

НЕФТЕГАЗОВЫЙ ИНЖИНИРИНГ

**Г. В. ПОЗАМЕНТЬЕР
Дж. П. АЛЛЕН**

СЕКВЕНСНАЯ СТРАТИГРАФИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ
И ПРИМЕНЕНИЕ**



Оглавление

От редакционного совета серии	xiii
Предисловие редактора перевода	xv
Предисловие	xvii
ГЛАВА 1. Обзор	1
Введение	1
Развитие секвенной стратиграфии	6
Понятие «секвенс»	9
Значение для геологоразведочных работ	17
Подход	18
ГЛАВА 2. Основные принципы секвенной стратиграфии	20
Введение	20
Основные контролирующие факторы и процессы	21
Введение	21
Аккомодация	21
Морские и озерные обстановки	22
Флювиальные обстановки	29
Поступление осадка	46
Реакция на изменения в поступлении осадков	46
Влияние поступления осадков на аккомодацию	47
Влияние физико-географической обстановки	49
Нормальная и форсированная регрессии	51
Осадочные секвенсы	54
Введение	54
Определение секвенсов	55
Роль тектоники в строении секвенсов	67
Формирование секвенсов и системных трактов	69
Системный тракт низкого стояния (нижний)	75
Трансгрессивный системный тракт	83
Системный тракт высокого стояния (верхний)	88
Различия в подходах и проблемы	96
Введение	96
Циклы или секвенсы?	96
Секвенсы и парасеквенсы	100
Положение и временные интервалы границ секвенсов	101
Иерархия (соподчинение) секвенсов	110

ГЛАВА 3. Свойства опорных поверхностей	115
Введение	115
Граница секвенса	117
Аллювиальные обстановки	119
Другие факторы (не связанные с изменениями относительного уровня моря), контролирующие аллювиальную аккумуляцию	137
Морские обстановки	140
Границы секвенсов на шельфе	142
Границы секвенсов на склоне и в центральной части бассейна	177
Поверхность максимального затопления	184
Аллювиальные обстановки	191
Береговые и шельфовые обстановки	193
Трансгрессивная поверхность	197
ГЛАВА 4. Строение системных трактов по данным фациального анализа и геофизических исследований скважин	204
Введение	204
Системный тракт низкого стояния уровня моря	207
Циклы колебаний относительного уровня моря высокого порядка	209
Физико-географическая обстановка	211
Аллювиальные отложения	225
Отложения предфронтальной зоны пляжа и шельфа	255
Ранняя фаза системного тракта низкого стояния	255
Диагностические критерии отложений форсированной регрессии ранней фазы этапа низкого стояния	266
Поздняя фаза системного тракта низкого стояния	277
Отложения глубоководного склона и бассейна	279
Трансгрессивный системный тракт	290
Прибрежные обстановки с низкой волновой и приливно-отливной энергией	301
Береговые обстановки с низкой волновой энергией и высокой энергией приливов и отливов	305
Береговые обстановки с высокой волновой энергией и низкой энергией приливов и отливов	312
Прибрежные обстановки с высокой энергией волн и приливов	332
Системный тракт высокого стояния	336
ГЛАВА 5. Практическая методология	342
Введение	342
Процедура секвенс-стратиграфического анализа	342
Этап 1. Определение палеогеографической обстановки	343

Этап 2. Интерпретация седиментационных систем и фаций с использованием всей совокупности имеющихся данных	345
Типы каротажной записи	346
Электрофации	353
Этап 3. Стратиграфическое расчленение толщи с помощью поверхностей максимального затопления и границ секвенсов .	354
Этап 4. Анализ типов наслоения фаций и выделение системных трактов	359
ГЛАВА 6. Ошибки, сложности и «подводные камни» применения секвенной стратиграфии	365
Введение	365
Рабочий инструмент, а не шаблон	368
Выявление опорных поверхностей	370
Выделение системных трактов	373
Парасеквенсы	377
Недостаточность данных каротажа	377
Недостаточность данных по обнажениям	378
Преимущества использования комплексных баз данных	378
ГЛАВА 7. Заключение	380
Литература	383
Предметный указатель	412

Предисловие редактора перевода

Основные положения концепции секвенсной стратиграфии в ее современном виде были впервые представлены в 1977 году серией статей П. Р. Вейла (P. R. Vail), Р. М. Митчема (R. M. Mitchum), С. Томсона (S. Tompson), Ж. В. Сангри (J. V. Sangree) и др. в трудах AAPG [Memoirs 26, 1977]¹. Появившиеся в дальнейшем многочисленные публикации в англоязычных изданиях позволили создать целостную, всесторонне обоснованную концепцию — по сути, новый методологический подход к изучению осадочных бассейнов. Активное развитие и внедрение в практику геологоразведочных работ показали прогностическую значимость концепции. Несмотря на то что секвенсная стратиграфия базируется на фундаментальных принципах геологии, она представляет собой новый этап в развитии геологических идей, а ее изложение потребовало создания новых терминов. В итоге в рамках концепции сформировался своеобразный «рабочий жаргон», который до сих пор остается предметом критики и дискуссий.

В еще большей степени эти терминологические и понятийные проблемы касаются переводов и использования концепции в русскоязычной литературе. Например, даже термин *sequence* переводится в публикациях как *секвенция*, *секвенс*, *сиквинс* и др.

В России секвенсная стратиграфия начала внедряться с 90-х годов прошлого века, когда