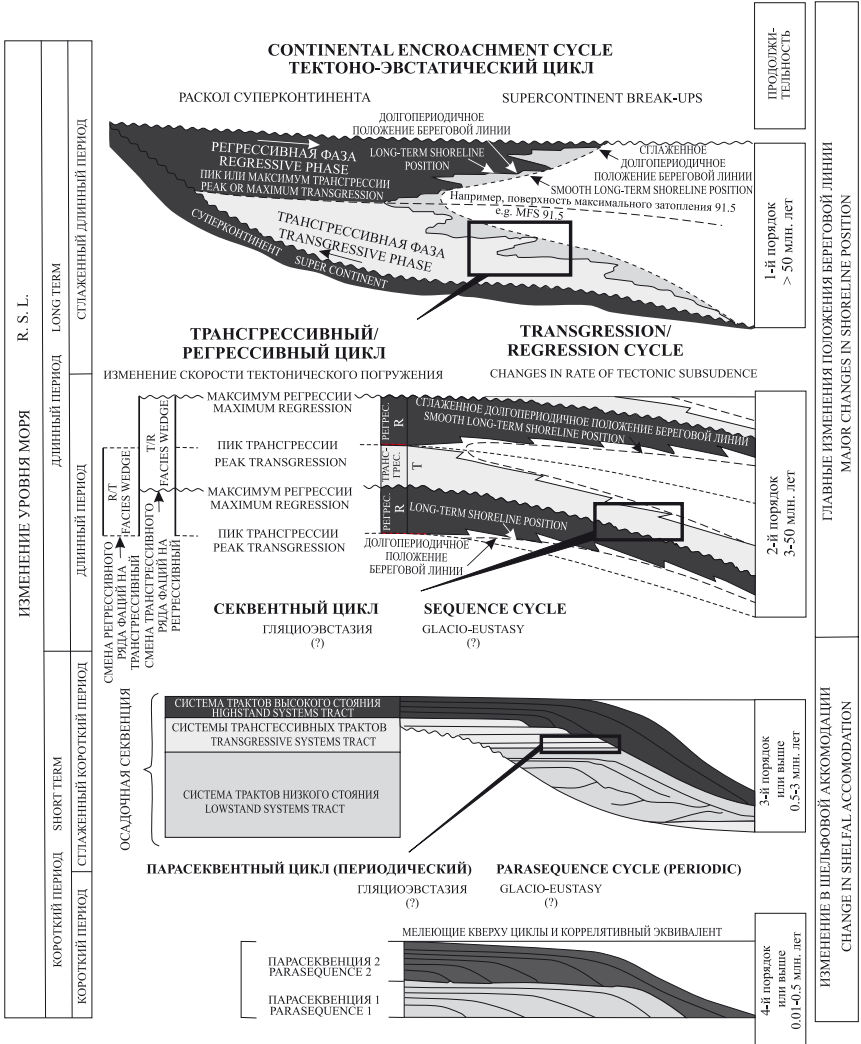


Рис. 9. Иерархия единиц секвентной стратиграфии (Ergy, Myers, 1996).

В региональном плане **главным направлением секвентной стратиграфии** является расшифровка закономерностей строения и формирования геологических тел, связанных с изменением положения береговой линии конкретного бассейна седиментации, вне зависимости от того, какими причинами оно вызвано: глобальными, региональными, локальными. Это и есть **основная задача секвентной стратиграфии**, решение которой позволяет осуществлять детальную внутрибассейновую корреляцию.

Следует отметить, что терминология и иерархия понятий и подразделений в секвентной стратиграфии находятся еще в стадии формирования. Общепринятыми можно считать термины – **парасеквенция, секвенция, суперсеквенция и мегасеквенция**. Поскольку в образовании секвентных категорий (рис. 9) значительная роль принадлежит колебаниям уровня моря, они и определяются циклами разного ранга. Существуют циклы пяти порядков, при этом крупные единицы – супер- и мегасеквенции связаны с наиболее протяженными циклами первого и второго порядков, секвенции – с циклами третьего и реже четвертого порядков (1–5 млн.л). Парасеквенции, являющиеся элементами секвенций, связаны с циклами четвертого и пятого порядков.

Парасеквенция (parasequence) представляет собой мелкую вверх последовательность слоев, ограниченную поверхностями морского затопления (*marine flooding surface*). По сути дела **парасеквенция** представляет собой регрессивный цикллит. Поверхность морского затопления, или **marine flooding surface** представляет собой плоскость напластования, вдоль которой фиксируется резкое увеличение глубины бассейна.

Пакетом парасеквенций (parasequence set) называется последовательность парасеквенций по вертикали, имеющих определенный тип напластования – проградационный, ретроградационный и агградационный (рис. 10–18). Проградационный пакет парасеквенций направлен в сторону бассейна и носит регрессивный характер, ретроградационный направлен в противоположную сторону и носит трансгрессивный характер, агградационный характеризуется стабильным положением береговой линии.

Несогласия и их типы. Несогласием (**unconformity**) называется поверхность, разделяющая более древние и более молодые пласты, вдоль которой отмечаются признаки субаэрального эрозионного срезания (а в некоторых местах, коррелирующей с ним субаквальной эрозии) или субаэральной экспозиции, сопровождающейся значительным перерывом в осадконакоплении (Van Wagoner et al., 1988). В зависимости от характера геометрических соотношений у поверхности несогласия выделяются следующие типы подошвенных и кровельных несогласий.

Основные типы несогласий относительно самой поверхности несогласия, которые прослеживаются на сейсмических профилях, следующие.

1. Взаимоотношение слоев у верхней границы сейсмофации.

Эрозионное срезание (erosional truncation) – слои в кровле сейсмофации ограничиваются поверхностью эрозии (рис. 19). Может встречаться в разных позициях в осадочной толще, но чаще всего связано с угловыми несогласиями.

Кровельное прилегание (toplap) – моноклинально залегающие слои в кровле ограничены поверхностью, выше которой слои залегают более полого (рис. 20). Поверхность называется поверхностью утыкания (toplap surface). Кровельное прилегание обычно связано с эрозией или перерывом в седиментации.

2. Взаимоотношение слоев по отношению к нижней границе, ограничивающей сейсмофацию.

Налегание или подошвенное налегание (onlap) – прилегание (прислонение) толщи горизонтально лежащих слоев к наклоненной поверхности (рис. 21). Эта поверхность называется поверхностью прилегания или прислонения. Может встречаться, например, прилегание к склоновой поверхности, прилегание к бортам эрозионных систем, налегание на интрузивное тело и так далее.

Прилегание или подошвенное прилегание (downlap) - несогласие, когда слоистая толща наклонена и книзу утыкается в более пологую поверхность (рис. 22). Эта поверхность называется поверхностью прилегания (downlap surface). Прилегание характерно, например, для подошвы клиноформной серии (рис. 23).

Согласное залегание относительно поверхности несогласия

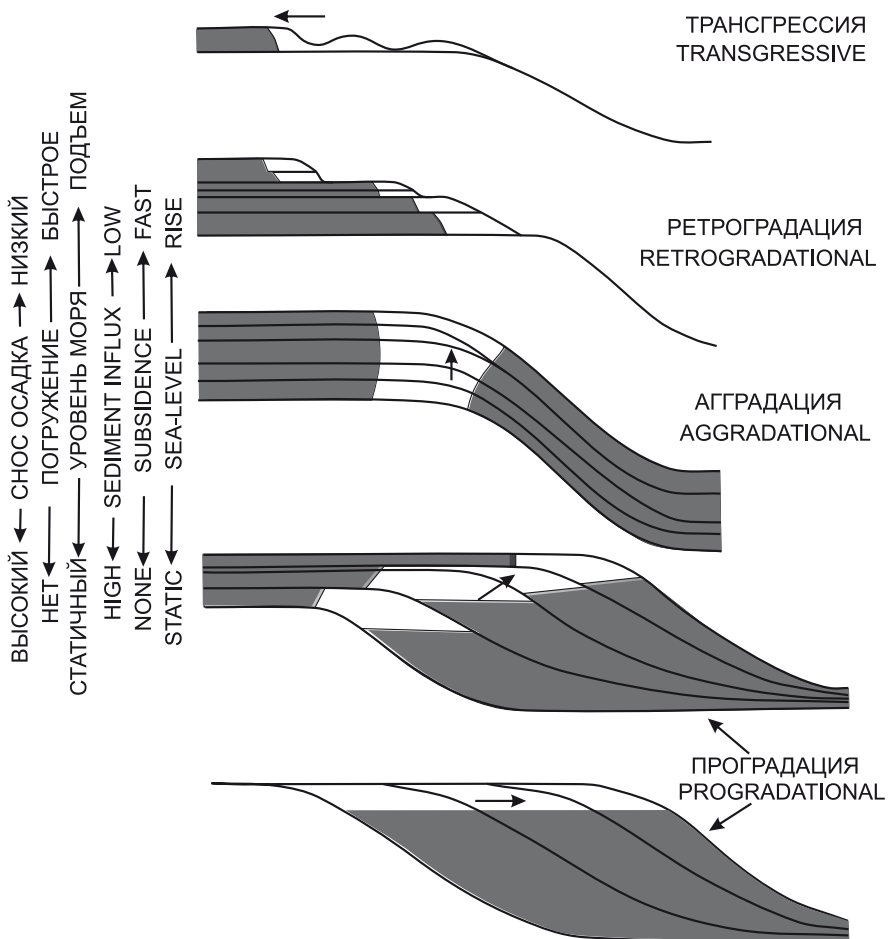


Рис. 10. Основные типы напластования: трансгрессивный, ретроградационный, агградационный и проградационный (Etter, 1999).

Аггратационный пакет парасеквенций Aggradational Parasequence Set

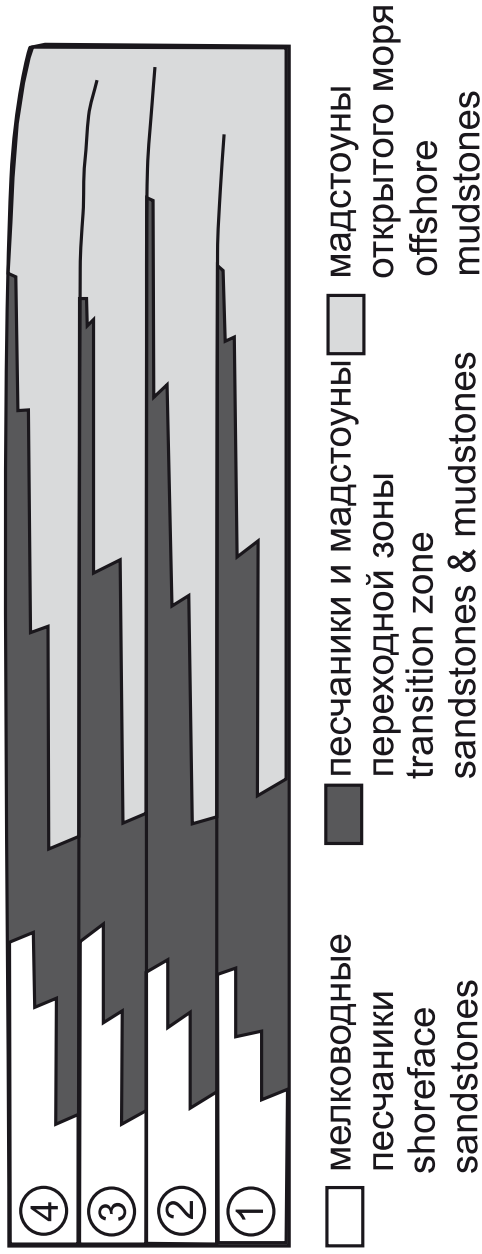


Рис. 11. Структура аггратационного пакета секвенций
(Van Wagoner et al., 1990, www.uga.edu/~strata/sequence/parasetts.html).

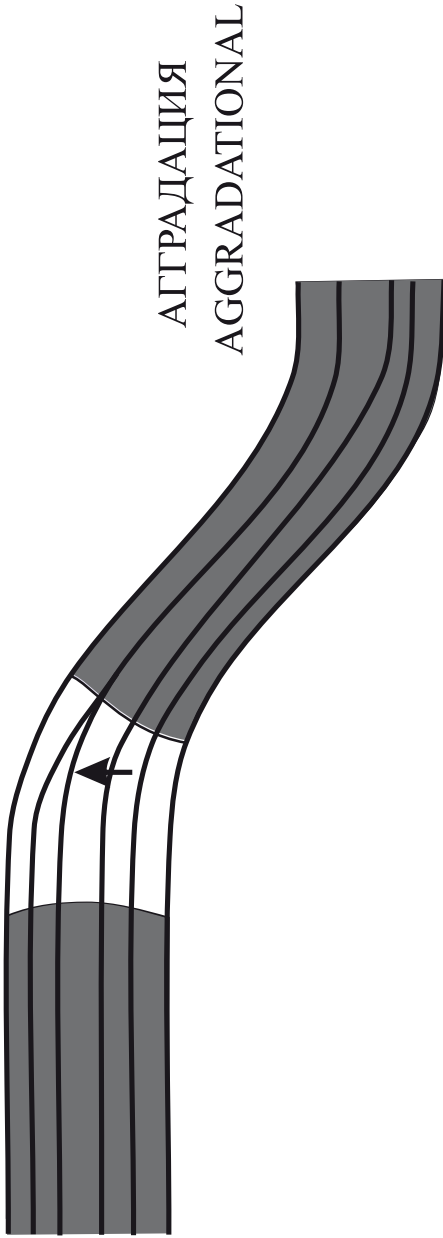


Рис. 12. Агградація (Emery, 1999, <http://strata.geol.sc.edu/images>).

Проградационный пакет парасеквенций Progradational Parasequence Set

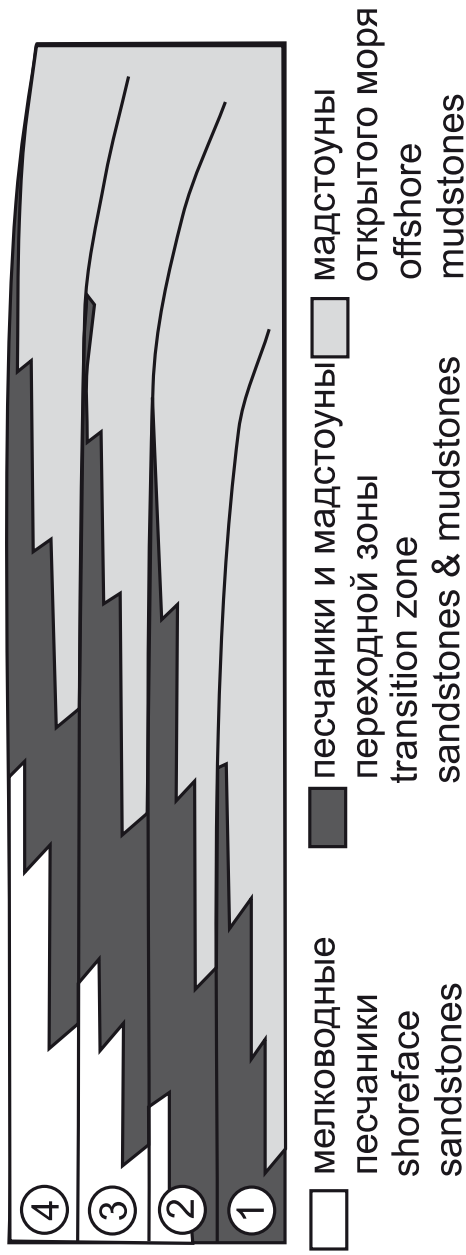


Рис. 13. Строение проградационного пакета секвенций
(Van Wagoner et al., 1990, www.uga.edu/~strata/sequence/paraset.html).

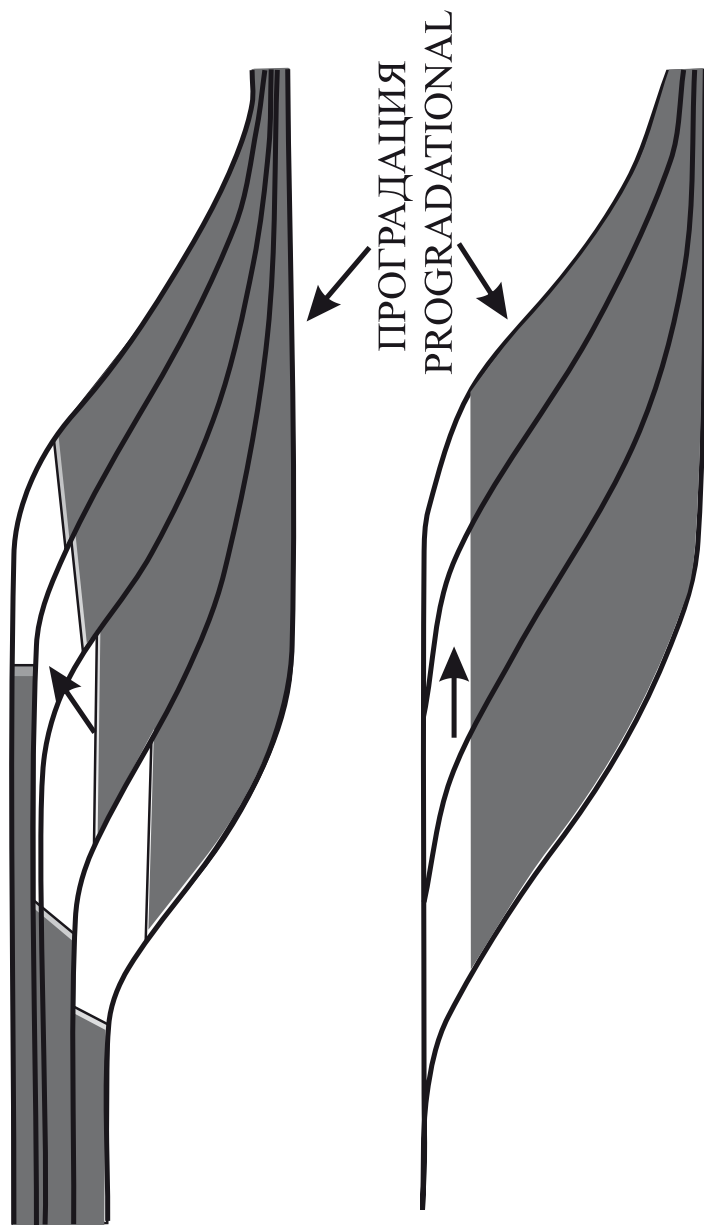
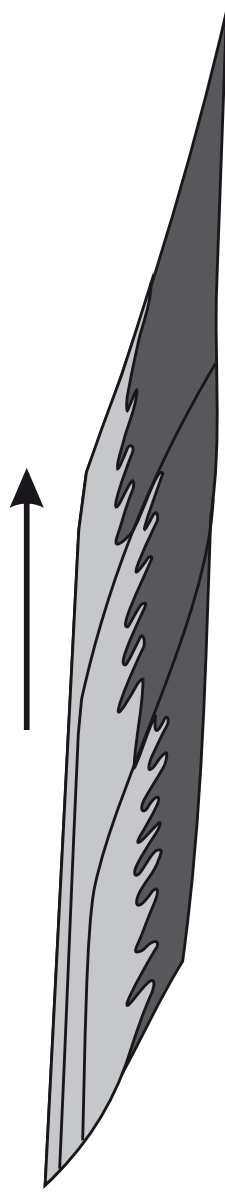


Рис. 14 а. Проградация. А (Emery, 1999); Б (<http://strata.geol.sc.edu/images>).

АККОМОДАЦИЯ < ПРИВНОСА ОСАДКОВ

Accommodation < Sediment Supply



Progradation

Рис. 14 б. Прогрессивация. А (Emery, 1999); Б (<http://strata.geol.sc.edu/images>).

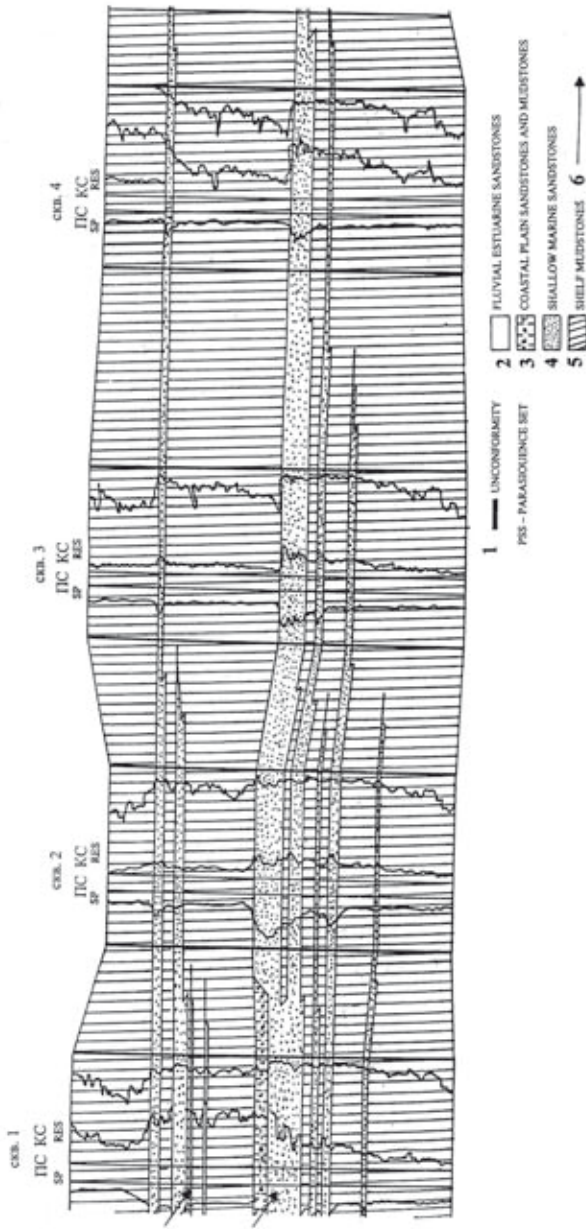


Рис. 15. Пример проградационных тел в профиле по данным каротажа скважин
(<http://strata.geol.sc.edu/images/paraprogstackingfinal.jpg>).

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.

Ретроградационный пакет парасеквенций Retrogradational Parasequence Set

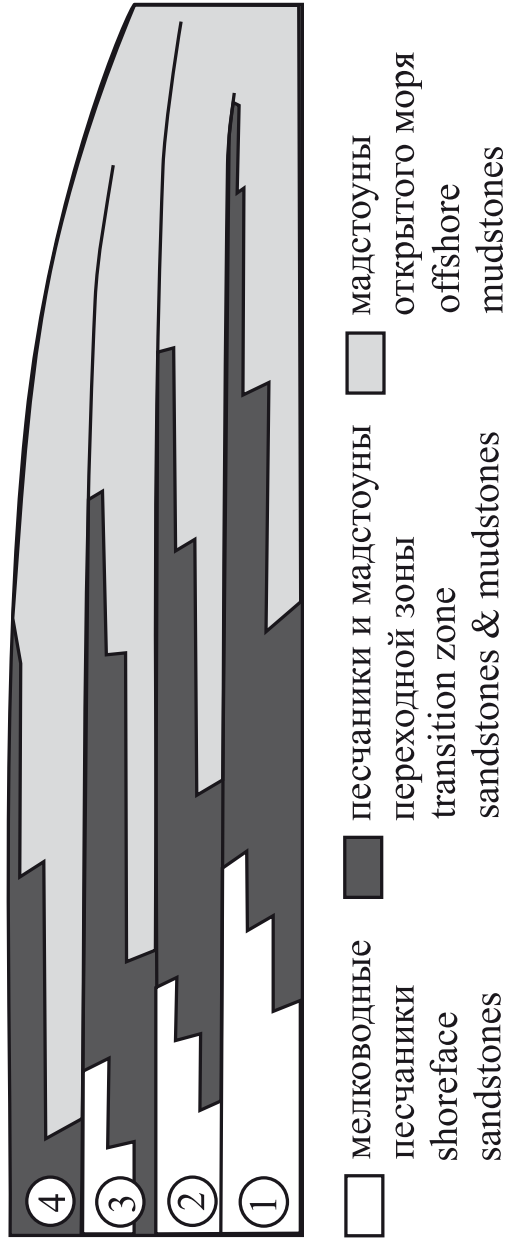


Рис. 16. Структура ретроградационного пакета секвенций
(Van Wagoner et al., 1990, www.uga.edu/~strata/sequence/parasetts.html).

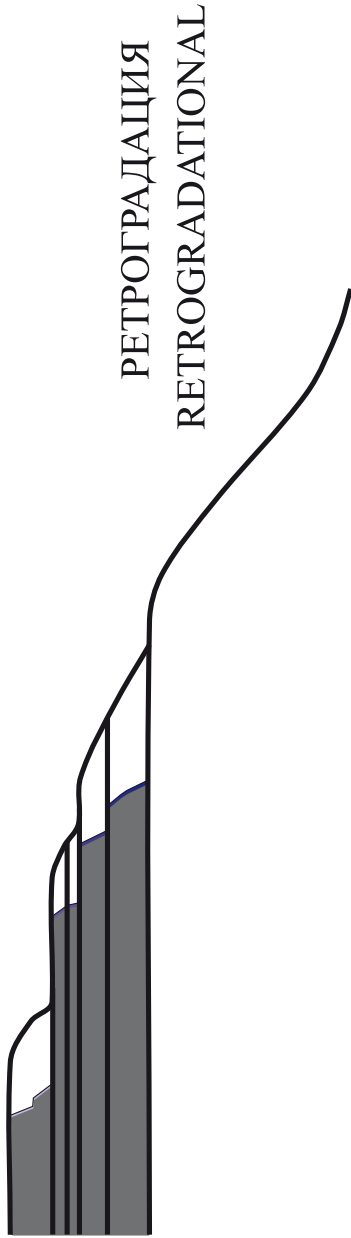
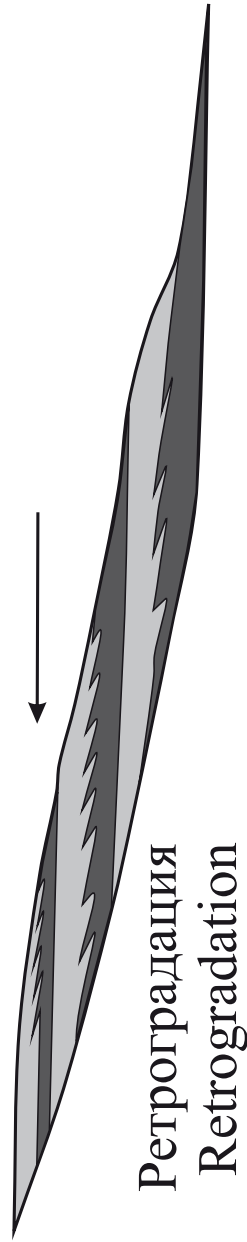


Рис. 17 а. Ретроградація: (Етегу, 1999);

Аккомодация > привноса осадков
Assomodation > Sediment Supply



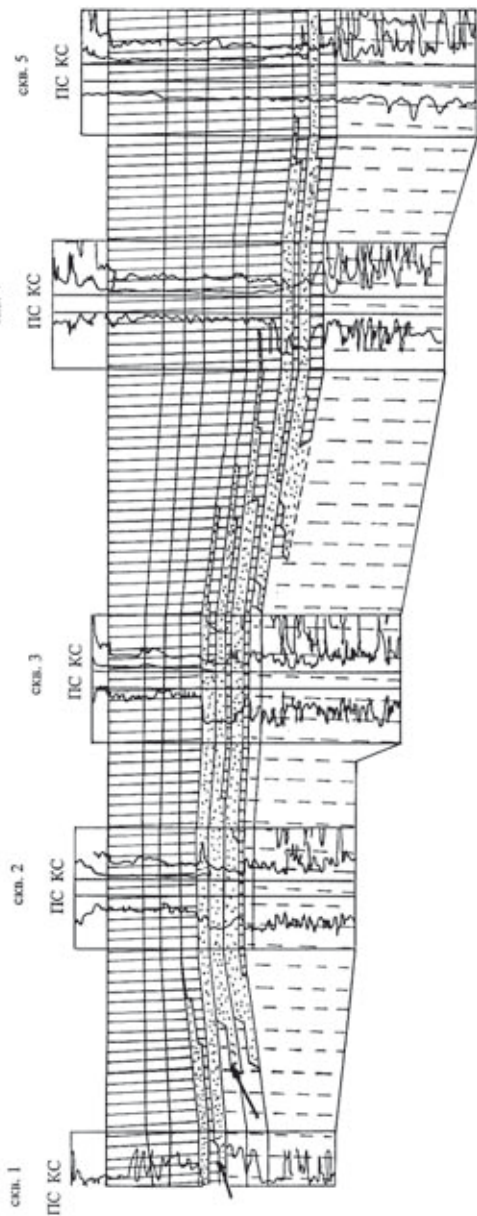


Рис. 18. Пример ретроградационных тел в профиле по данным каротажа скважины
 (<http://strata.geol.sc.edu/images/retrogradstackingfinal.jpg>).

Условные обозначения: 1 – несогласия; 2 – флювиальные равнины; 4 – мелководно-морские песчаники; 5 – шельфовые мадстоуны; 6 – эпизоды формирования ретроградационных пакетов секвенций (см. рис. 15).

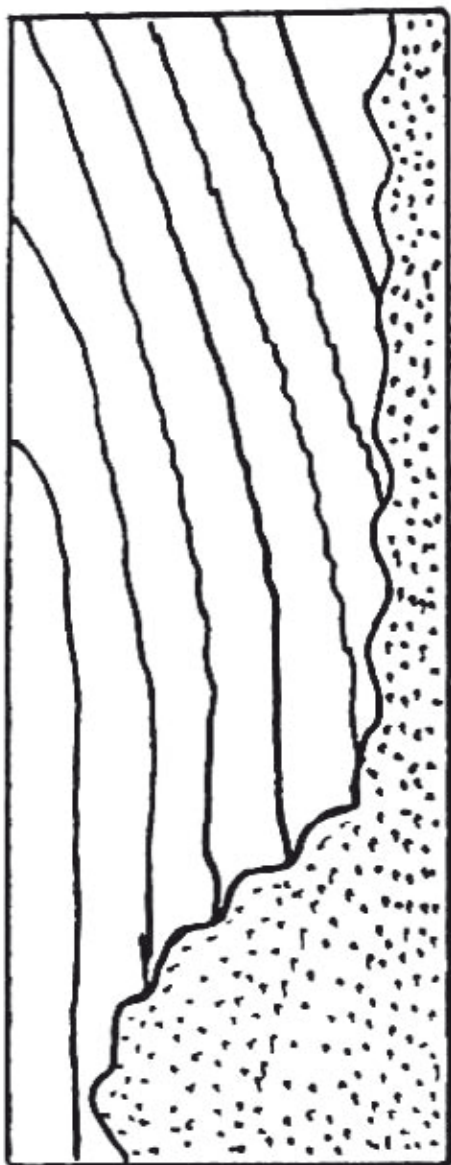


Рис. 19. Эрозионное срезание (Mitchum et al., 1977).

(*concordance*) – в данном случае верхняя пачка слоев, параллельна нижним слоям (рис. 24). Следует заметить, что термин согласное залегание (*concordance*) имеет множество значений, и в данном случае всегда особо оговаривается, что слои залегают согласно именно с самой поверхностью несогласия.

Перечисленные типы несогласий встречаются в самых разнообразных соотношениях.

Понятие осадочной секвенции определяется характером ограничивающих ее поверхностей, в независимости от мощности ограничиваемых осадочных комплексов.

Границей секвенций 1-го типа (*Type 1 sequence boundary*) называется несогласие, представленное подошвенным налеганием и характеризующееся следами субаэральной экспозиции, эрозионным рельефом и смещением фаций в сторону бассейна. Предполагается, что граница секвенций 1-го типа образуется в том случае, когда скорость относительного падения уровня моря значительно превышает скорость погружения дна бассейна (рис. 25).

Граница секвенций 2-го типа (*Type 2 sequence boundary*) также характеризуется подошвенным налеганием в прибрежных областях и маркируется субаэральной экспозицией. Однако здесь не наблюдается столь явно выраженного смещения фаций в сторону бассейна. Предполагается, что граница второго типа формируется в тех случаях, когда скорость относительного падения уровня моря примерно соответствует скорости погружения дна бассейна (рис. 26).

Секвенции, имеющие в основании границу 1-го типа, называются секвенциями 1-го типа. Соответственно те из них, что имеют в основании границу 2-го типа, называются секвенциями 2-го типа (рис. 25–27). Полная осадочная секвенция состоит из трех частей, именуемых **трактами седиментационных систем (*system tracts*)**. Тракты представляют собой латеральные фациальные ряды (***depositional system***), образовавшиеся в различных обстановках седиментации. При этом особо важное значение имеет колебание относительного уровня моря и его положение относительно бровки шельфа (***shelf break***).

Тракт низкого стояния уровня моря (*TNC*), или *lowstand*

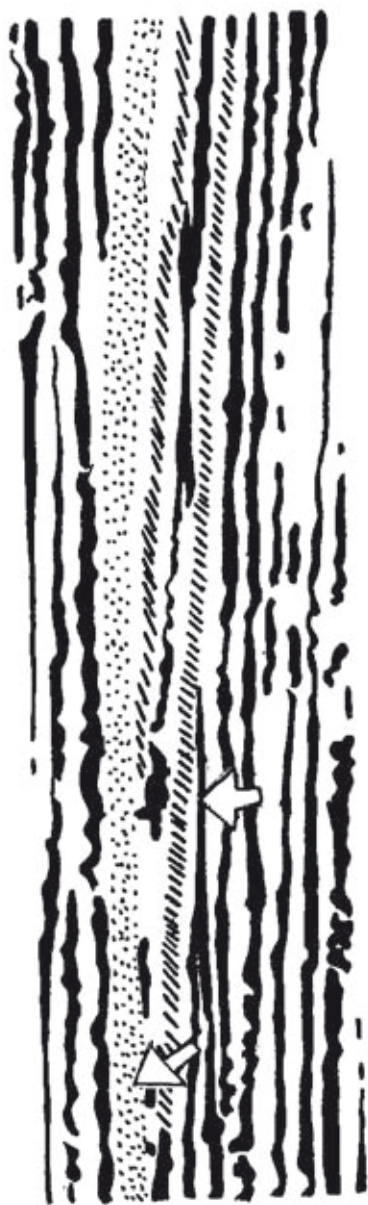


Рис. 20. Кровельное прилегание.

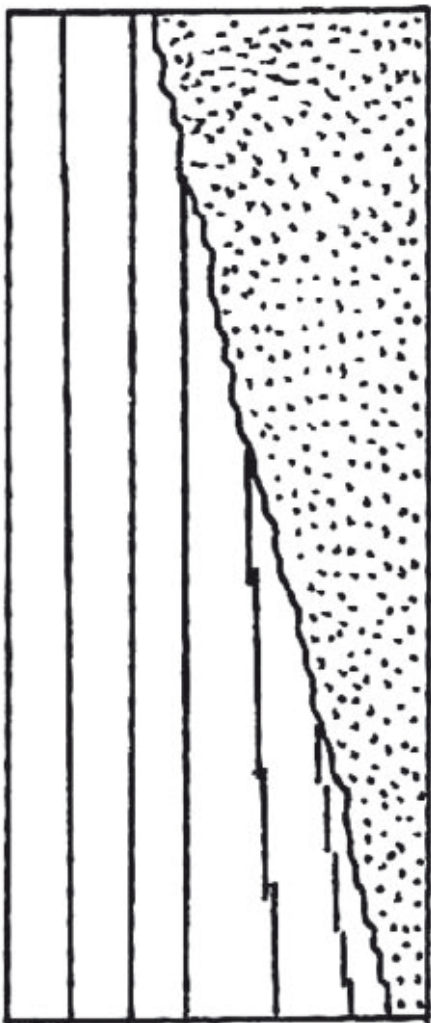


Рис. 21. Налегание или подошвенное налегание (Mitchum et al., 1977).

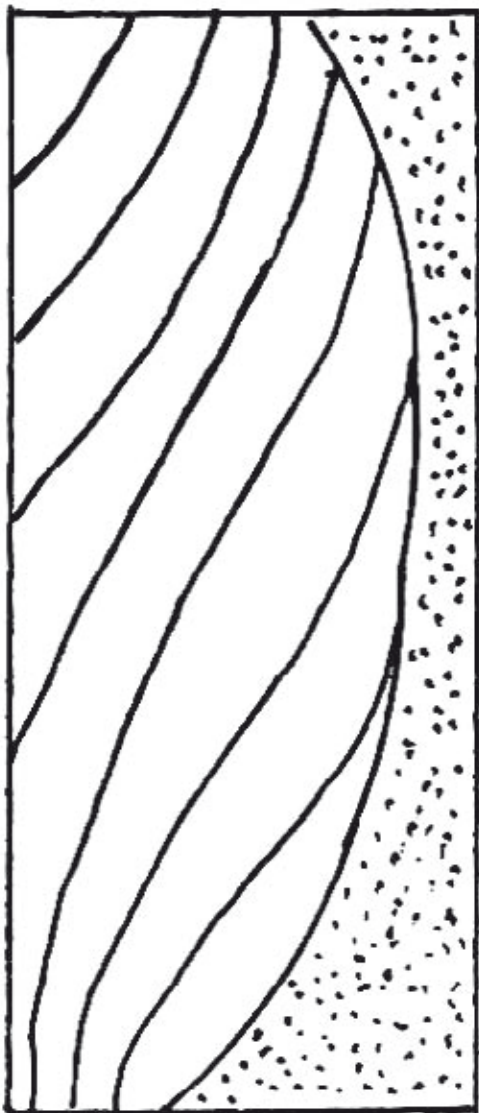


Рис. 22. Прилегание или подошвенное прилегание:
А – принципиальная схема (Mitchum et al., 1977).

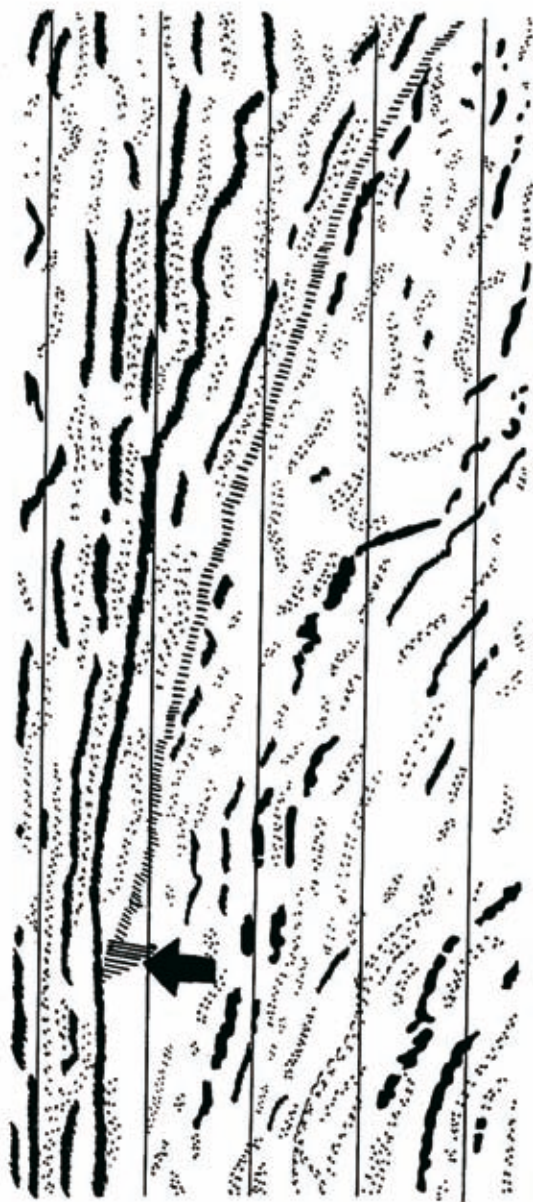


Рис. 22. Прилегание или подошвенное прилегание: Б – фрагмент сейсмопрофиля.

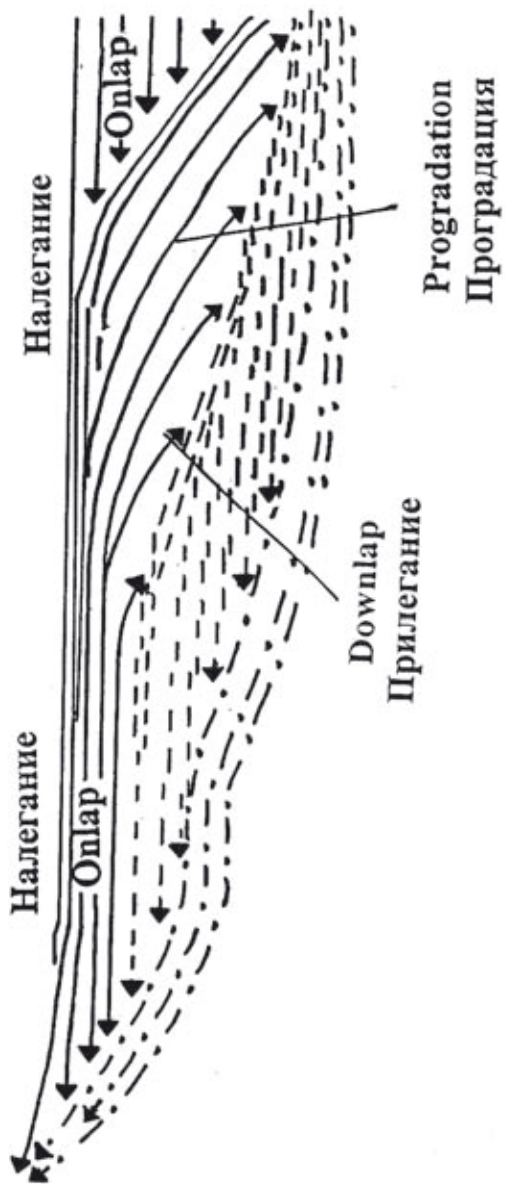


Рис. 23. Принципиальная схема несогласий всех типов.

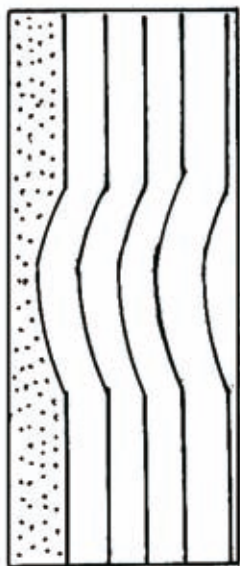
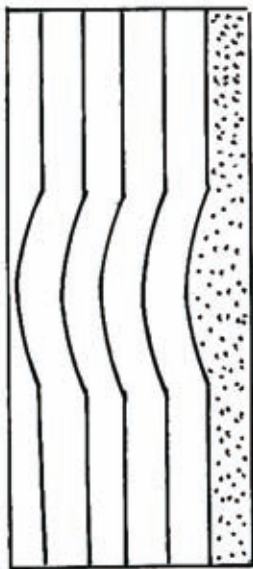


Рис. 24. Согласно залегание относительно поверхности несогласия (Mitchum et al., 1977).

systems tract формируется при падении уровня моря до наименьшего состояния и осушения шельфа (рис. 28–31). Основная седиментация происходит за счет быстрого транспорта обломочного материала в область подножья континентального склона (состояние систем трактов низкого раннего стояния). При этом осадконакопление осуществляется в глубоких частях бассейна, где формируются ***донный конус выноса (basin-floor fan)***. Его накопление связано с действием эрозионных каналов на склоне и врезанных долин на шельфе. ***Склоновый конус выноса (slope fan)*** представлен зерновыми потоками, формирующимися в средней части или ближе к основанию склона. После максимума падения уровня моря, в условиях значительно осушенного шельфа крупномасштабный транспорт обломочного материала с суши приводит к засыпанию области континентального склона в виде ***проградации*** (продвижения вперед) клиноформных комплексов в основном в области континентального склона и его подножья (*состояние систем трактов позднего низкого стояния*).

Трансгрессивная система трактов (ТСТ), или transgressives systems tract формируется при подъеме уровня моря над бровкой шельфа и условий общей трансгрессии (рис. 32–33). Осадочный материал откладывается на шельфе, и фронт седиментации движется в сторону континента в виде трансгрессивной серии. ТСТ представлена ретроградационным пакетом парасеквенсов, характеризующим трансгрессию как на шельф, так и на приморскую низменность. В зашельфовой области вследствие дефицита осадков образуется глинистый ***конденсированный разрез (condensed-section deposits)***. Подошва этого фронта именуется ***трансгрессивной поверхностью (transgressive surface)***. Она представляет собой поверхность максимального затопления, которая маркирует начало трансгрессии, выражающейся в смещении береговой линии в сторону суши. Отложения ***ТСТ*** характеризуются подошвенным налеганием на границу секвенции в направлении суши и формируют подошвенное прилегание к трансгрессивной поверхности в направлении бассейна.

При плавном достижении высокого стояния уровня моря наступает состояние ***систем трактов высокого стояния (ТВС)***,

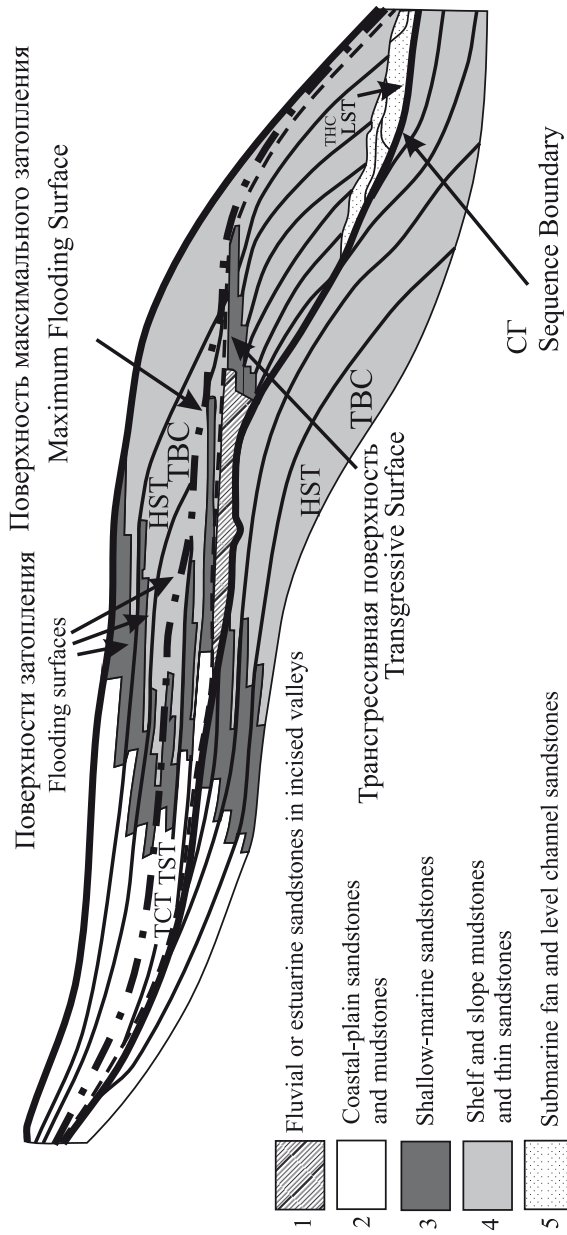


Рис. 25. Седиментационная модель секвенции первого типа
 (Van Wagoner et al., 1990, www.uga.edu/~strata/sequence/types.html).

Условные обозначения: 1 – флювиальные или эстуарные песчаники во врезанных долинах;
 2 – песчаники и мадстоуны прибрежной равнины; 3 – мелководно-морские песчаники;
 4 – шельфовые или склоновые мадстоуны и тонкие песчаники; 5 – песчаники подводного ко-
 нуса выноса и намытого (берегового) канала. Сокращения: ТНС – тракты низкого стояния;
 ТВС – тракты высокого стояния; ТСТ – трансгрессивная система трактов,
 СТ – секвентные границы.

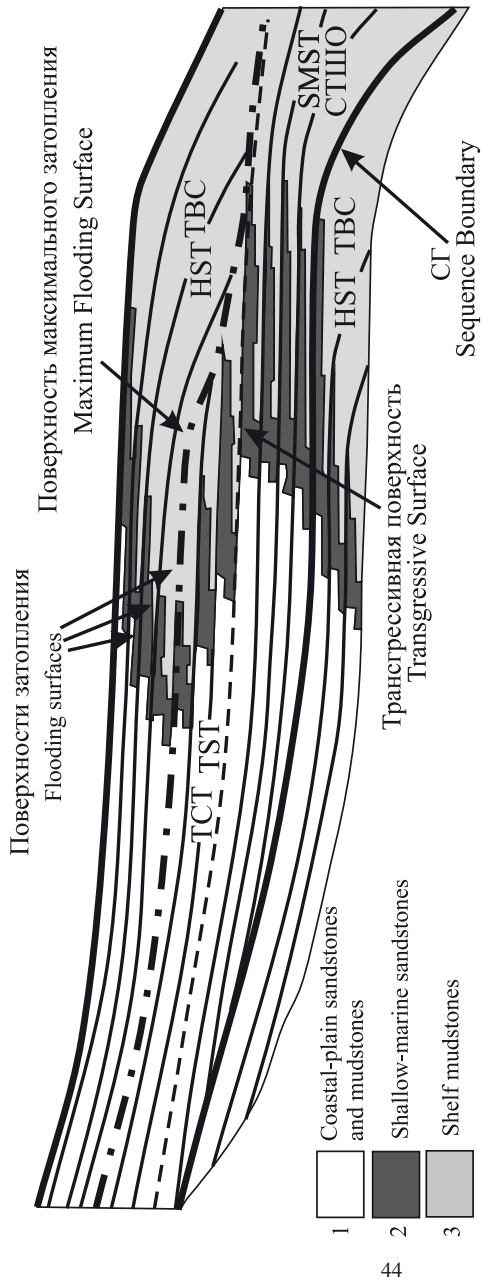


Рис. 26. Седиментационная модель секвенции второго типа

(Van Wagoner et al., 1990, www.uga.edu/~strata/sequence/types.html).

Условные обозначения: 1 – песчаники и мадстоуны прибрежной равнины; 2 – мелководно-морские песчаники; 3 – шельфовые или склоновые мадстоуны и тонкие песчаники. СТПШ – система трактов шельфовой окраины, остальные сокращения – см. рис. 25.

MAJOR SEQUENCE STRATIGRAPHIC AND CHRONOSTRATIGRAPHIC SURFACES

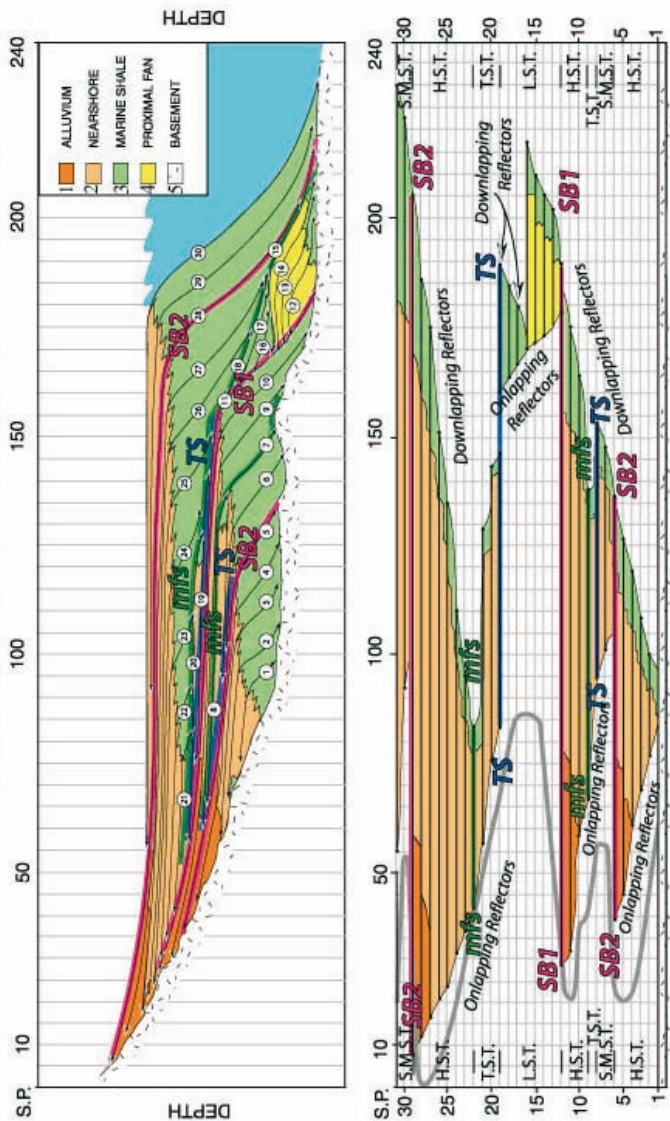


Рис. 27. Основные секвентно-стратиграфические и хроностратиграфические поверхности (http://strata.geol.sc.edu/images). Условные обозначения: 1 – аллювий; 2 – прибрежные осадки; 3 – морские сланцы; 4 – проксимальный конус выноса; 5 – основание.
 Сокращения: mfs – поверхность максимального затопления; SB1 – граница секвенций 1-го типа; SB2 – то же, 2-го типа; TS – трансгрессивная поверхность.

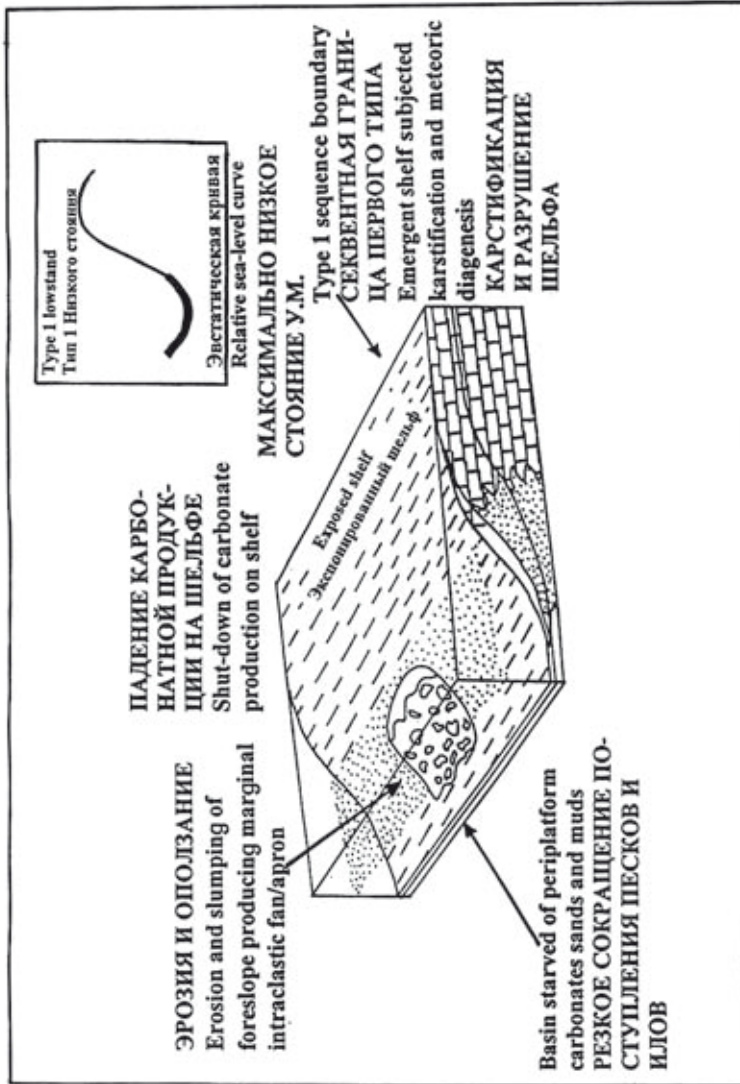


Рис. 28. Модель седиментационной обстановки тракта низкого стояния (Doyle et al., 1998; <http://strata.geol.sc.edu/images>). Секвентная граница 1-го типа.

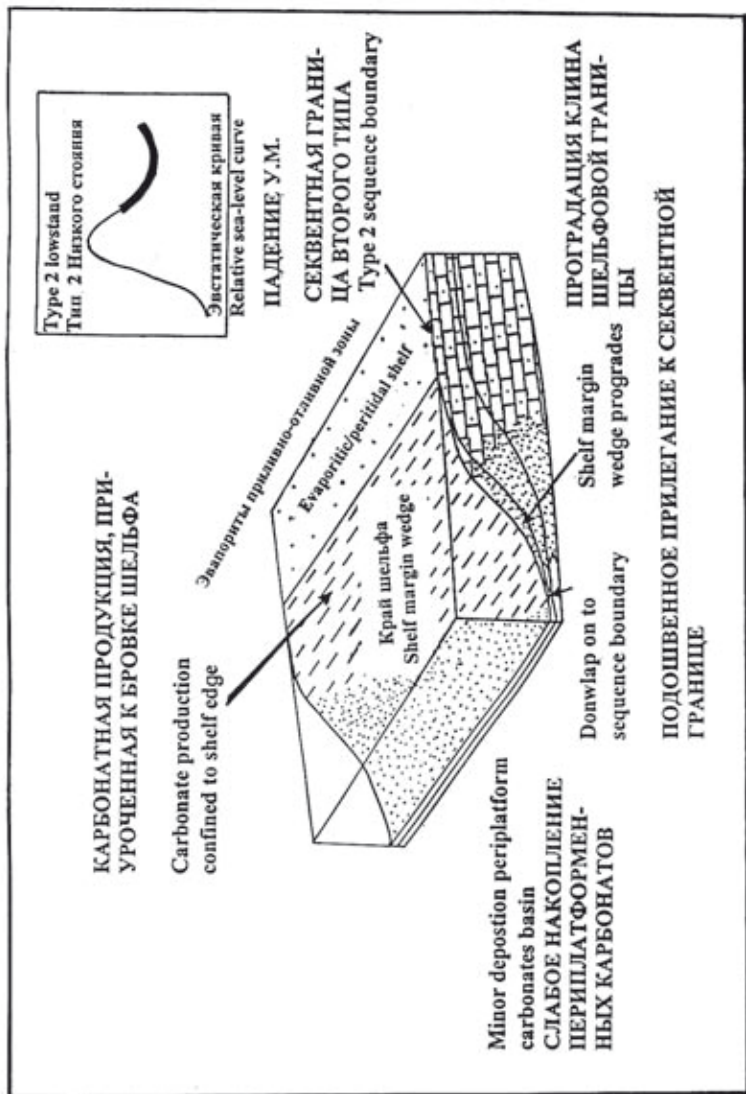


Рис. 29. Модель седиментационной обстановки тракта низкого стояния (Doyle et al., 1998; <http://strata.geol.sc.edu/images>). Секвентная граница 2-го типа.

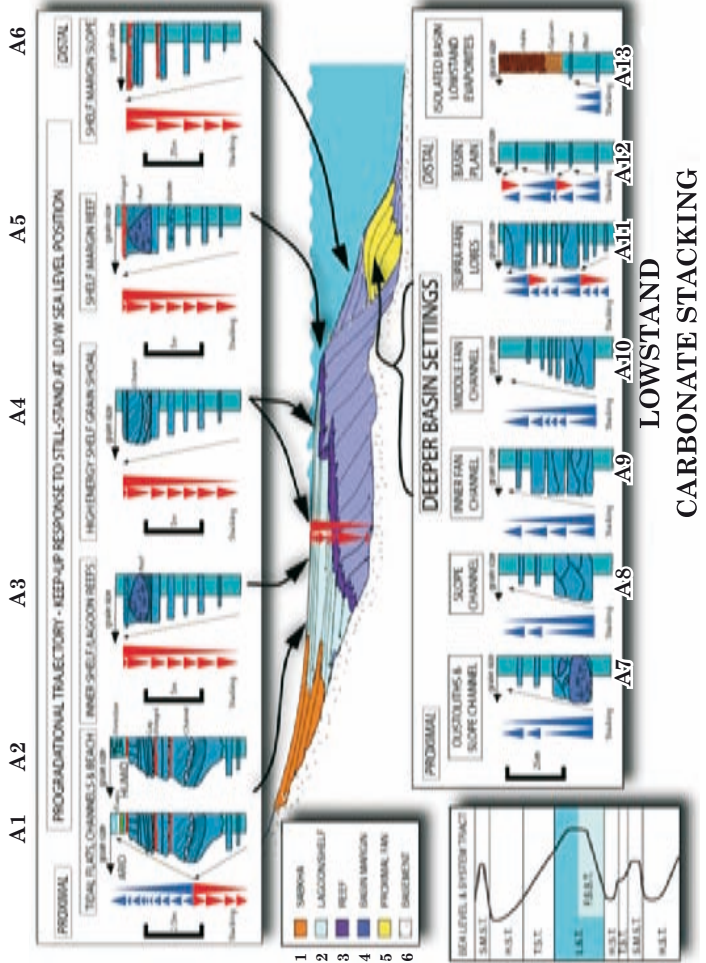


Рис. 30.
Седиментационная
обстановка тракта
низкого стояния
(<http://strata.geol. sc.edu/itages>).
Условные обозначения:

- 1 – сабха;
- 2 – лагуна/шельф;
- 3 – риф;
- 4 – граница бассейна;
- 5 – проксимальный конус выноса;
- 6 – основание.

CARBONATE STACKING

Приливные равнины, каналы и пляжи: A1 – аридный климат, A2 - гумидный, A3 – внутренний шельф/прифы лагуны, A4 – высокоэнергетическая шельфовая обломочная банка, A5 – риф бровки шельфа, A6 – граница склона шельфа, A7 – олистолимиты и склоновый канал, A8 - склоновый канал, A9 – канал внешнего конуса выноса, A10 – канал средней части конуса выноса, A11 – котловины супра-конуса, A12 – дно бассейна, A13 – эваториты изолированного бассейна низкого стояния. Примечание: ширина колонки отображает размер зерен, который увеличивается справа налево

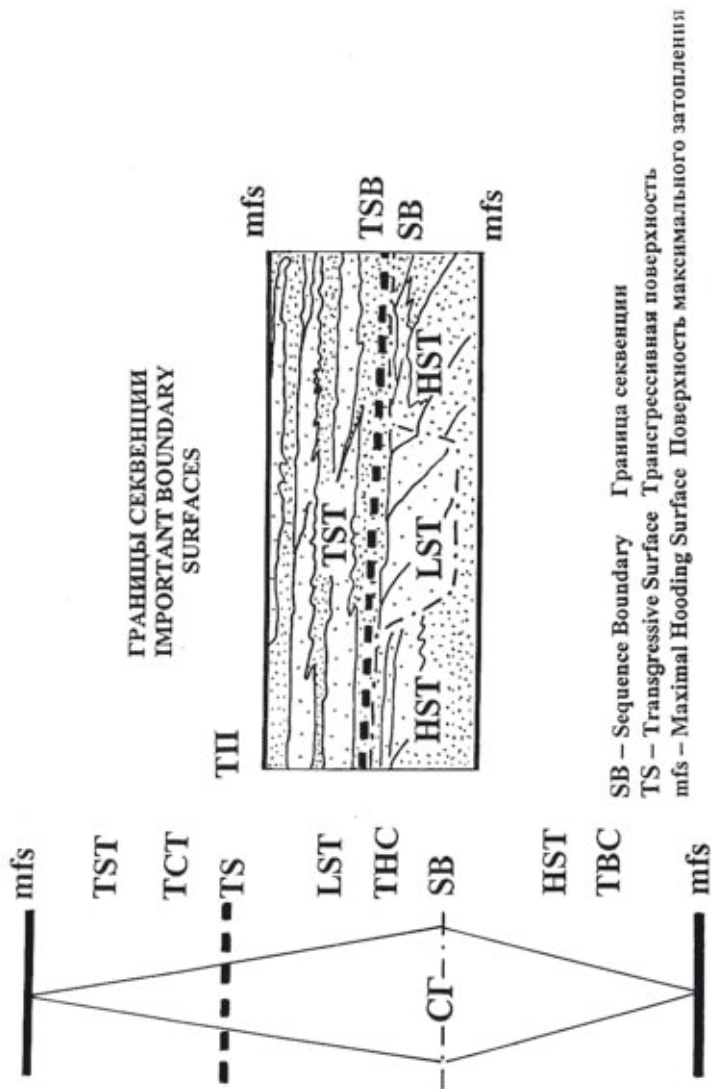


Рис. 31. Основные граничные поверхности в седиментационной обстановке тракта низкого стояния (<http://strata.geol.sc.edu/images>).
Сокращения: ТП – трангрессивная поверхность; СГ – секвентная граница.

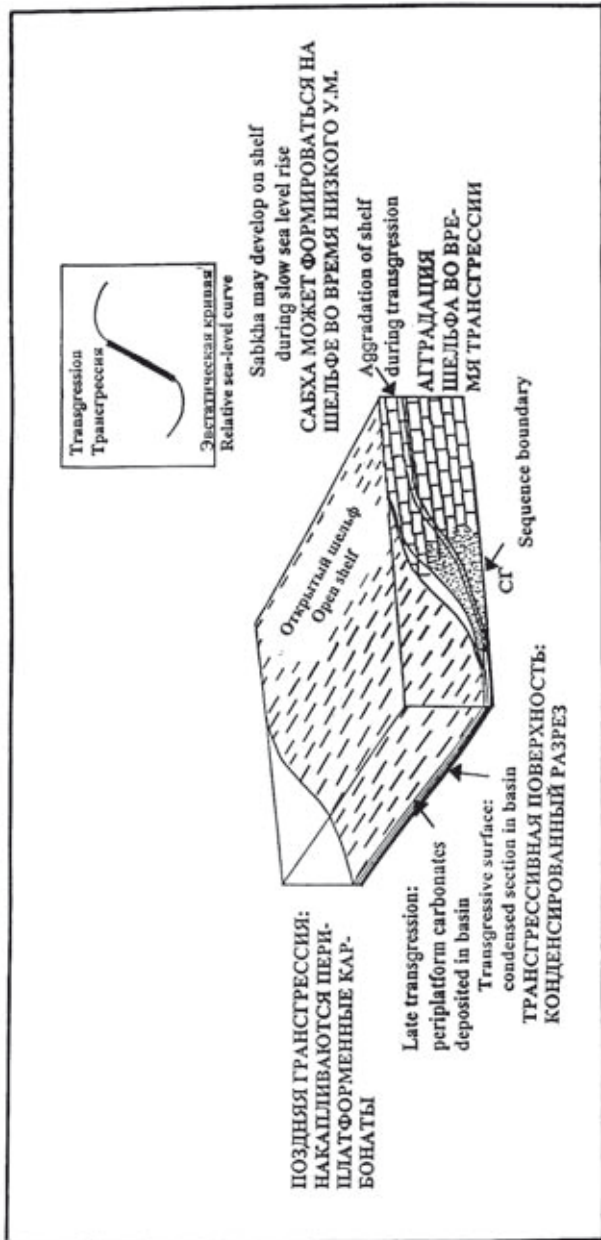


Рис. 32. Модель седиментационной обстановки системы трансгрессивного тракта (Doyle et al., 1998; <http://strata.geol.sc.edu/images>). СТ – секвентные границы.

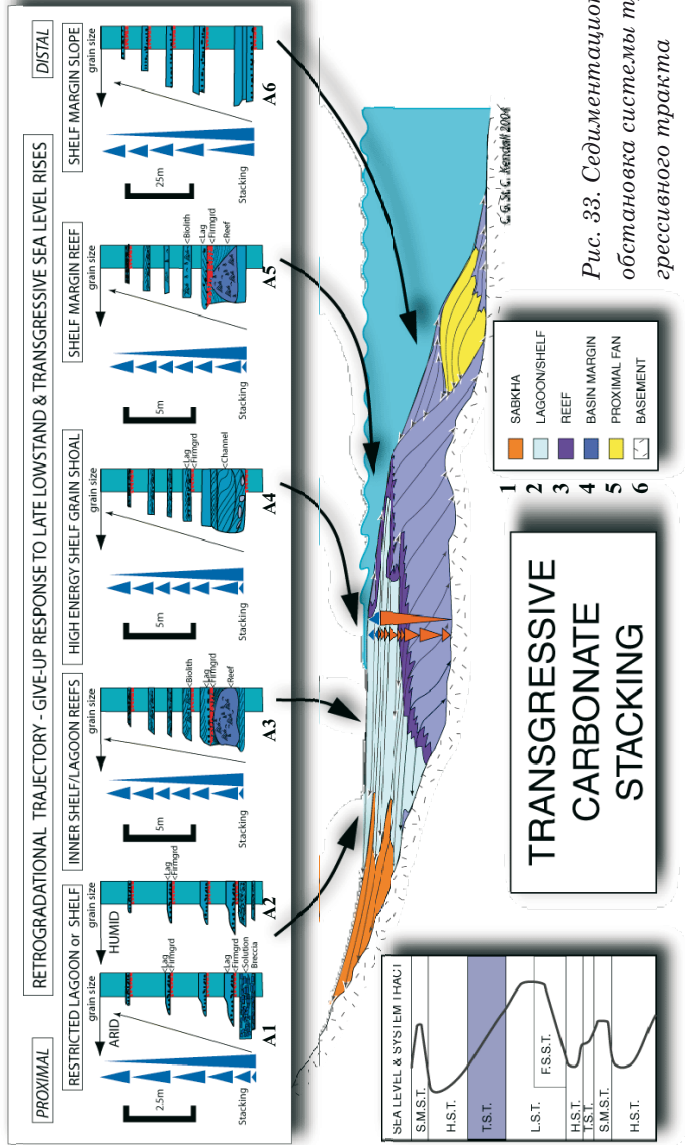


Рис. 33. Седиментационная обстановка системы трансгрессивного тракта (<http://strata.geol.sc.edu/images>).

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/рифы лагуны, А4 – высокоэнергетическая шельфовая обломочная банка, А5 – риф бровки шельфа, А6 – граница склона шельфа

или *highstand systems tracts*. Море стабильно затопляет шельфы, которые перекрываются осадочным материалом (рис. 34–35). Основная масса обломочного материала перекрывает шельф и транспортируется к границе шельфа и континентального склона, где формируется система пологих клиноформ проградации шельфовых комплексов в сторону континентального склона. Осадки максимального затопления шельфа и приморской низменности (ингрессии) и коррелятивный им глубоководный конденсированный разрез служат маркирующими горизонтами и реперами при составлении разрезов. Они присутствуют в любых типах секвенций, надежно выделяются на сейсмопрофилях и каротаже. Подошва *TBC* является поверхностью *максимального затопления территории (maximum flooding surface)*. Этот тракт может характеризоваться одним или более агградационными пакетами парасеквенций, которые сменяются вверх по разрезу парасеквенциями с геометрией проградирующих клиноформ. Парасеквенции внутри *TBC* трансгрессивно налегают на границу секвенций в направлении суши и образуют подошвенное прилегание с кровлей *TCT* в направлении бассейна.

Существуют обстановки, в которых замедление скорости подъема относительного уровня моря и его стабилизация не сопровождаются осушением шельфа и перемещением осадочного пространства в бассейновую часть. В связи с этим в секвенции может отсутствовать типичный *тракт низкого стояния TNC*, а вместо него при наиболее низком положении уровня моря формируется *окраинно-шельфовый тракт (shelf-margin systems tract)*. Его формирование происходит в том случае, когда зона затопленного шельфа уже насыщена осадочным материалом, обломочный материал в основном транспортируется в зону континентального склона и к его подножью. Он представлен пакетом парасеквенций от проградационной до агградационной последовательности. При этом его отличие от нижележащего *тракта высокого стояния (TBC)* не всегда заметно и граница между ними не всегда отчетлива.

Уже упоминавшиеся секвенции первого типа *содержат тракт низкого стояния (TNC)* с проградационным пакетом парасеквенций, его сменяет *трансгрессивная система трактов*

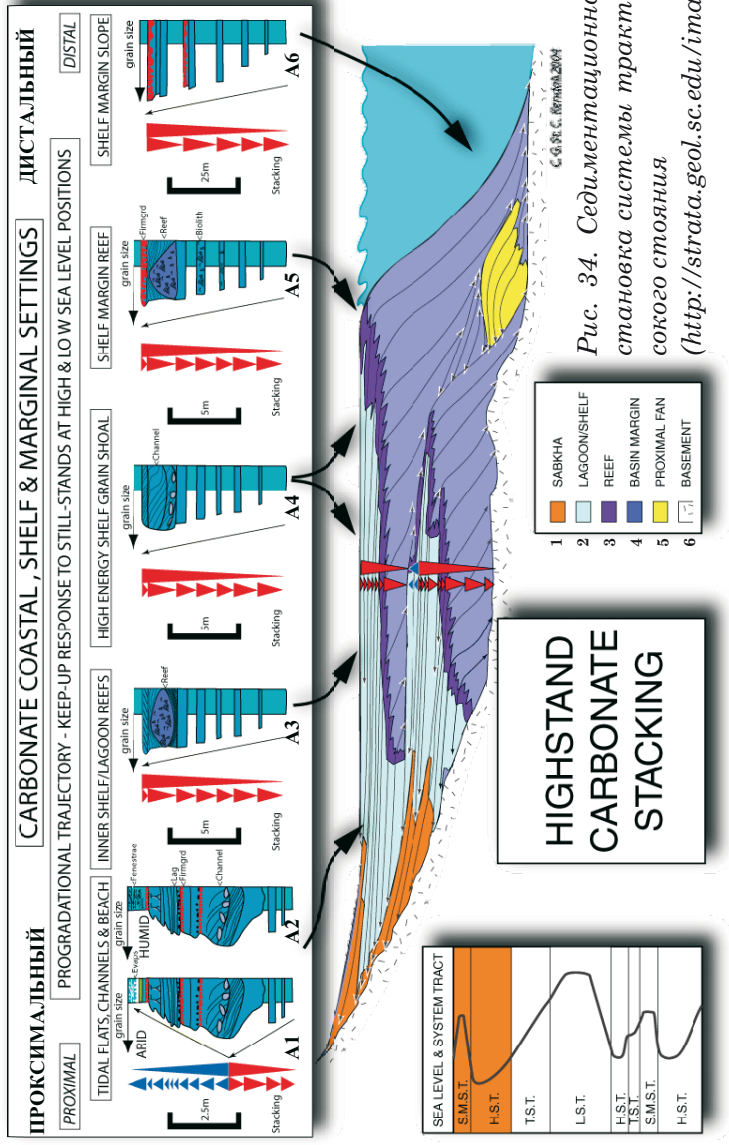


Рис. 34. Седиментационная обстановка системы трактов высокого стояния (<http://strata.geol.sc.edu/images>).

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

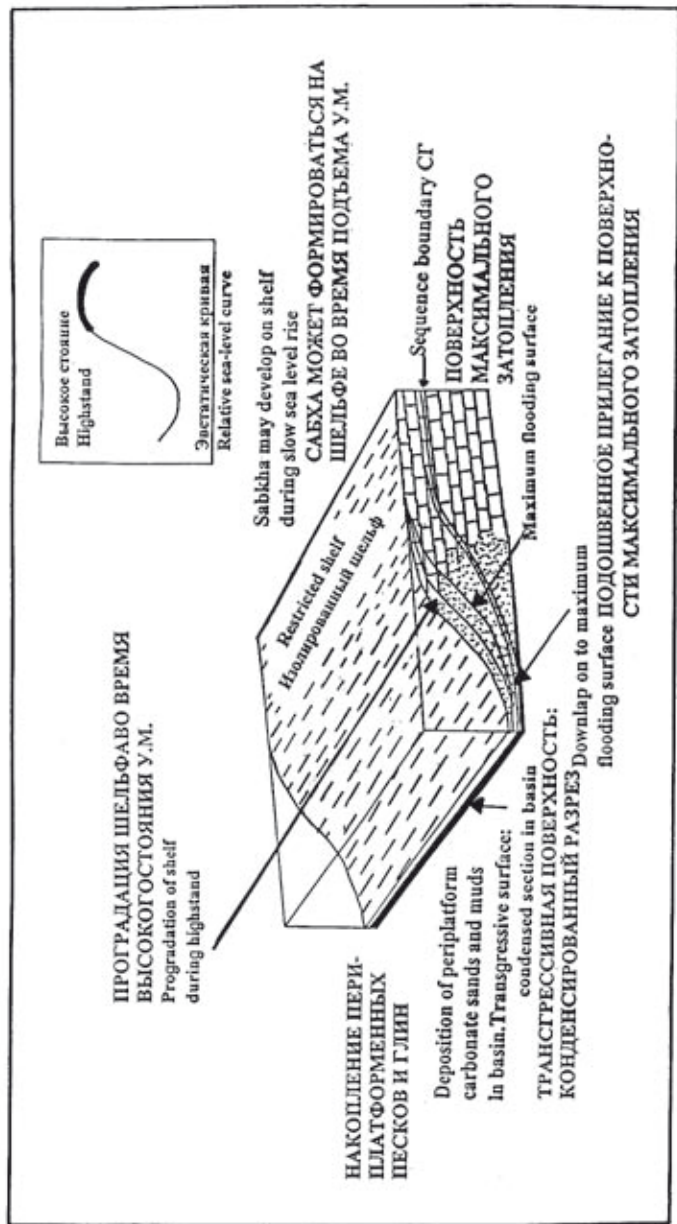


Рис. 35. Модель седиментационной обстановки системы трактов высокого стояния (Doyle et al., 1998; <http://strata.geol.sc.edu/images>).

ТСТ с ретроградационным пакетом парасеквенций, затем следует *тракт высокого стояния ТВС* с проградационным пакетом парасеквенций. При этом нижняя граница секвенции 1-го типа является очень четкой, так как она разделяет тракты высокого и низкого стояния. В секвенции 2-го типа нижняя граница весьма расплывчата, так как она разделяет тракт высокого стояния и тракт шельфовой окраины, который сменяется трансгрессивной системой трактов с ретроградационным пакетом парасеквенций, а затем трактом высокого стояния с проградационной системой парасеквенций.

На сейсмопрофилях различные пакеты парасеквенций показывают разный рисунок отражающих поверхностей внутри секвенций. Так *наращивание осадков (offlap)* отражает продвижение фронта осадконакопления в сторону более глубокой части бассейна (то есть проградация). По рисунку *наращивания осадков* на сейсмических профилях выделяются *косые серии наращивания осадков (oblique offlap)*, *сигмоидальные серии наращивания осадков (sigmoidal offlap)*, *вертикальные серии наращивания осадков (aggradational offlap)*. На рисунке 35 показана принципиальная схема характера формирования осадочной толщи на континентальной окраине, показывающая основные границы и систему трактов в рамках понятий секвентной стратиграфии. История формирования данной толщи хорошо отражена на хроностратиграфическом разрезе. На схемах видно, что во время низкого стояния уровня моря (системы трактов низкого стояния) осадки формируются в основном у подножья континентального склона и на континентальном склоне; в области шельфа в это время преобладает эрозия. При быстром подъеме уровня моря (трансгрессивная система тракта) фронт седиментации движется в сторону континента и осадки перекрывают шельф; а в области континентального склона и его подножья преобладает конденсированное осадконакопление. При высоком стоянии уровня моря (системы трактов высокого стояния) осадки покрывают максимально широкую область. При стабилизации высокого стояния уровня моря (системы трактов шельфовой окраины) осадки формируются в основном в области границы шельфа и континентального склона.

2. МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ СЕКВЕНЦИЙ И ФАЦИИ

Мощности отдельных элементов секвенций, степень выраженности ограничивающих их поверхностей, геометрия пластов внутри них зависят от многих факторов. Среди них важнейшими являются: 1) поступление обломочного материала с суши; 2) скорость и амплитуда относительных колебаний уровня моря; 3) рельеф дна бассейна седиментации. Сочетания этих вариаций весьма многообразны, и все их отразить практически невозможно. В зависимости от скорости и масштаба поступления осадочного материала с источника сноса можно представить себе секвенцию, где ТНС будет занимать весьма значительное место, а можно напротив иметь секвенцию, представленную только ТВС. Столь же значимую роль играет скорость и масштаб относительных колебаний уровня моря. Тем не менее, поскольку полно развитая осадочная секвенция всегда состоит из трех элементов, можно представить упрощенную схему ее формирования.

Подшва секвенции. Любая секвенция начинается с границы. Подшва секвенции, по определению, представлена несогласием и/или коррелирующей с ним согласной поверхностью. Несогласие всегда формируется в момент относительного падения уровня моря при субаэральной экспозиции и эрозии отложений, оказавшихся выше уровня моря. При этом могут формироваться русла и каналы врезания. В прибрежной части бассейна эрозионная поверхность может переходить в поверхность ненакопления, которая отмечает не столько процесс эрозии подстилающих отложений, сколько вынос осадков в более удаленные от берега части. В центральной части бассейна несогласие постепенно теряется, переходя в ненарушенные поверхности. Процесс субаэральной эрозии сопровождается выносом осадочного материала в глубоководные части бассейна. Здесь из этого материала формируются осадки ранних стадий

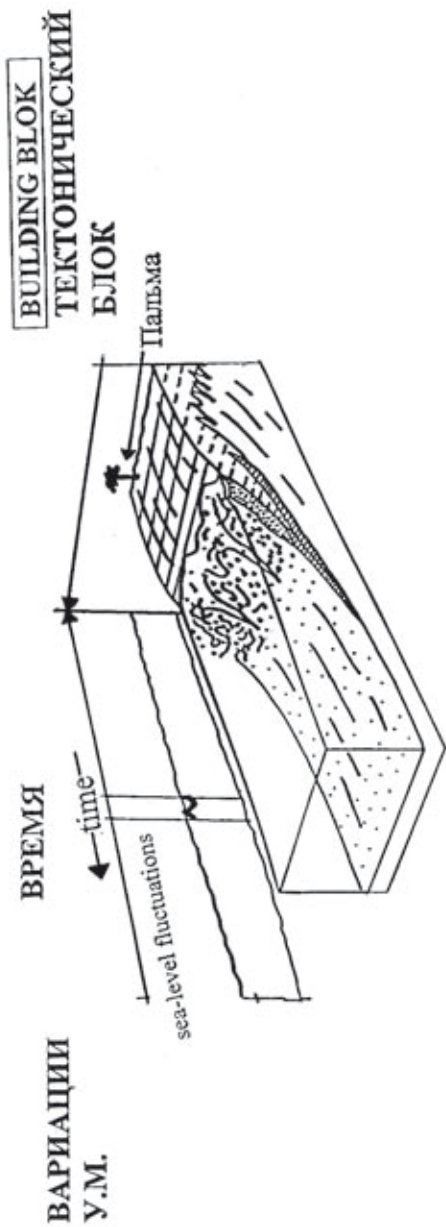


Рис. 36. Система траптов карбонатной платформы (<http://strata.geol.sc.edu/images>).
 А – система траптов низкого стояния. Начальная стадия.

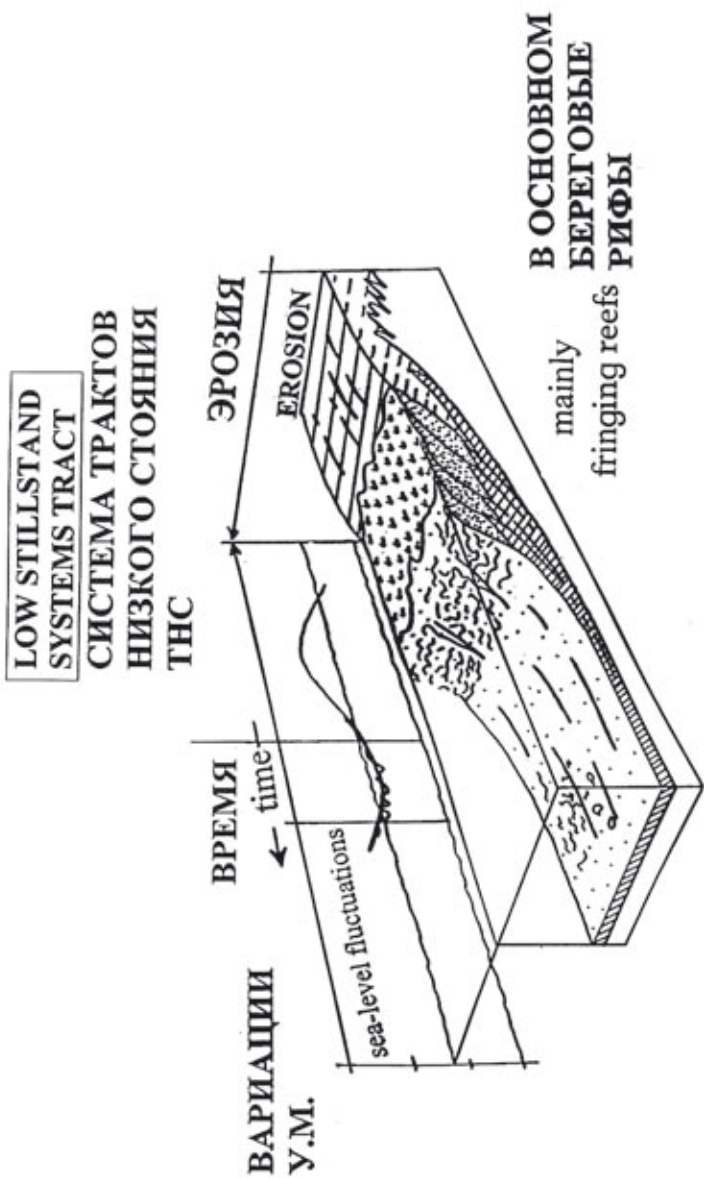


Рис. 36. Система трактов карбонатной платформе (<http://strata.geol.sc.edu/images>).
 Б – система трактов низкого стояния.

СИСТЕМА АГГРАДАЦИОННЫХ ТРАКТОВ

AGGRADING SYSTEMS TRACT

ВРЕМЯ

**ВАРИАЦИИ
У.М.**

time

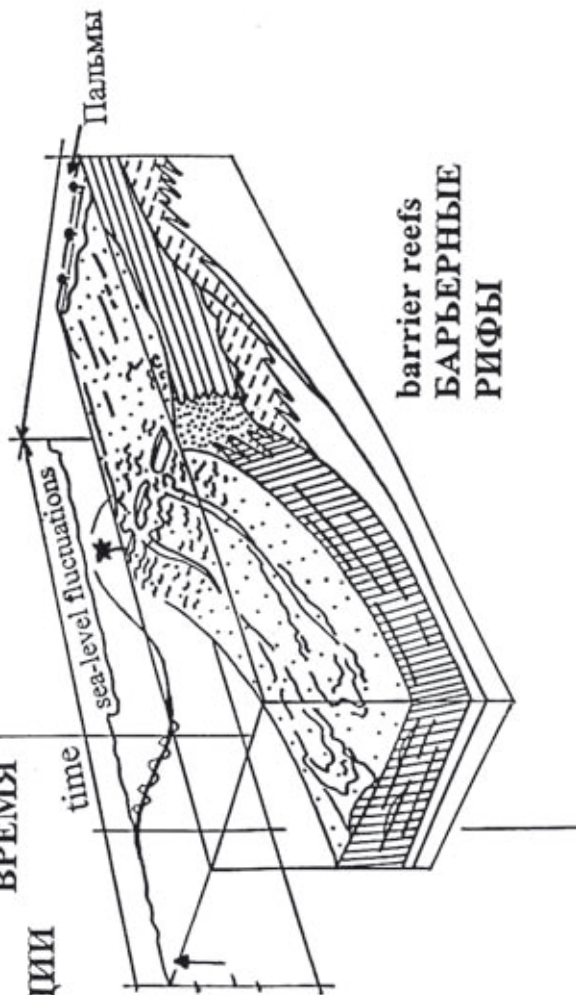


Рис. 36. Система трактов карбонатной платформы (<http://strata.geol.sc.edu/images>).
В – система аградационных трактов.

тракта низкого стояния (подводный конус выноса и т.д.). Именно наличие грубозернистых осадков в удаленных от береговой линии участках позволяет определить границу секвенции *ТНС*.

Трактom низкого стояния (ТНС) называются отложения нижней части секвенции, заключенные между ее подошвой и трансгрессивной поверхностью. Этот тракт формируется:

- 1) при падении уровня моря и субаэральной эрозии;
 - 2) при стабильном положении уровня моря на низкой отметке;
 - 3) на начальных стадиях подъема уровня моря (рис. 36 а, б).
- В последнем случае, при медленном поднятии уровня моря, ТНС (его поздние фазы) образуется за счет того, что скорость привноса с берега осадочного материала превышает скорость поднятия уровня моря, благодаря чему происходит регрессия и обмеление бассейна.

ТНС всегда формируется в результате регрессии и поэтому имеет геометрию проградирующих клиноформ. ТНС не всегда может быть установлен в центральных частях бассейна, если туда не поступают выносимые с берега грубозернистые осадки, хотя отложения, ему по времени соответствующие, там неизбежно присутствуют. Отложения поздних фаз ТНС могут заполнять долины врезания и быть относительно изолированными от других участков ТНС. В прибрежной части бассейна, которая оказывается под водой лишь на поздних стадиях трансгрессии, отложения ТНС зачастую отсутствуют. Таким образом, отложения ТНС не всегда могут присутствовать в конкретном разрезе или уверенно быть идентифицированы. Они могут вообще отсутствовать в конкретной секвенции, если снос с берега невелик.

Обычно в ТНС выделяют (Van Wagoner et.al., 1988):

- 1) **бассейновый конус выноса (*basin slope fan*)**;
- 2) **склоновый конус выноса (*slope fan*)**;
- 3) **клин низкого стояния (*lowstand wedge*)**. Вышеупомянутое деление следует признать локальным по своему значению и не обязательным для всех отложений ТНС, так как выделялось на примере терригенных осадков аллювиальных систем.

В последнее время появилась тенденция выделять раннюю и позднюю фазы в отложениях ТНС (Posamentier & Allen, 1997).

Отложения ранней фазы ТНС формируются во время падения уровня моря; они являются грубозернистыми, занимают небольшую площадь и расположены далеко от береговой линии. Отложения поздних фаз ТНС формируются во время стабилизации уровня моря в его самом низком положении и во время его медленного поднятия, которое не компенсирует скорость накопления осадков.

Кровля ТНС совпадает с **трансгрессивной поверхностью (transgressive surface)**. Она формируется при подъеме уровня моря и общей трансгрессии в сторону континента. При этом осадочный материал откладывается на шельфе и фронт седиментации движется в сторону континента в виде трансгрессивной серии. Этот процесс называется **обратным движением (backstepping)**. Именно эта поверхность связана со сменой характера напластования с проградационного, реже агградационного (рис. 36 в) на ретроградационный. Для уверенной диагностики трансгрессивной поверхности желательно иметь перед глазами весь латеральный разрез осадочной секвенции, так как она не всегда легко диагностируется, особенно в приближенных к берегу частях секвенции.

Выше следует **трансгрессивная система трактов (ТСТ)** – формируется при быстром поднятии относительного уровня моря, которое не компенсируется поступлением осадочного материала в бассейн. В этом случае составляющие ТСТ парасеквенции формируют ретроградационный цикл напластования. Отложения ТСТ уверенно определяются в средних частях секвенции, где относительно глубоководные бассейновые фации непосредственно ложатся на мелководные прибрежные отложения и, затем, перекрываются столь же мелководными отложениями. В более удаленных от берега частях бассейна характер седиментации практически непрерывен и слабо подвержен влиянию колебаний уровня моря, поэтому отложения ТСТ могут быть неотличимы от подстилающих и перекрывающих отложений.

В прибрежных частях бассейна отложения ТСТ могут характеризоваться подошвенным налеганием непосредственно на границу секвенции. Именно для ТСТ такие соотношения наиболее типичны и занимают наибольшую площадь.

ТСТ образует становящуюся более тонкозернистой вверх по

разрезу последовательность со значительным количеством карбонатного материала в осадках и зачастую содержит значительное количество органического вещества. Последнее обстоятельство выражается в более темном цвете осадков или в их последующей пиритизации (Cross, 1988). Во время трансгрессии происходит смещение области накопления главных мощностей на шельф, по этому признаку также можно идентифицировать ТСТ.

Во время трансгрессии может активно проявиться береговая эрозия в результате смещения береговой линии в сторону континента. Эта волновая эрозия приводит к формированию так называемой *поверхности абразии (wave ravinement surface)*. Из продуктов этой абразии в процессе трансгрессии может сформироваться барьерный комплекс, постепенно отступающий на сушу по мере развития трансгрессии. Этот комплекс весьма редко сохраняется в разрезе. Единственными его следами могут быть так называемые отложения *трансгрессивного лага (transgressive lag deposits)*, которые непосредственно перекрывают трансгрессивную поверхность. В более удаленных от берега частях бассейна могут накапливаться более тонкозернистые осадки, заполняющие неровности рельефа. Они носят название осадков *залечивающей фазы (healing phase deposits)* и способствуют восстановлению на шельфе профиля равновесия.

Трактom высокого стояния (ТВС) называется верхний элемент осадочной секвенции, залегающий на подстилающих его отложениях трансгрессивного тракта или (в прибрежных частях секвенции) непосредственно на границе секвенции (рис. 36 г). При этом море стабильно затопляет шельфы, которые перекрываются осадочным материалом, и основная масса его транспортируется к верхней границе континентального склона. Именно здесь начинается формирование проградационных систем, направленных в сторону бассейна. ТВС формируется при замедлении скорости повышения относительного уровня моря за счет того, что поступление осадочного материала с суши существенно превышает скорость приращения площади осадконакопления. ТВС отвечает высокому стоянию уровня моря и характеризуется регрессивным набором фаций. В отличие от ТСТ для ТВС характерно погребление осадков вверх по разрезу.

Для геолога особенно важным является тот факт, что они поль-

зуются широким развитием не только на пассивных окраинах, но и во внутрикратонных бассейнах и вместе с ТСТ формируют характерные трансгрессивно-регрессивные серии, существование которых отмечалось многими исследователями еще в прошлом веке.

ТВС заключен между поверхностью подошвенного прилегания и несогласием в кровле секвенции (т.е. подошвой следующей секвенции). Во время формирования ТСТ и ТВС источники сноса смещаются в сторону суши и на большей части шельфа устанавливаются обстановки с очень малыми скоростями седиментации, когда доминируют пелагические и гемипелагические обстановки (рис. 36 д). Фации эти представлены очень маломощным интервалом разреза, который накапливался за относительно длительный промежуток геологического времени. Такого рода отложения формируют так называемый **конденсированный разрез (condensed section)** (Loutit et.al.,1988). Конденсированный разрез формируется в течение поздних фаз ТСТ и на ранних стадиях развития ТВС. При развитии трансгрессии, конденсированный разрез, отлагавшийся первоначально на внешнем шельфе и склоне, мигрирует в позицию срединного шельфа. Когда трансгрессия достигает своего максимума, фации конденсированного разреза могут занимать весь шельф. В дальнейшем, когда относительное повышение уровня моря замедляется и скорость поступления осадочного материала начинает превышать скорость приращения пространства осадконакопления, площади развития конденсированных фаций сокращаются. Внутри конденсированного разреза существует поверхность, которая представляла собой поверхность морского дна в момент максимального развития трансгрессии. Эта поверхность и называется *поверхностью максимального затопления (maximum flooding surface)*.

Система трактов шельфовой окраины (shelf-margin systems tracts) формируется при стабильно высоком стоянии уровня моря, когда зона затопленного шельфа уже насыщена осадочным материалом, который транспортируется уже в зону континентального склона и к его подножью. Происходит проградация шельфа за счет клиноформного засыпания осадками всей области континентального склона (рис. 36 е).

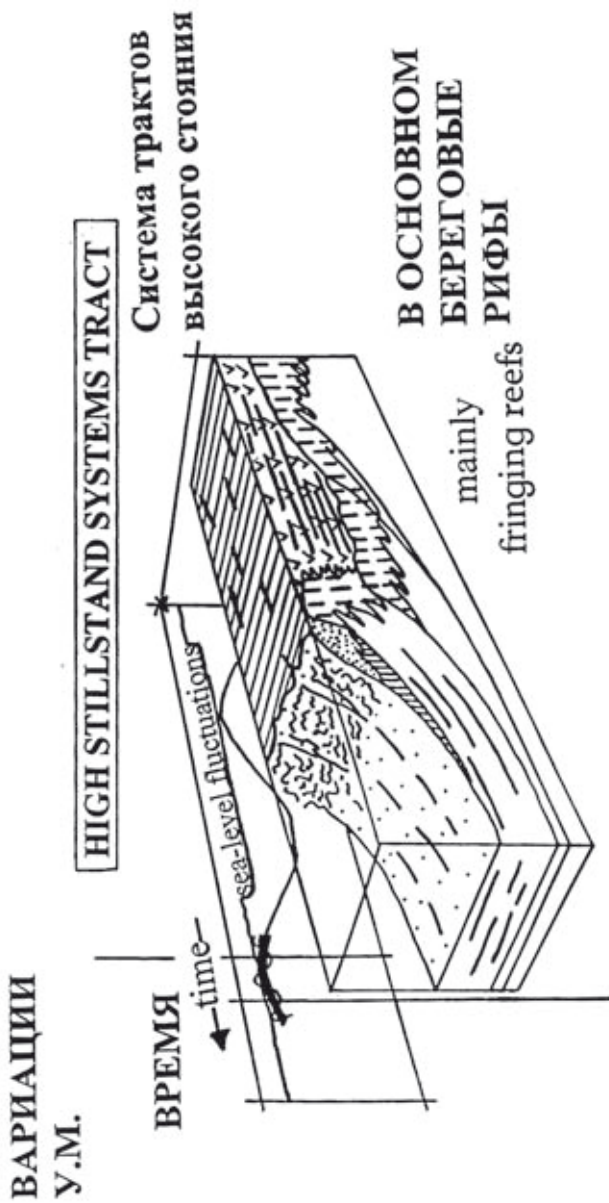


Рис. 36. Система трактов карбонатной платформой (<http://strata.geol.sc.edu/images>).
Г – система трактов высокого стояния.

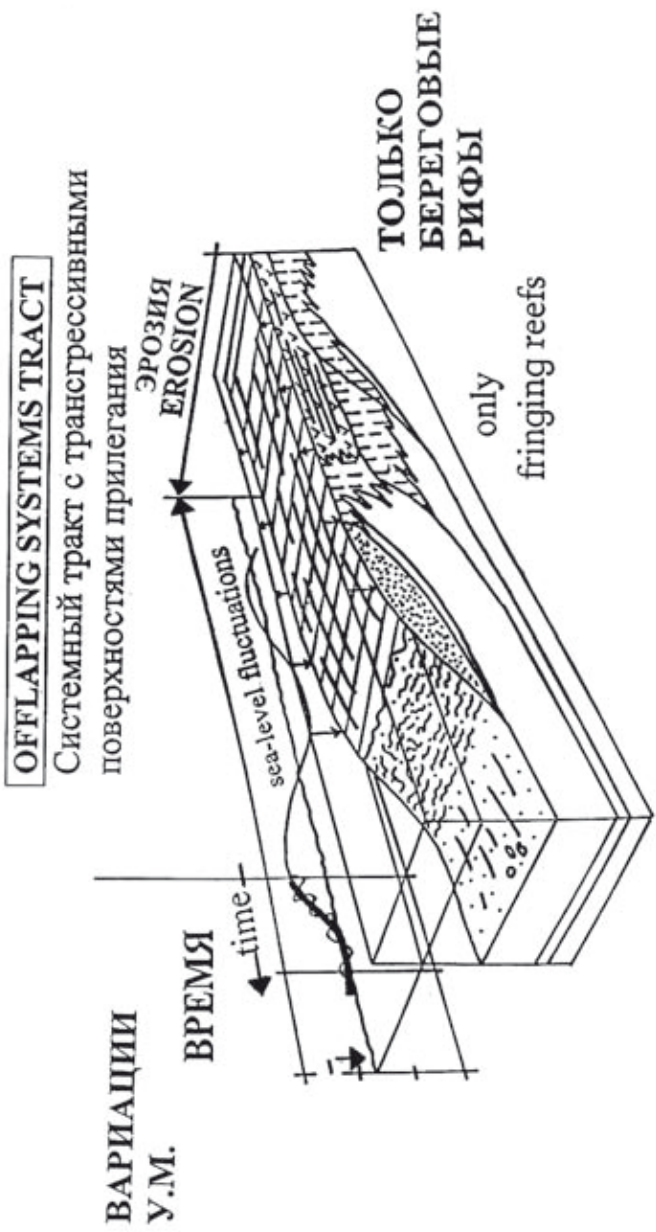


Рис. 36. Система трактов карбонатной платформе (<http://strata.geol.sc.edu/images>).
 Д – системный тракт с регрессивными поверхностями прилегания.

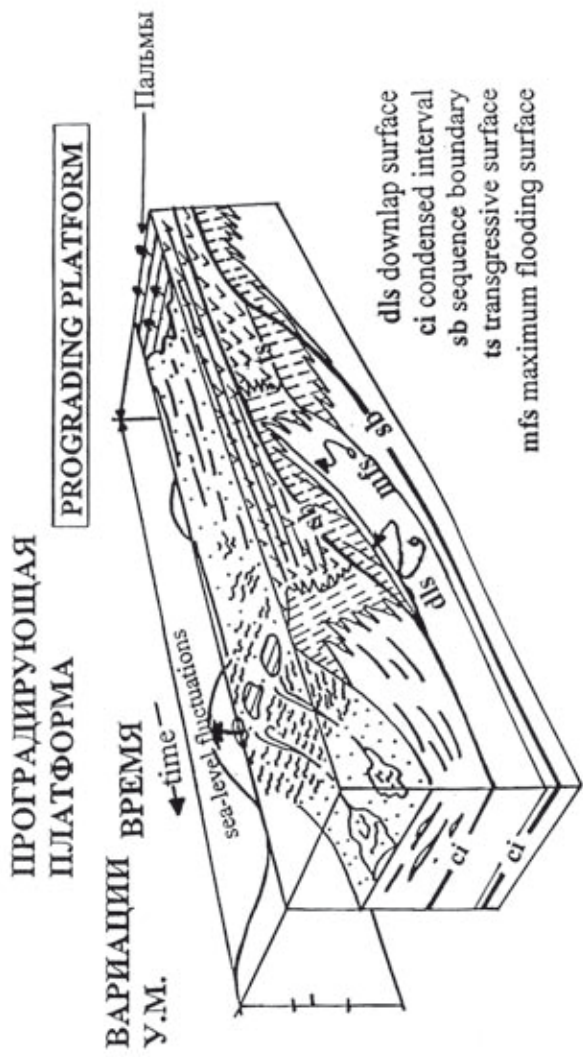


Рис. 36. Система трактов карбонатной платформы (<http://strata.geol.sc.edu/images>).
E – проградирующая платформа.

3. ПРИМЕРЫ СЕКВЕНТНО-СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ

3.1. Северная окраина Перитетиса (Крым). На платформе, как правило, выделяются только трансгрессивная система трактов и система трактов высокого стояния. Это объясняется эпиконтинентальной природой морских платформенных бассейнов, возникающих во время обширных трансгрессий из близлежащих геосинклинальных поясов. Двигаясь в сторону последних, можно встретить большее разнообразие систем трактов.

Рассмотрим в качестве примера разрез сеноманских отложений Бахчисарайского района Крыма на горе Сельбухре у д. Прохладное (рис. 37). Этот разрез формировался на северной окраине Перитетиса. Согласно А.С.Алексееву (1989) в разрезе сеномана можно выделить 6 пачек. Породы нижнего подъяруса с размывом трансгрессивно залегают на известковистых песчаниках верхнего альба и несогласно, с размывом перекрываются карбонатными отложениями среднего сеномана.

Пачка I представлена мергелями сильнопесчанистыми и песчаниками с глауконитом в основании пачки. Пачка содержит бедный фаунистический комплекс: белемниты, аммониты, двустворчатые моллюски, ринхолиты, усонogie рачки. Мощность пачки составляет 2 м. Пачки I–III и нижняя часть пачки IV соответствуют зоне *Mantelliceras mantelli*.

Пачка II представлена чередованием серо-зеленых песчанистых (0,14—0,46 м) и серо-зеленых биокристаллокластических мергелей (0,23—0,4 м). Фаунистический комплекс пачки охарактеризован находками отпечатков раковин аммонитов и ядер иноцерамов. Отмечаются находки остатков флоры (папоротники, покрытосеменные) и единичные находки насекомых. Мощность

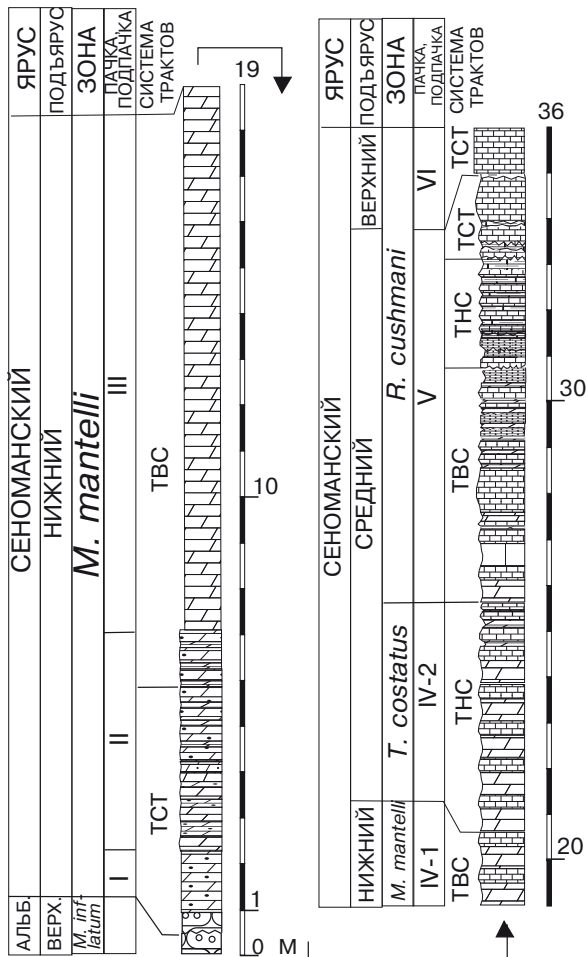


Рис. 37. Сводный разрез г. Сельбухры (по Габдуллину, 2002, с изменениями авторов). Условные обозначения: 1 – глины; 2 – алевриты; 3 – пески, рыхлые песчаники; 4 – песчаники; 5 – опоки; 6 – известковистые глины; 7 – сильно глинистые мергели; 8 – песчаные мергели; 9 – мергели; 10 – глинистые мергели; 11 – глинистые известняки; 12 – песчаные известняки; 13 – известняки; 14 – писчий мел; 15 – битуминозные мергели; 16 – фосфориты; 17 – конкреции лимонита; 18 – стилолиты; 19 – призматический слой иноцерамов; 20 – задернованная часть разреза; границы стратонов: 21 – согласные; 22 – несогласные. Примечание: «пустыми» интервалами в разрезе показаны фрагменты, не изученные авторами.

пачки равна 8 м. Отложения пачки содержат трудно диагностируемые ихнофоссилии.

Литологический состав описанных выше пород показывает трансгрессивный переход от преимущественно терригенно-карбонатных пород пачки I к менее терригенным и более карбонатным породам пачки II. Палеонтологическая характеристика подтверждает мелководную обстановку седиментации недалеко от береговой линии, где произрастали растения и кормились насекомые. Этот интервал разреза отнесен к ТСТ (Gale, Hancock, Kennedy, 1999). Верхняя часть разреза пачки II становится заметно карбонатной, поэтому она отвечает ТВС (Gale, Hancock, Kennedy, 1999).

Пачка III представлена тёмно-серыми мергелями (12 м). Она содержит богатый комплекс пелагических организмов – аммонитов, в меньшей степени бентосных иноцерамов и совсем немного остатков усоногих рачков и растений.

Пачка IV отвечает верхам нижнего сеномана и среднему сеноману (7 м). Она подразделяется на две подпачки. Подпачка **IV-1** (1,8 м) представлена чередованием мергелей и крепких светло-серых известняков с богатым комплексом аммонитов (8 родов, 12 видов), двустворчатых моллюсков и белемнитов. В кровле подпачки наблюдается поверхность размыва.

Этот интервал разреза отвечает ТВС (Gale, Hancock, Kennedy, 1999), так как характеризуется преимущественно пелагическими осадками и фауной.

Подпачка IV-2 представлена мергелями тёмно-серыми слабо песчанистыми с пятью пластами серых известняков (5 м). Известняки образованы преимущественно кальцисферулидами (60-85 %) и радиоляриями (3-25 %) с небольшим количеством планктонных фораминифер. Пачка содержит богатый комплекс макрофоссилий (Алексеев, 1989), морских ежей, пелиципод, акул, скатов. Также отмечается фитокомплекс из 18 видов растений (цикадовые, хвойные, папоротники, беннетитовые, архаичные покрытосеменные и однодольные). Эта часть разреза может быть проинтерпретирована как ТНС. Перерыв в основании подпачки подтверждает, что эрозия шла в условиях понижения уровня моря в бассейне, в котором резко увеличилось разнообразие форм жизни.

Пачка V. Ритмичные отложения пачки V содержат более или менее разнообразный комплекс макрофоссилий только в нижней части пачки на границе с подпачкой VI-2 среднего сеномана. Комплекс включает аммонитов и двустворчатых моллюсков (Алексеев, 1989). Это свидетельствует о подъеме уровня моря и восстановлении ТВС (Gale, Hancock, Kennedy, 1999). Отложения принадлежат зоне *Rotalipora cushmani*, представленной чередованием темно-серых, реже белых биокристаллокластических мергелей, мергелистых известняков с белыми, реже серыми биокристаллокластическими известняками. В верхней части пачки резко возрастает число перерывов, что может быть связано с многократным и/или кратковременным падением уровня моря. Уровни перерывов тяготеют к интервалу разреза, который можно отнести к ТНС (Gale, Hancock, Kennedy, 1999). Затем следует часть разреза, в которой присутствуют перерывы и резко увеличивается мощность слоев известняков, что говорит о возрастании скорости седиментации в условиях развивающейся трансгрессии – ТСТ (Gale, Hancock, Kennedy, 1999). Максимальная мощность пачки 13,1 м, минимальная — 8 м.

Верхнесеноманские отложения представлены наиболее карбонатными разностями – белыми и светлоокрашенными кремневыми и мелоподобными известняками, мергелями, причем карбонатность растет вверх по разрезу.

Пачка VI. Отложения представлены известняками и мергелями. Встречаются редкие прослой темных битуминозных мергелей. Пачке соответствуют зоны *Rotalipora cushmani* и *Whiteinella archeocretacea*. Она практически лишена идентифицируемых макрофоссилий. Верхние части разрезов окрашены в зеленоватые, сероватые оттенки. Мощность пачки составляет 10-20 м (Алексеев, 1989).

Верхняя часть пачки V и низ пачки VI – это ТСТ, далее пелагические осадки отвечают ТВС.

3.2. Южная окраина Тетиса (Тунис). Двигаясь еще дальше на юг, на южной окраине океана Тетис, в пределах Атласских гор Туниса в мощном преимущественно карбонатном разрезе известняков и мергелей сеномана-турона Ель-Кеф установлено большое разнообразие систем трактов, включая три основных: ТНС, ТСТ и

ТВС (рис. 38-39). Ф. Робашинским и др. предложены следующие критерии распознавания трактов (табл. 1).

Для осадков ТНС типично заполнение каналов и конседиментационное оползание, доминирование в разрезе детритовых биокластических известняков, содержащих раковины бентосных (агглютинирующих и с карбонатным скелетом) фораменифер, кальцисфер, наннопланктона с карбонатным скелетом и их биокласты. Как правило, в отложениях ТНС наблюдаются уровни вымирания и появления новых видов. В разрезе видно множество пластов переслаивающихся известняков и редкие септарии, а также перемещенные раковины рудистов. Породы характеризуются наибольшим разнообразием структур (мадстоун–вакстоун и пакстоун–грейнстоун).

ТСТ характеризуется присутствием в разрезе глауконита и фосфорита, а также четкой тенденцией к огрублению вверх по разрезу, доминированием в разрезе пелагических высоко карбонатных и глинистых известняков и известковистых мергелей, мергелей. Слои сильно биотурбированы и содержат многочисленные хард-грунды, а также доминирующие группы фауны – аммониты, иноцерамы, планктонные фораминиферы.

ТВС представлен мощными пластами мергелей на фоне подчиненных слоев глинистого известняка. Существенную роль в разрезе играют глинистые мергели и глины. Среди фауны доминируют пелециподы, иглокожие и гастроподы.

Помимо основных систем трактов встречаются и реже употребляемые, вспомогательные: «клин низкого стояния» и «система трактов шельфовой окраины». В первом случае осадконакопление происходит в условиях низкого стояния уровня океана, практически на дне бассейна и максимально далеко от береговой линии ТВС. Система трактов шельфовой окраины – один из частных случаев ТНС.

4. ПРАКТИКУМ ПО СЕКВЕНТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ

Упражнение 1.

Дано: разрез верхнесеноманских – нижнетуронских отложений Нормандии (Gale, 1989; рис. 40). На разрезе отмечены границы шести секвенций и слагающих их трактов.

Задание: заполните пустующие ячейки аббревиатурой систем трактов.

Таблица 1.

**Признаки для характеристики системы трактов
(по Robaszynski et al., 1993 с изменениями.)**

Признак	Характеристика	ТНС	ТСТ	ТВС
1. Особенности строения разреза	Множество пластов переслаивающихся известняков, редкие септарии	+++		
	Редкие слои известняков, часто с кальциферами		+++	
	Мощные пласты доминирующих мергелей на фоне подчиненных слоев глинистого известняка			+++
2. Структура	Заполнение каналов и конседиментационное оползание	+++	+	+
	Биогурбация, «хардграунды»	++	++++	+
3. Литология	Детритовые биокластические известняки	++++	++	+
	Пелагические высоко карбонатные, глинистые, известняки и известковистые мергели, мергели	+	+++	+
	Глинистые мергели, глины	+	++	+++++
4. Цвет	Черный (аноксия, пирит, высокое содержание Сорг.)		++	
	Охра (измененный микритовый доломит)	+	++	+

5. Фауна	Аммониты, иноцерамы, планктонные фораминиферы, выполнение вышележащими осадками ходов	++	++++	++
	Пелециподы, иглокожие, гастроподы в танатоценозе	+	+	+++
	Перемещенные рудисты	++		+
	Уровни вымирания	++		+
	Уровни эволюционного появления	+++	++	
	Миграция	+	++	+
	Частые кальцисферы	++		
	Биокласты и кальцисферы	++	+	+
	Частые планктонные фораминиферы	+	++	+
	Бентосные фораминиферы с карбонатным скелетом	++	+	+
6. Минералы	Агглютинирующие бентосные фораминиферы	++		
	Глауконит		++	
7. Закономерности распределения обломочной части	Фосфорит		++	
	Огрубление вверх по разрезу		++	
8. Текстура	Мадстоун-Вакстоун	++	+	+
	Пакстоун-Грейнстоун	++	+	+
9. Микрофауна (наннофоссилии)	Наннофоссилии с карбонатным скелетом	++	+	+

Примечание: крестами показана частота встречаемости признака; при работе на обнажении изучаются признаки №№1–5, признаки №№5–9 исследуются на обнажении при помощи лупы и в камеральных условиях при помощи микроскопа и бинокля.

Упражнение 2.

Дано: разрез верхнесеноманских – нижнетуронских отложений севера Сибири в районе р. Нижняя Агапа (Захаров, 1988; рис. 41).

Пачка I. Мощная (25 м) толща светло-серых кварцевых косо- и неправильно-слоистых песков аллювиально-дельтового генезиса (долганская свита). Характерны линзовидные скопления лигнифицированной древесины и связанные с ней включения янтароподобной смолы (ретинита) с остатками насекомых.

Пачка II. Переслаивание горизонтально-слоистых песков, алевроитов и глин (9,2 м). Цепочечные горизонты сидеритовых кон-

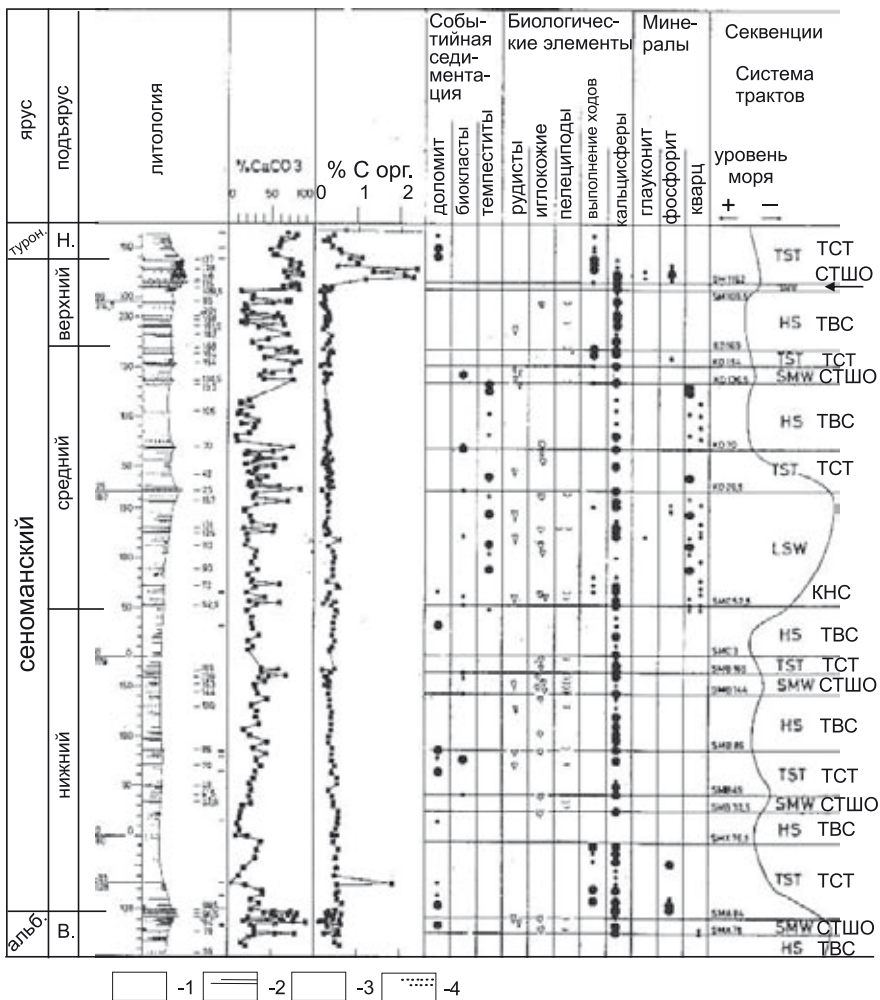


Рис. 38. Разрез сеноман-туронских отложений Туниса, кривые содержания CaCO₃ и Сорг. и секвентная интерпретация по Robaszynski et al., 1993 с изменениями авторов. Условные обозначения: 1 – мергель; 2 – известковый мергель; 3 – известняк; 4 – темпеститы.

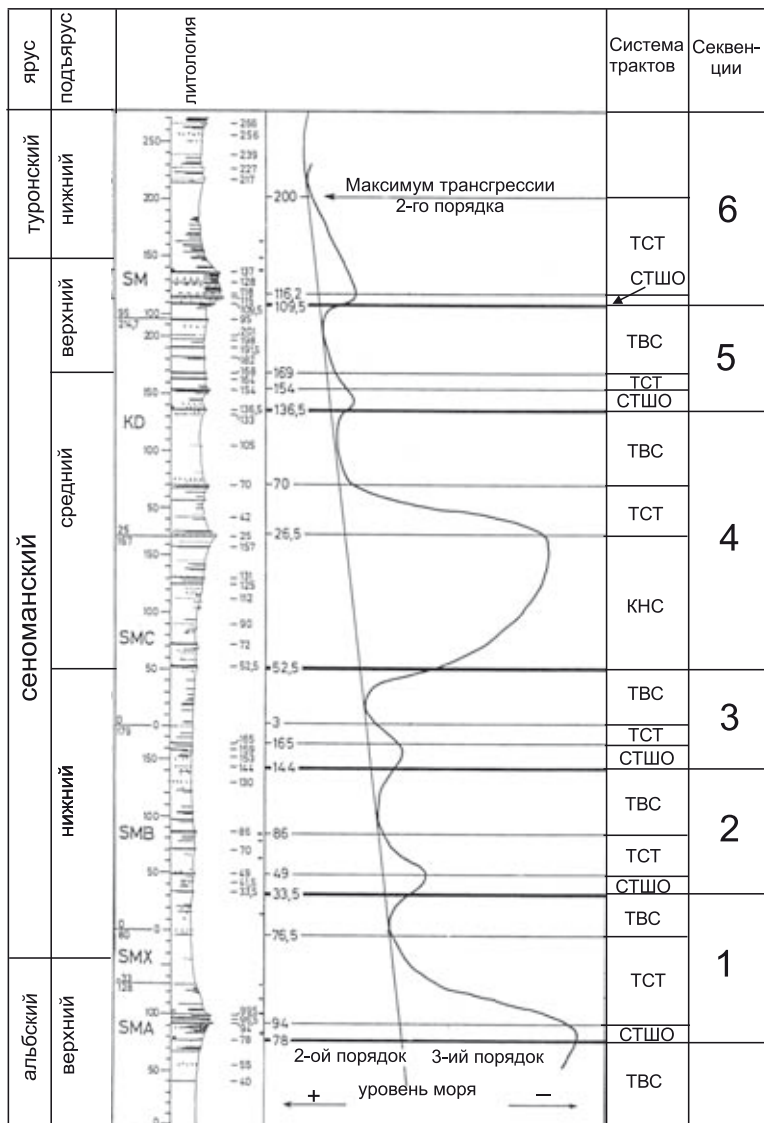


Рис. 39. Разрез сеноман-туронских отложений Туниса и его интерпретация с позиций эвстатических циклов и секвенций по Robaszynski et al., 1993 с изменениями авторов.

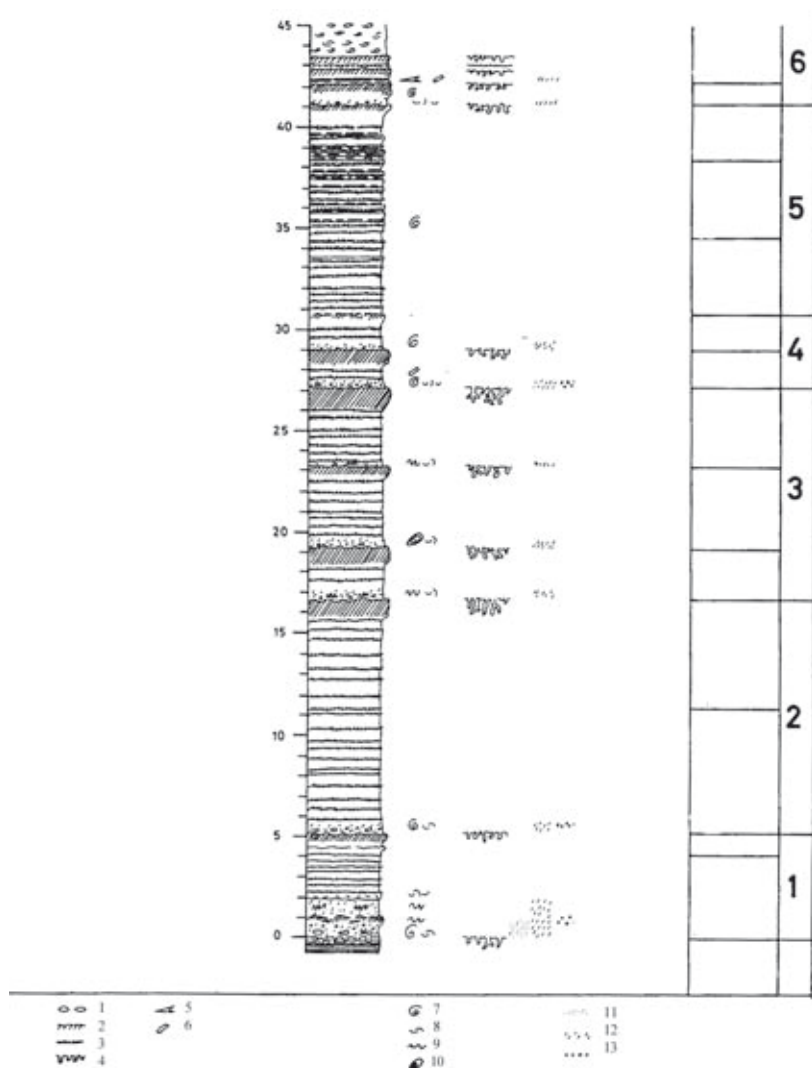


Рис. 40. Разрез сеномана – турона Нормандии, Франция (Gale, 1989).
 Условные обозначения: 1 – нодулярный мел; 2 – хард-граунд; 3 – кремни;
 4 – норы, «ризолиты» (биотурбация); 5 – белемниты;
 6 – аммониты (бакулитиды); 7 – аммониты (прочие);
 8 – двусторчатые моллюски; 9 – губки; 10 – двусторчатые моллюски –
 иноцерамы; 11 – кварцевый песок; 12 – глауконит; 13 – фосфорит.

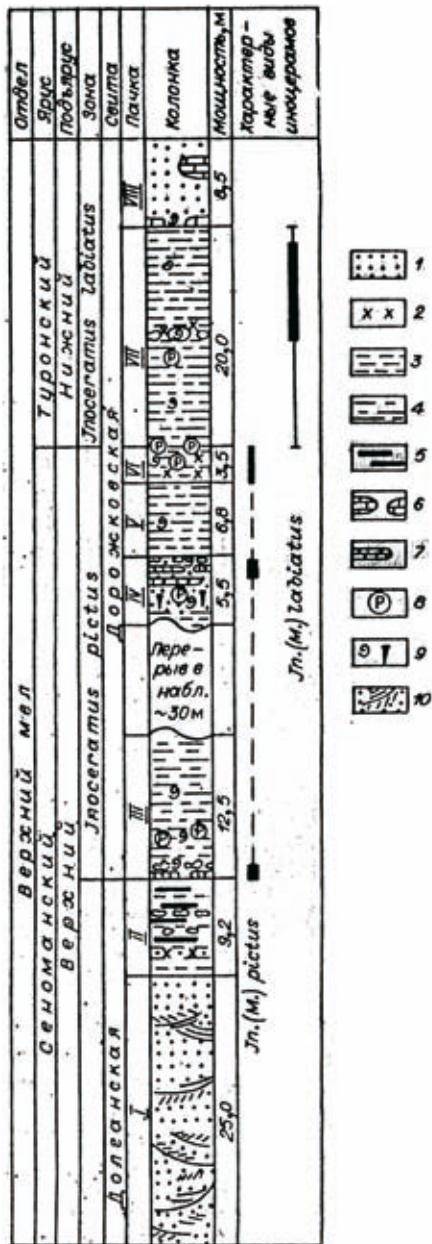
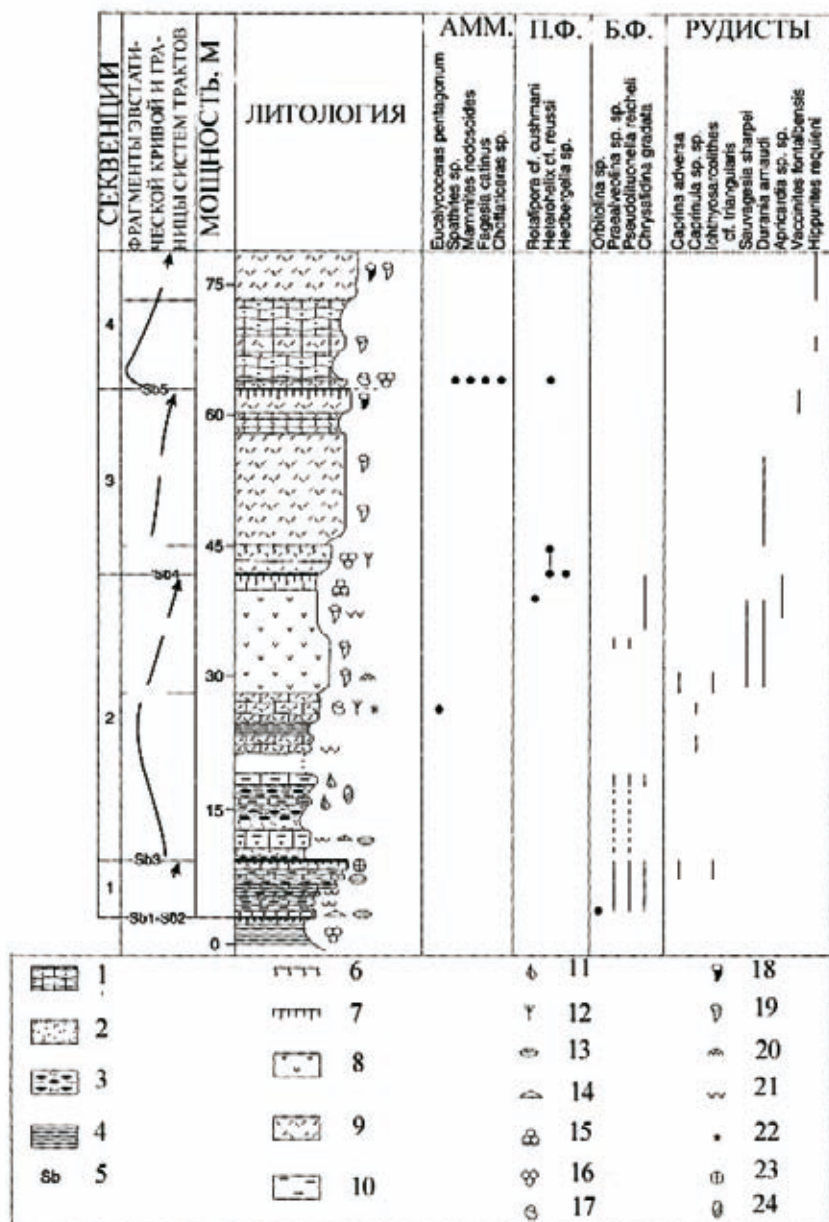


Рис. 41. Сводный стратиграфический разрез верхнего сеноманского и нижнего турона на р. Нижняя Агапа (по Захарову, 1988):

- 1 – песок,
- 2 – лептохлорит,
- 3 – алеврит,
- 4 – чередование алевритов глинистых и глин алевритовых,
- 5 – глина,
- 6 – известняк,
- 7 – песчаник с карбонатным цементом,
- 8 – фосфоритовые конкреции,
- 9 – находки фауны и трубки пескожилов,
- 10 – косяя слоистость.



креций, линзовидные прослои глиняных брекчий, свидетельствующие о нестабильном режиме осадконакопления.

Пачка III. Глинистые алевроиты с морской фауной и с выдержанным горизонтом сидеритовых конкреций с иноцеррами (*In. pictus* Sow.) в основании. Выше по слою рассеяны отдельные раковины и гнезда лопатиний, ктенодонтид, гастропод, ростры белемнитов. Мощность пачки — 12,5 м. Далее 30 м не обнажено.

Пачка IV. Преобладают пески мелкозернистые зеленовато-серые и зеленые лептохлоритовые, в верхней части — два горизонта известковистых песчаников. В кровле пачки — горизонт сильно трещиноватых сидеритовых конкреций с избыточной фауной, например, с *In. (M.) pictus* Sow. Мощность — 5,5 м.

Пачка V. Алевроиты и алевроитовые глины серые, пятнистые, биотурбированные, с гнездами мелкораковинных двустворок и гастропод. Мощность — 6,8 м.

Пачка VI. Алевроиты зеленовато-серые лептохлоритовые с фосфоритовыми желваками и гнездами окаменелостей (двустворки, аммониты, белемниты, гастроподы и др.), среди которых часто встречаются *In. (M.) pictus* Sow. Мощность — 3,5 м.

Пачка VII. Алевроиты глинистые — глины алевроитовые темно-серые, в средней части — горизонт алевроита песчано-глинистого

Рис. 42. Разрез верхнесеноманских — нижнетуронских отложений юга Франции Фонт-Блани (Philip, 1998).

Сокращения: ам. — аммониты; п. ф. — планктонные фораминиферы; б. ф. — бентосные фораминиферы.

Условные обозначения: 1 — песчанистые глинистые известняки; 2 — пески; 3 — известковистые сланцы; 4 — границы секвенций; 5 — границы секвенций; 6 — «фирм-граунд»; 7 — «хард-граунд»; 8 — банки рудистов; 9 — грейнстоуны и пакстоуны; 10 — мадстоуны и вакстоуны; 11 — губки; 12 — остракоды; 13 — праеальвеонилиды; 14 — орбитолины; 15 — бентосные фораминиферы; 16 — планктонные фораминиферы; 17 — аммониты; 18 — гиппуритиды; 19 — радиоляритиды; 20 — каприниды; 21 — устрицы; 22 — иглокожие; 23 — кораллы; 24 — гастроподы.

зеленовато-серого с карбонатными конкрециями и обильной фауной разного состава, включая *In. (M.) labiatus* Schoth. (20 м).

Пачка VIII. Пески мелкозернистые светло-серые монотонные. В основании пачки – конкреции известковистого песчаника с фауной, в верхней части – крупные караваи песчаника. Видимая мощность – 8,5 м.

Разрез р. Нижняя Агапа представляет единый трансгрессивно-регрессивный цикл с инициальной стадией в сеномане (подпиктусовые слои и нижняя часть зоны *pictus*), кульминацией в кровле этой зоны и регрессивным плечом в основании турона (зона *labiatus*), с финальной частью в надлабиатусовых слоях (Захаров, 1988).

Задание: проведите секвентную интерпретацию разреза, выделив системы трактов и границы секвенции (ий).

Упражнение 3.

Дано: разрез верхнесеноманских – нижнетуронских отложений юга Франции Фонт-Бланш (Philip, 1998; рис. 42). На разрезе отмечены границы четырех секвенций и слагающих их трактов.

Задание: заполните пустующие ячейки аббревиатурой систем трактов.

5. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РАЗРЕЗОВ СКВАЖИН С ПОМОЩЬЮ КАРОТАЖА

Введение. Интервалы разреза, представленные рыхлыми сухими сыпучими терригенными породами (грунтами), представленные песками и супесями, часто трудно или «невозможно» (сложно, не рентабельно) проходить с постоянным отбором керна. Кроме того, выход такого керна может составлять в среднем 25–75%. При подъеме керна происходит его перемешивание с фрагментами других частей разреза в результате обрушения интервала еще не обсаженного ствола скважины (рис. 43). В случае сильно трещиноватых, сильно кавернозных или разбитых в процессе бурения до щельных прочных пород (известняки, доломиты и др.) выход керна тоже может быть невысоким вследствие проблем с его подъемом (рис. 44). В итоге, многие потенциальные породы–коллекторы поднимать в виде керна очень сложно. Для таких случаев каротаж становится почти единственным источником данных о литологии пород (грунтов).

Виды каротажа. Для интерпретации разрезов (особенно скважин) с позиций секвентной стратиграфии широко используется анализ результатов каротажа (геофизических исследований скважин). Наиболее распространен электрический каротаж. По необсаженной скважине (без колонковых труб) непрерывно измеряют естественное электрическое поле (потенциал собственной поляризации – ПС (*spontaneous potential log*, или потенциал самопроизвольной поляризации)) и кажущееся удельное сопротивление (КС (*resistivity log*) – сопротивление поровых вод и частично самой породы). Разница в значениях ПС и КС позволяет различать

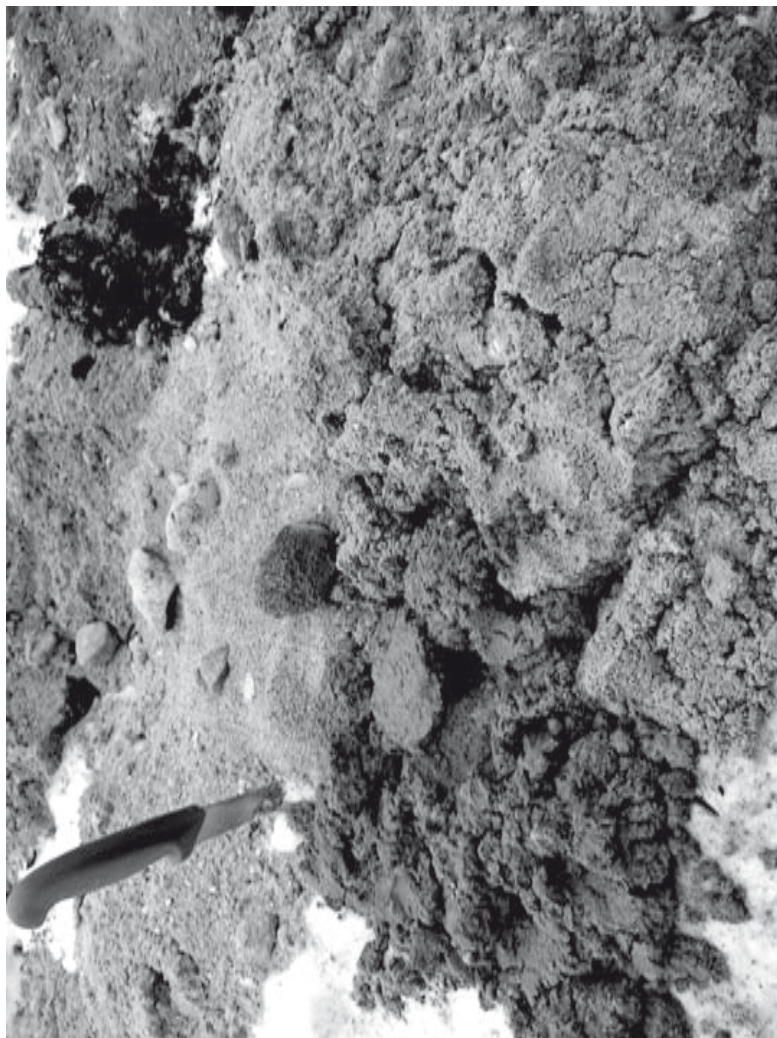


Рис. 43. Так обычно выглядят поднятые из скважины аллювиальные пески Q_{III} р. Москвы. Фото Р.Р.Габдуллина.



*Рис. 44. Фрагменты раздробленного керна известняка
(верхний карбон, Москва). Фото Р.Р.Габдуллина.*

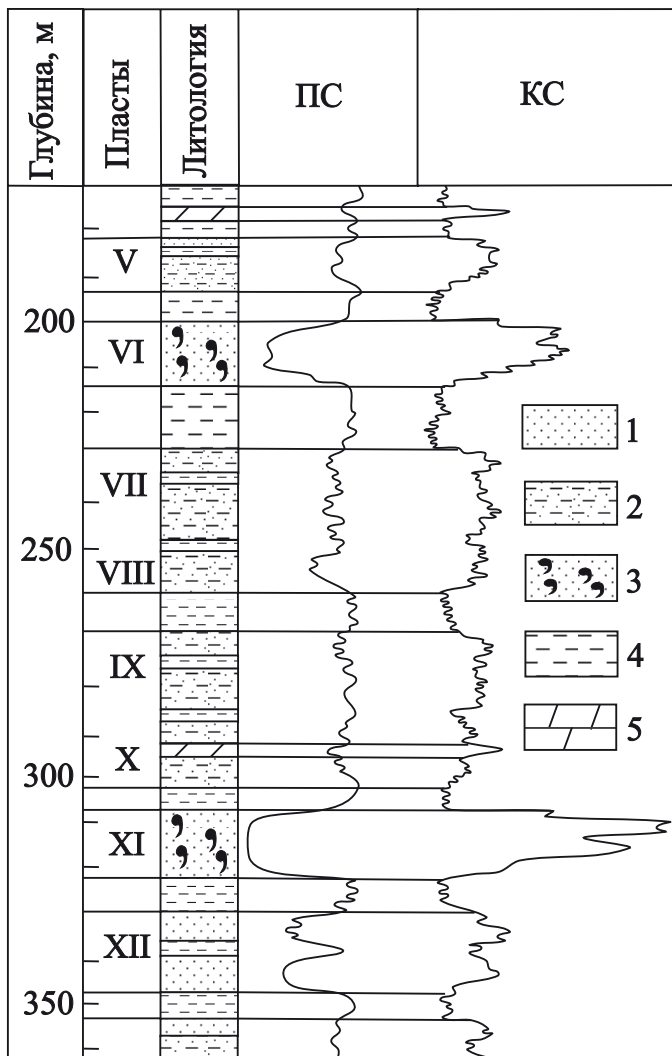


Рис. 45. Результаты электрического каротажа одного из интервалов разреза по скважине.
Условные обозначения: 1 – песчаники, 2 – глинистые песчаники, 3 – нефтеносные песчаники, 4 – глины, 5 – мергели (Историческая геология, 1985).

обломочные, глинистые и карбонатные породы, выделять рудные тела, пласты, насыщенные нефтью (рис. 45). Например, на диаграммах ПС пески и песчаники будут выделяться минимумами, а КС, наоборот,— максимумами. Непористые породы или осадки, содержащие углеводороды, будут иметь высокие значения ПС.

Радиоактивный каротаж состоит в измерении *естественной радиоактивности* и *радиоактивности*, возникающей при искусственном облучении. *Гамма-каротаж (Gamma Ray Log)* — один из самых часто применяемых видов каротажа, как в необсаженных, так и в обсаженных скважинах, заключающийся в замере гамма-излучения приемником типа радиометра (рис. 46-47) в мк/час (в России) или в единицах API (American Petroleum Institute, за рубежом). Например, этим методом можно различить пески с небольшой примесью глинистого вещества (или супеси), алевритовые и «чистые» глины. 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 4–6 мк/час или первые единицы API, рис. 48).

В *нейтронных методах каротажа (Neutron Log)* анализируются ядерные процессы, происходящие при облучении пород быстрыми нейтронами (Хмелевской, 1997). Если порода содержит большое количество ядер водорода (вода, нефть, газ), то быстрые нейтроны превращаются в тепловые. С ростом тепловых нейтронов растет замеряемое зондом вторичное гамма-излучение, а там, где тепловых нейтронов мало, гамма-излучение будет слабым. Нейтронные методы каротажа применяются как в необсаженных, так и в обсаженных скважинах, для расчленения геологических разрезов и особенно для выявления водород- и хлорсодержащих пород, а также оценки их пористости (Хмелевской, 1997).

Акустический каротаж (Sonic Log) — одна из разновидностей сейсмоакустических методов исследования скважин (Хмелевской, 1997). В зонде есть излучатель упругих колебаний частотой 10–20 кГц и 20 кГц–2 МГц и пара сейсмоприемников. Акустический каротаж выполняется как в необсаженных скважинах, заполненных жидкостью, так и в обсаженных скважинах. Радиус исследования пород от оси скважины не превышает 0,5–1 м. Наиболее



*Рис. 46. Подготовка гамма-картажного зонда к работе
сотрудником ООО «ЦИИ» М.А. Андреевым: 1 – зонд (скважинный снаряд);
2 – наземная аппаратура; 3 – катушка с кабелем. Фото Р.Р.Габдуллина.*



Рис. 47. Гамма-каротажное зондирование выполняют сотрудники ООО «ЦГИ» М.А. Андреев и А.А. Резунов; 1 – кабель; 2 – створ скважины. Стрелками показано направление движения кабеля при опускании зонда. Фото Р.Р.Габдуллина.

Абсолютная отметка: 123,85
Глубина: 50,0 м

Начата: 05.12.07
Окончена: 08.12.07

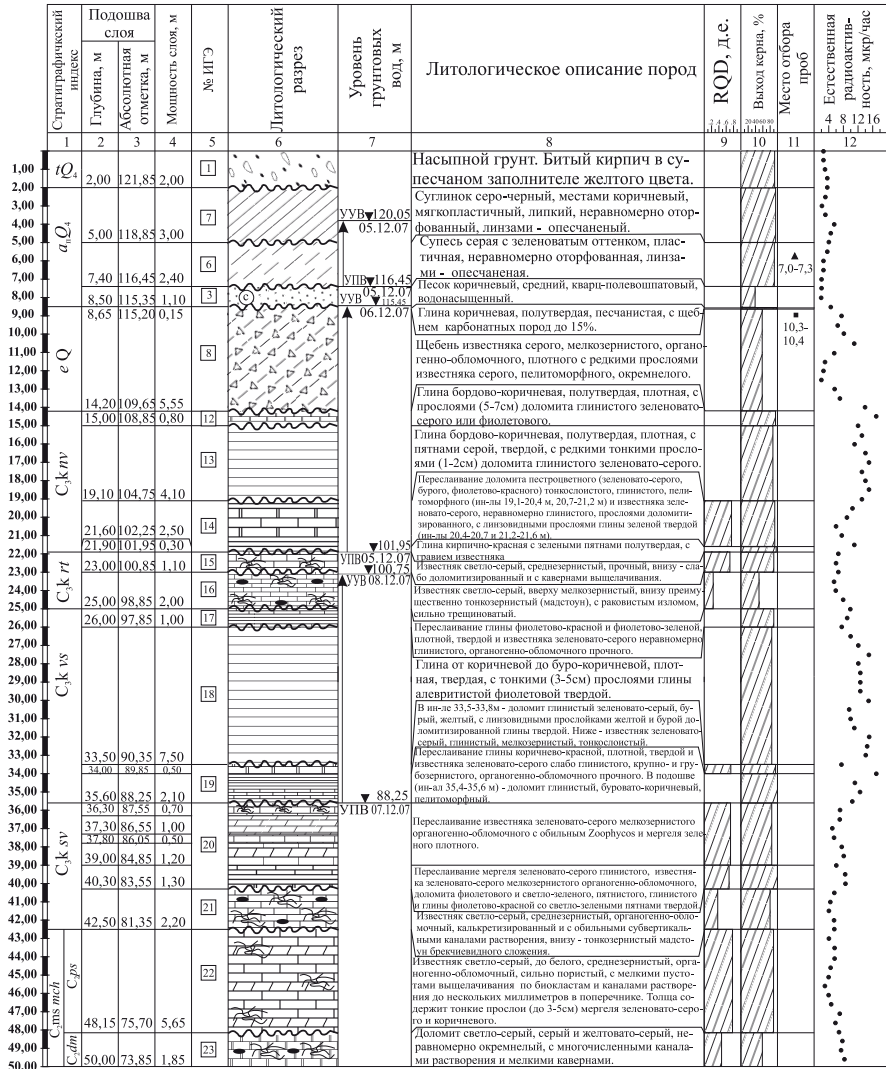


Рис. 48. Результаты гамма-картажного зондирования (справа) на примере документации скважины (по материалам Р.Р.Габдуллина). Сокращения: ИГЭ – инженерно-геологический элемент; УПВ и УУВ – уровни появления и установления воды; RQD – число кусков керна длиннее 10 см на метр керна. Примечание: Максимальные значения естественной радиоактивности отвечают глинам.

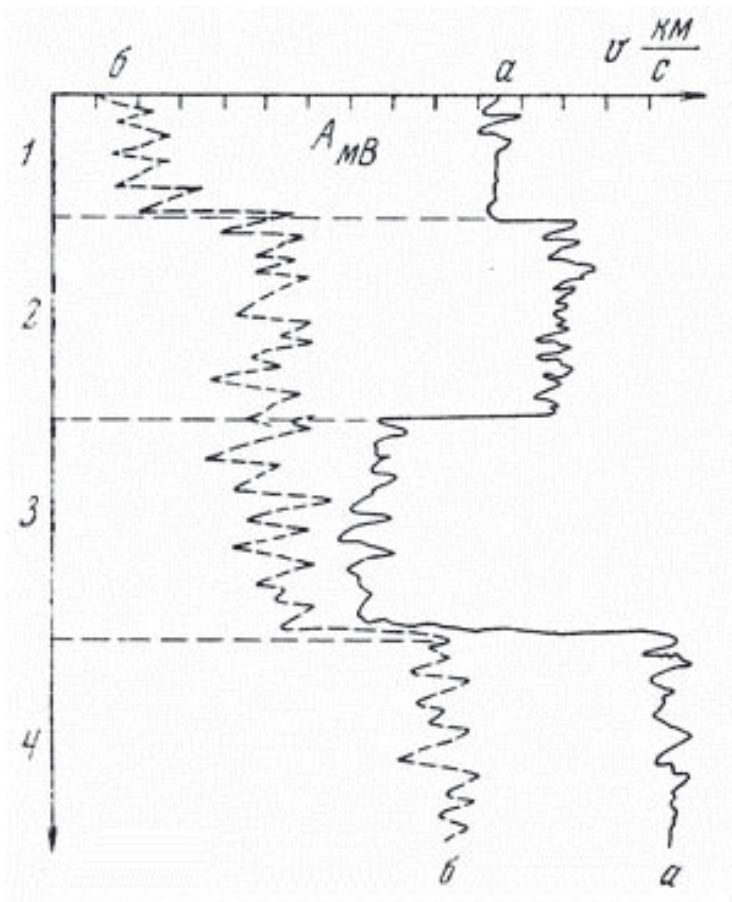


Рис. 49. Общий вид диаграммы скорости (а) и амплитуды (б) при акустическом каротаже: 1 – породы средней пористости, сухие; 2 – породы средней пористости, влажные; 3 – породы высокой пористости; 4 – породы низкой пористости, плотные (Хмелевской, 1997).

простой способ акустических исследований – каротаж скорости, когда автоматически регистрируется кривая изменения времени пробега прямой или головной волны между двумя приемниками. Поскольку расстояние между приемниками постоянно, то кривая времени является фактически обратным графиком изменения скорости. При каротаже по затуханию измеряется амплитуда упругой волны и ослабление сигнала между двумя приемниками. Скорость распространения упругих волн зависит от упругих модулей пород, их литологического состава, плотности и пористости, а величина затухания – от характера заполнителя пор, текстуры и структуры породы (рис. 49). На акустических диаграммах высокими значениями скоростей распространения упругих волн выделяются плотные породы – магматические, метаморфические, скальные, осадочные. В рыхлых песках и песчаниках скорость тем ниже, чем больше пористость. Наибольшее затухание (наименьшая амплитуда сигнала) наблюдается в породах, заполненных газом, меньше затухание в породах нефтенасыщенных, еще меньше – у водонасыщенных (Хмелевской, 1997). Примеры пород в порядке убывания скорости: галит, песчаник, ангидрит, известняк, доломит.

Каротаж плотности (Density Log). Определение объемной плотности (г/см^3) проводится обычно вместе с нейтронным методом, например плотносто-нейтронным каротажным зондом Schlumberger FDC-CNL. Значения объемной плотности: кварц (кварциты) – до 2.65, уголь 1.2–1.8, галит – 2.05, известняк – до 2.75, доломит – до 2.87, ангидрит – 2.98.

Применяют еще *термический, магнитный, гравитационный* и другие виды каротажа. Результаты каротажа опорной скважины получают геологическое объяснение при сравнении их с данными изучения керна. Сопоставляя диаграммы различных видов каротажа, можно установить литологический состав и последовательность пород в скважине, их мощность, выделить маркирующие горизонты и провести корреляцию с геологическими разрезами, вскрытыми другими скважинами.

6. ПРАКТИКУМ ПО ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЛИТОЛОГИИ ПОРОД ПО ДАННЫМ КАРОТАЖА

Упражнение 4.

Дано: в результате бурения скважины (рис. 50) поднята только часть керна и сделан комплекс каротажных исследований (ПС и КС).

Задание: восстановите по кривым ПС и КС литологический состав утерянных частей керна.

Упражнение 5.

Дано: в результате бурения скважины (рис. 51) поднят весь керн.

Задание: смоделируйте кривые ПС и КС.

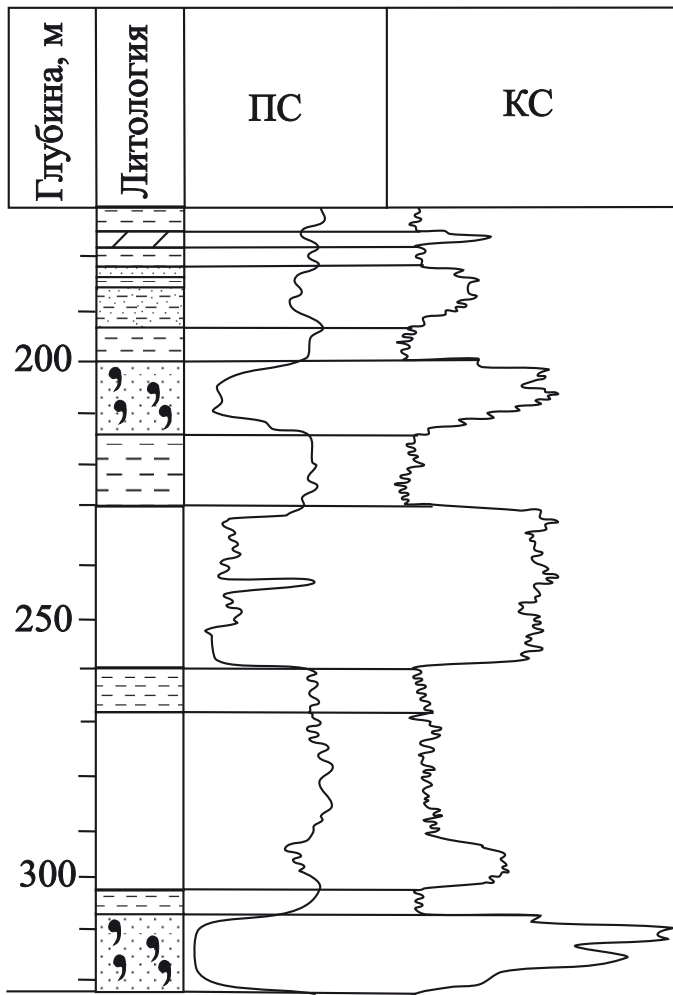
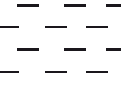
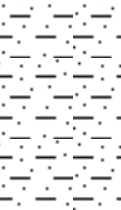

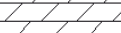
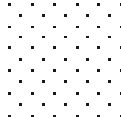


Рис. 50. Результаты электрического каротажа одного из интервалов разреза по скважине. Условные обозначения приведены на рис. 45.

Литология	ПС	КС
		
		
		
		
		

*Рис. 51. Фрагмент одного из интервалов разреза по скважине.
Условные обозначения приведены на рис. 45.*

7. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ КАРОТАЖА С ПОЗИЦИЙ СЕКВЕНТНОЙ СТРАТИГРАФИИ

Как уже было рассмотрено выше, по кривым каротажа можно определить литологический состав пород, который, в свою очередь, определяется палеогеографическим фактором. Изменение палеогеографии приводит к изменению секвенций (систем трактов). Установлена следующая интерпретация трендов каротажных кривых с позиций секвентной стратиграфии (рис. 52), позволяющая выделить группы обстановок седиментации (рис. 53).

Примеры выражения на каротажных кривых различных пакетов секвенций, систем трактов и их границ приведены на рис. 54-56.

Рассмотрим ряд скважин, для которых есть результаты каротажа и литологическое описание пород (рис. 57). 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.



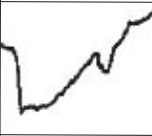

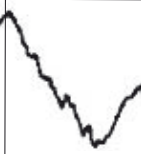
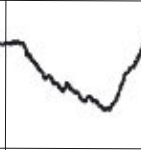
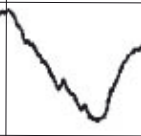
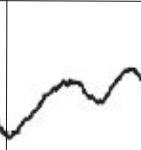
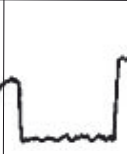
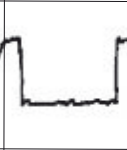
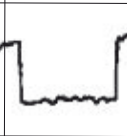
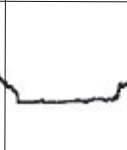


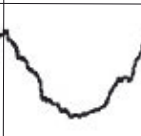
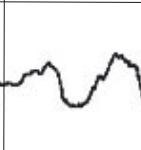
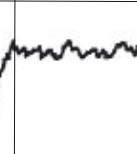
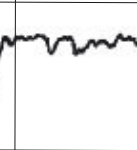
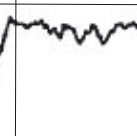

Тип тренда	Гамма-каротаж	ПС	КС	Акустич. каротаж	Интерпретация кривых каротажа
5					Проградация
4					Ретроградация
3					Агградация
2					Проградация и ретроградация
1					Агградация

Рис. 52. Интерпретация трендов кривых каротажа по Етегу, 1996.

Тип Террета	Интерпретация кривых каротажа	Примеры седиментационных обстановок
5	Проградация	Эоловое и флювиальное выполнение разветвленных отливных каналов, выполнение подводных каньонов, край карбонатного шельфа, эвапоритовый бассейн.
4	Ретроградация	Скошенные расселины, устьевой береговой вал, фронт дельты, прибойная полоса, лопасть подводного конуса, смена кластического материала на карбонатный.
3	Агградация	Флювиальный и приливной бары, выполнение каналов глубокого прилива, приливная равнина, трансгрессивный шельф.
2	Проградация и ретроградация	Перемытый прибрежный вал (отмель, бар), регрессивные до трансгрессивных береговые дельтовые фации.
1	Агградация	Заливная терраса, штормовый шельф, дистальный глубокий склон.

Рис. 53. Примеры обстановок седиментации по Етегу, 1996.

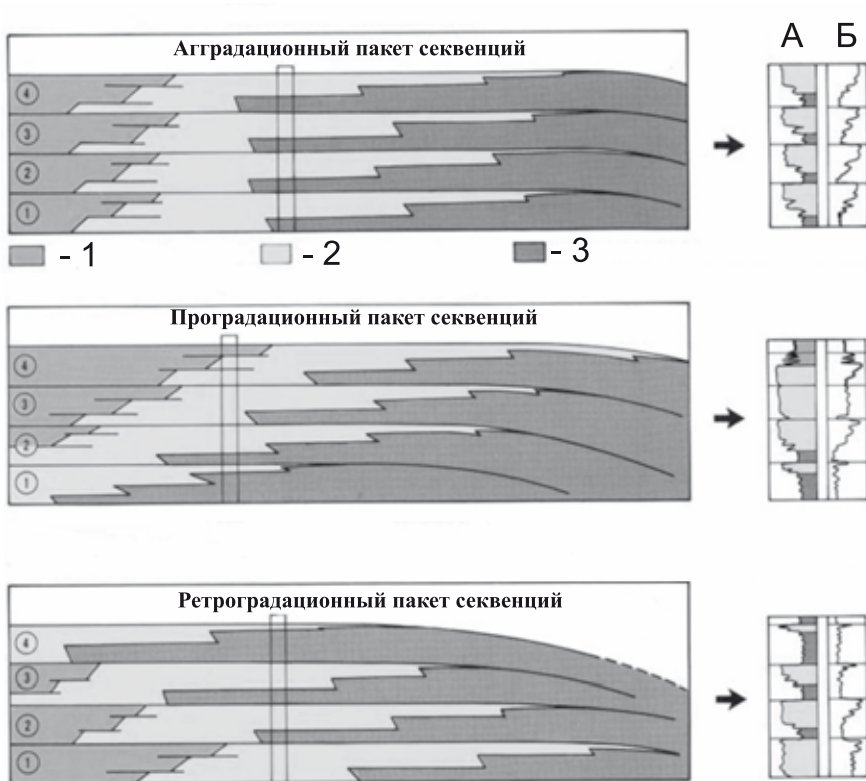


Рис. 54. Соотношение пакетов секвенций и вида кривых потенциала самопроизвольной поляризации ПС (а) и электроразведки методом сопротивления – КС (б).
 Условные обозначения: 1 – мелководные песчаники, 2 – песчаники и мадстоуны переходной зоны, 3 – мадстоуны открытого моря (по Van Wagoner et al., 1990).

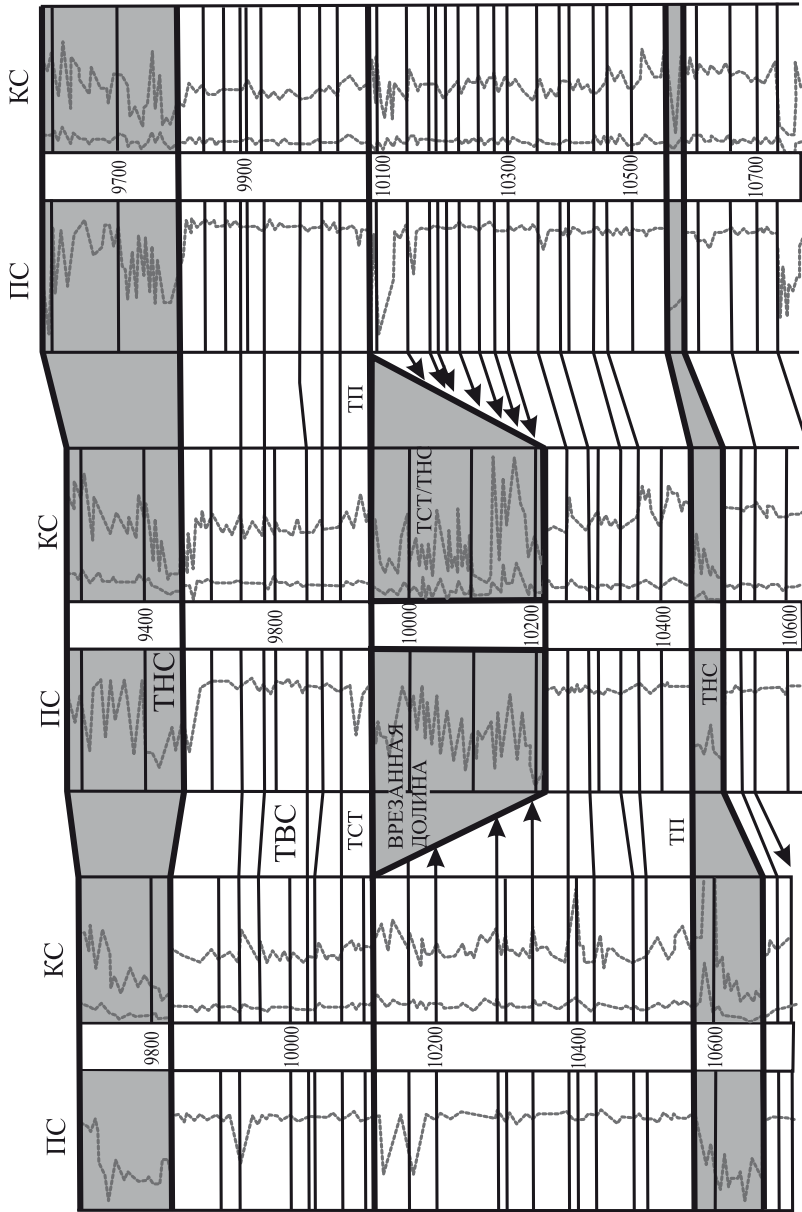


Рис. 55. Выраженность трансгрессивных поверхностей (ТП) в каротаже
(Van Wagoner et al., 1990)

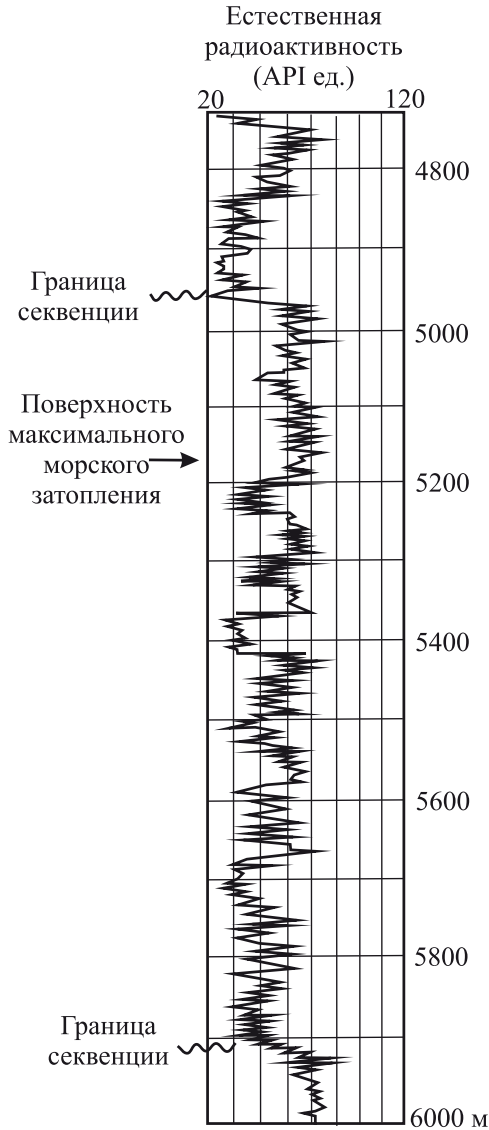


Рис. 56. Выраженность границ секвенций и трансгрессивных поверхностей в гамма-каротаже (по Van Wagoner et.al., 1990, с изменениями).

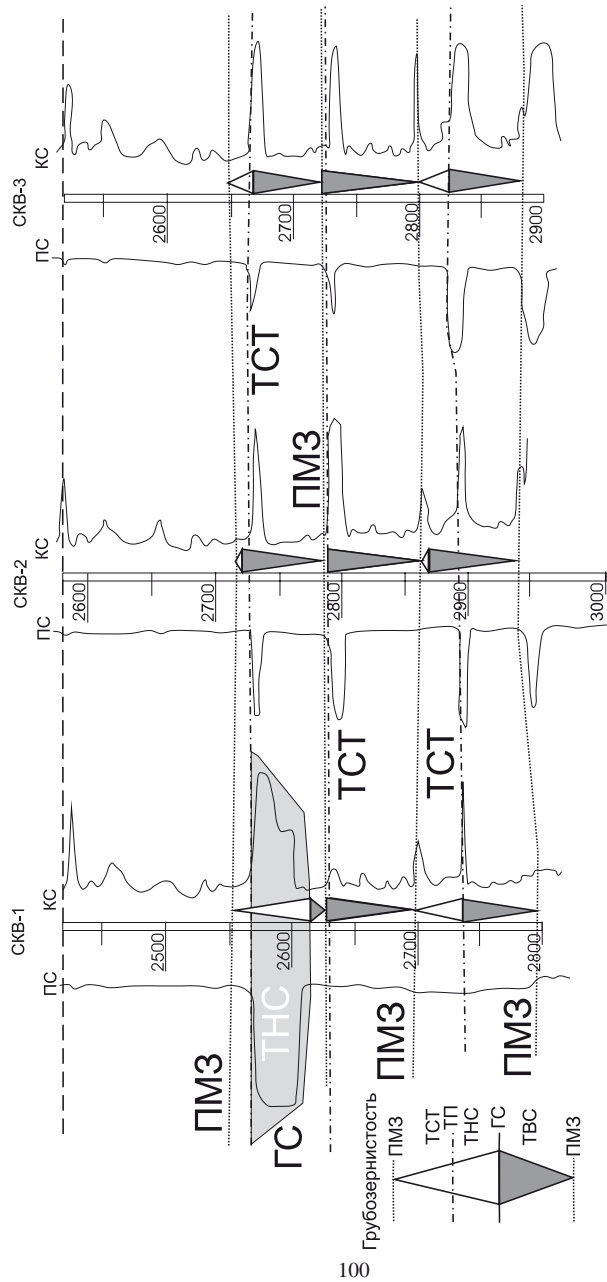


Рис. 57. Пример секвентной интерпретации профиля по трем скважинам по <http://strata.geol.sci.edu> с изменениями. Расшифровка сокращений приведена в тексте.

8. ПРАКТИКУМ ПО СЕКВЕНТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ КАРОТАЖА

Упражнение 6.

Дано: профиль по трем скважинам с данными каротажа (рис. 58) и их частичной секвентной интерпретацией.

Задание: Закончите интерпретацию профиля, определив типы трактов и положение их границ.

9. ПРАКТИКУМ ПО СЕКВЕНТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ

В данном разделе не рассматриваются основы и принципы дешифрирования сейсмических профилей, а приведены: пример интерпретации сейсмического профиля (рис. 59 и 60) и пять профилей (рис. 61–65) для интерпретации.

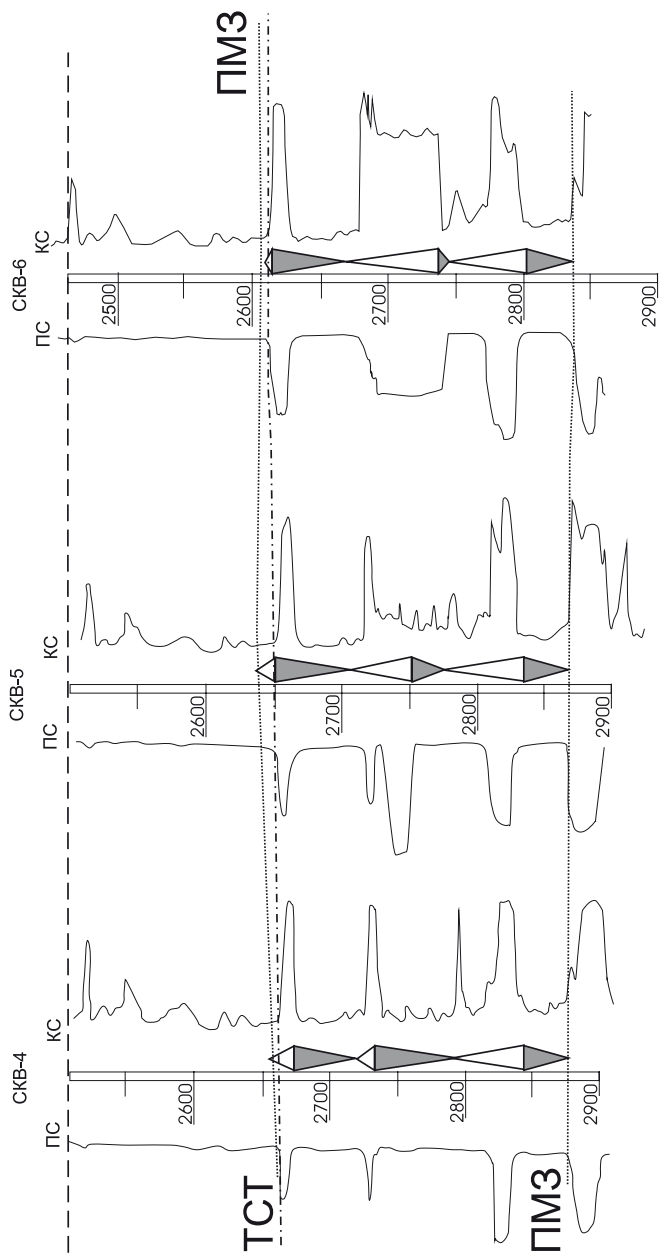


Рис. 58. Набор данных и их частичная первичная секвентная интерпретация на профиле по трем скважинам. Расшифровка сокращений приведена в тексте.

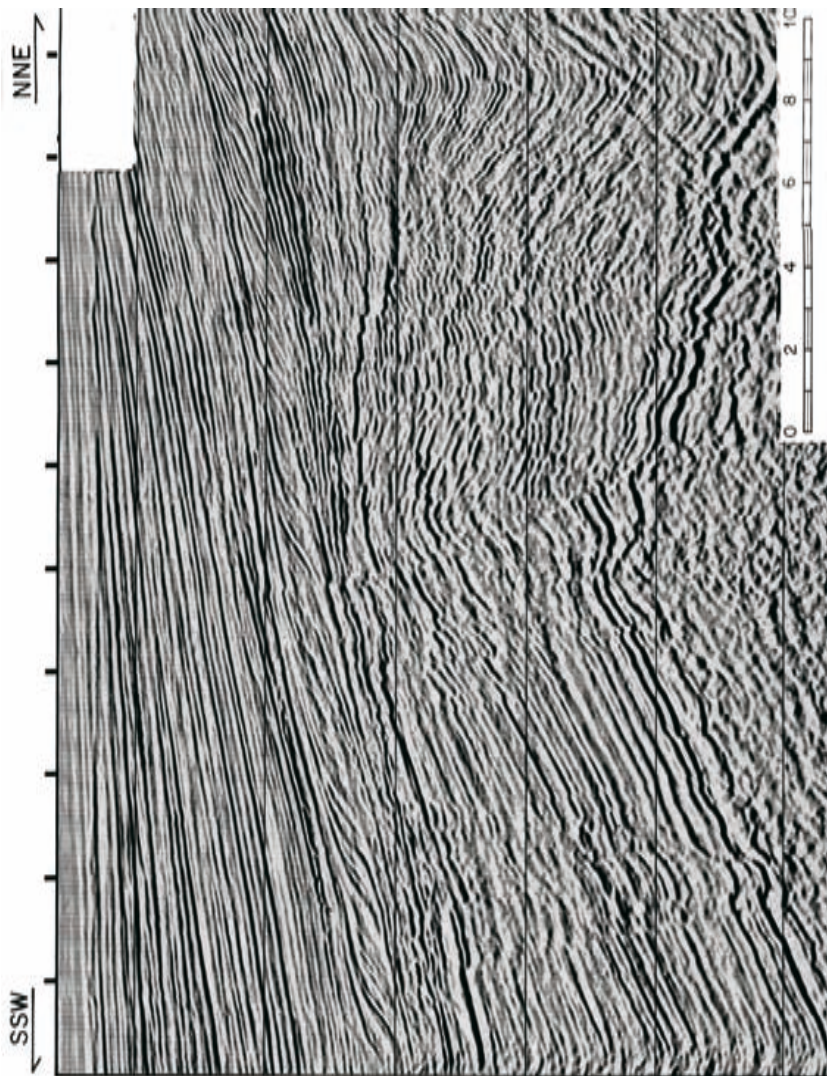


Рис. 59. Исходный сейсмический профиль.



Рис. 61.

Упражнение 7.

Дано: сейсмический профиль.

Задание: проведите интерпретацию профиля, определите типы трактов и положение их границ.

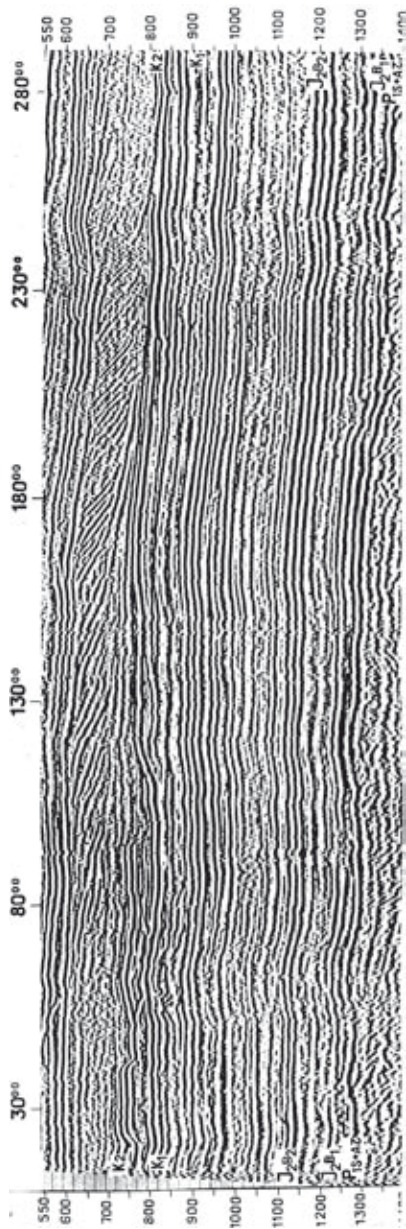


Рис. 62.

Упражнение 8.

Дано: сейсмический профиль.

Задание: проведите интерпретацию профиля, определите типы трактов и положение их границ.

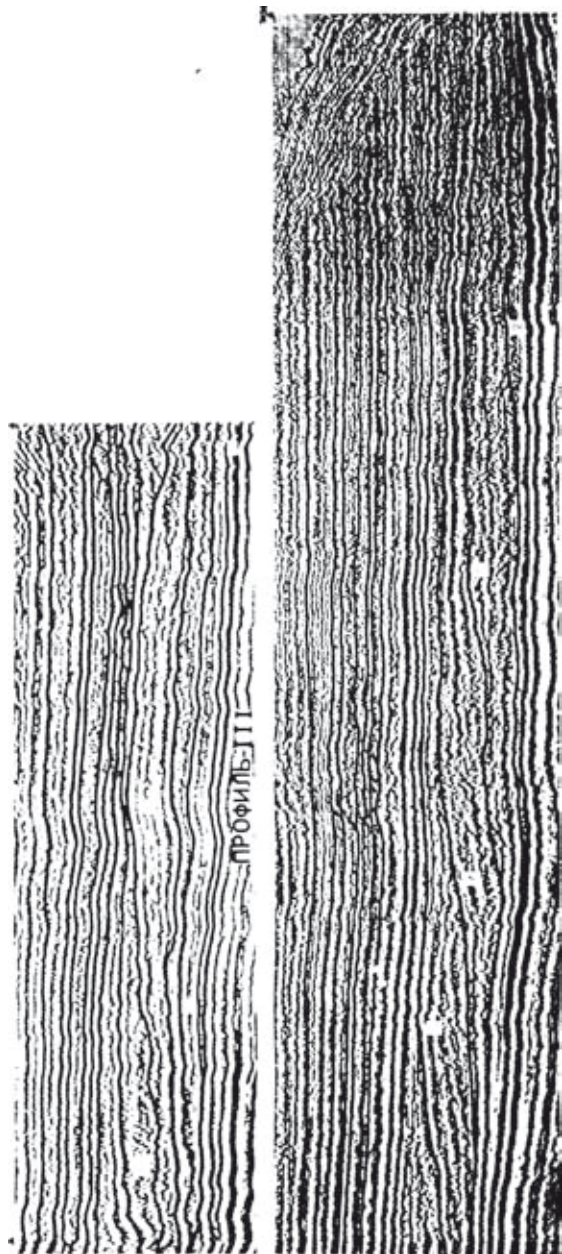


Рис. 63.

Упражнение 9.

Дано: сейсмический профиль.

Задание: проведите интерпретацию профиля, определите типы трактов и положение их границ.

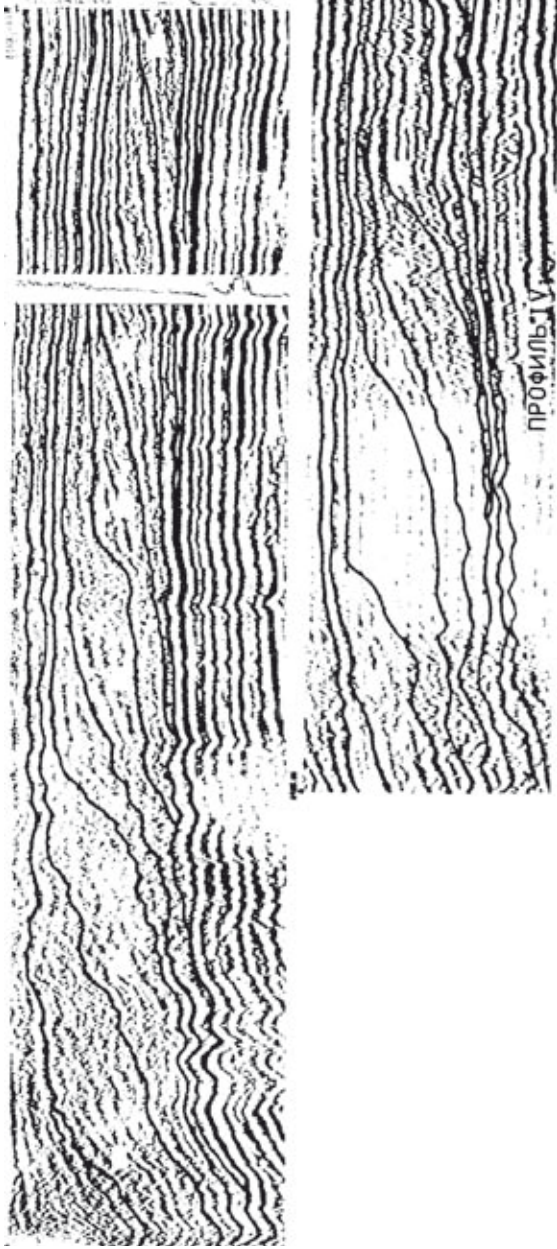
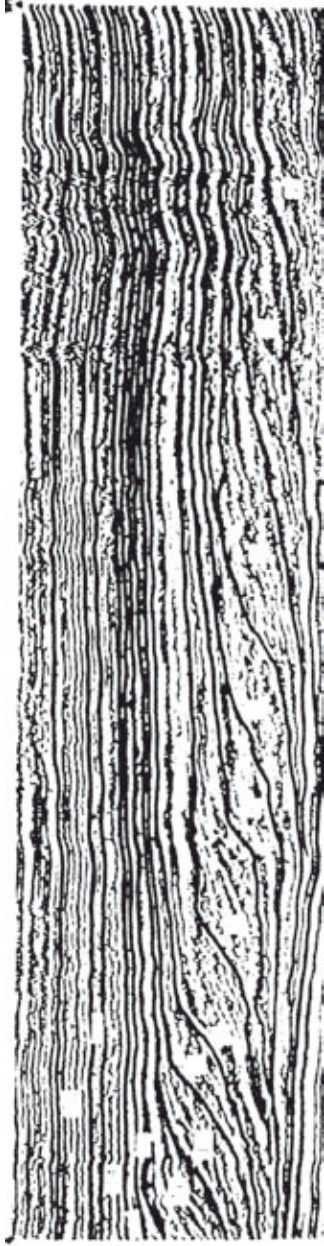


Рис. 64.

Упражнение 10.

Дано: сейсмический профиль.

Задание: проведите интерпретацию профиля, определив типы трактов и положение их границ.



Упражнение 11.

Дано: сейсмический профиль.

Задание: проведите интерпретацию профиля, определите типы трактов и положение их границ.

Рис. 65.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

- Беляков С.Л., Гладенков Ю.Б., Шлезингер А.Е. Стратиграфические исследования, основанные на эвстатических колебаниях // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1993. Т. 1. №6. С. 3–9.
- Карагодин Ю.Н. Методологические вопросы ритмологии и сиквенстратиграфии // Геология и геофизика. Т. 37. 1996, №4, с. 3–12.
- Кунин Н.Я., Кучерук Е.В. Сеймостратиграфия в решении проблем поиска и разведки месторождений нефти и газа // Итоги науки и техники. Сер. месторождения полезных ископаемых. Т. 13. - М., 1985. 200 с.
- Найдин Д.П. Эвстазия и эпиконтинентальные моря Восточно-Европейской платформы. Статья 2. Верхнемеловые секвенции платформы // Бюл. Моск. о-ва испыт. природы. Отд. геол. 1995. Т. 70. Вып. 5. С. 49-65.
- Сейсмическая стратиграфия. - М.: Мир, 1982. Т.1, 2. 846 с.
- Шлезингер А.Е. Региональная сеймостратиграфия. - М.: Научный мир, 1998. 144 с. (Тр. ГИН РАН, вып. 512).
- Emery, D., and Myers K.J. Sequence stratigraphy: Oxford, Blackwell Science, 1996. 297 p.
- Haq, B.U., J. Hardenbol and P.R. Vail. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic // Science. 1987. V. 235. P. 1156–1167.
- Seismic stratigraphy – application to hydrocarbon exploration. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1977. Memoir 26. 514 p.
- Seismic stratigraphy II. An integrated approach to hydrocarbon

- exploration edited by Orville Roger Berg and Donald G. Woolverton. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1985. 276 p.
- Vail P.R., Mitchum R.M. and Thompson S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In: Payton C.E.(ed). Seismic stratigraphy – Applications to hydrocarbon exploration. American Association of Petroleum Geologists Memoir No 26. 1977. Pp. 83–97.
- Van Wagoner J.C., Mitchum R.M., Campion K.M. and Rahmanian V.D. Siliciclastic Sequence Stratigraphy. In: Well logs, Cores and Outcrops, American Association of Petroleum Geologists, Methods in Exploration Series. Tulsa. No 7. 1990. 55 pp.

Дополнительная

- Алексеев А.С. Верхний мел. В сб.: Мазарович О. А., Милеев В. С. (ред.). Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Стратиграфия мезозоя. - М.: Изд-во МГУ. 1989. С. 123–135.
- Био- и секвенсстратиграфия нефтегазоносных бассейнов. Тезисы докладов Второго международного симпозиума. СПб. ВНИГРИ, 1997. 104 с.
- Захаров В.А. и др. Открытие морского сеномана на севере Сибири // Геология и геофизика. 1989. №6. С. 10–13.
- Зуйкова О.Н. Литогенетическая модель меловых отложений западной части Терско-Каспийского краевого прогиба // Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. – М., 2006. 22 с.
- Историческая геология с основами палеонтологии / Е.В.Владимирская, А.Х. Кагарманов, Н.Я.Спасский и др. - Л.: Недра, 1985. 424 с.
- Секвенсстратиграфия нефтегазоносных бассейнов России и стран СНГ. Тезисы докладов. - СПб.: ВНИГРИ, 1995, 124 с.
- Хмелевской В.К. Геофизические методы исследования земной коры. Кн. 1. Методы прикладной и скважинной геофизики. – Дубна: Изд-во Межд. ун-та природы, о-ва и человека, 1997. 275 с.
- Gale A. S., Hancock J. M., Kennedy W. J. Biostratigraphical and sequence correlation of the Cenomanian successions in Mangyshlak (W. Kazakhstan) and Crimea (Ukraine) with those in southern

- England // Bulletin de L'Institute Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Sciences de la Terre, 69-Supp. A, 1999. Pp. 67–86.
- Gale A.S. Cyclostratigraphy and correlation of the Cenomanian Stage in Western Europe. In: Sequence stratigraphy in British Geology, Geol. Soc. Spec. Publ. 1995. № 85. Pp. 177–197.
- Haq B.U., Hardenbol J. and Vail P.R. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea level changes. In Wilgus C.K., Hasings B.S., Posamentier H. et al. (eds) In: Sea level changes: an integrated approach. Special Publication of the Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists. 1998. No. 42. Pp. 71–108.
- Philip J. Nouvelles données biostratigraphiques sur la limite Cénomanién-Turonien. La coupe de Cassis (Sud-Est de la France): proposition d'un hypostratotype européen // Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science. Vol. 325, Iss. 9, 1997. Pp. 703–709
- Posamentier H.W. & Allen G.P. Siliciclastic Sequence stratigraphy – Concepts and Applications. Tulsa, Oklahoma // Soc. Econom. Paleontol. Mineralog. Concepts in Sedimentology and Paleontology. 1999. No.7. 195 p.
- Robaszynski F. et al. The Cenomanian of the Kalaat Senan area (Central Tunisia) litho - biostratigraphy and sequence stratigraphic interpretation // Revue de Paleobiologie, 12, 1993. Pp. 351–505.
- Sloss L.L. Sequences in the cratonic interior of North America // Bull. Geol. Soc. Amer. 1963. Vol. 74. № 2. Pp. 93–114.
- Sloss L.L. Synchrony of Phanerozoic sedimentary – tectonic events of the North American craton and the Russian Platform // 42th Intern. Geol. Congr. Montreal. 1972. Sec.6. P. 24-32
- Stille, H., 1924, Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Borntraeger, Berlin. 443 p.
- Suess E. Das Antlitz der Erde. Bd. 2. Prag-Wien-Leipzig. 1888. 703 p.

Интернет-ресурсы

<http://strata.geol.sc.edu>

www.ort.spb.ru/spb-israel/7/nedelya.html

www.uga.edu

Учебное издание

ГАБДУЛЛИН Руслан Рустемович,
КОПАЕВИЧ Людмила Федоровна,
ИВАНОВ Алексей Викторович

СЕКВЕНТНАЯ СТРАТИГРАФИЯ

Учебное пособие

Дизайн, верстка,
допечатная подготовка – Е.Моисеева
Дизайн обложки - А.Н. Гостев
Корректор – И.П.Сторожук

Издательство ООО «Макс-Пресс»
119992, г. Москва, Ленинские горы, МГУ,
2-ой корп., этаж 6, к. 627
Тел./факс: (495) 939-3890, 939-3891, 393-3893
www.makspress.ru
Лицензия ИД № 00510 от 01.12.99 г.

Подписано в печать 24.10.2008. Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,65. Тираж 500 экз. Заказ № 3345 от 14.10.2008.

Отпечатано в типографии ООО «Метро-Принт»
410012, г.Саратов, ул. Рабочая, 105
Тел. (8452) 22-66-77, 34-73-24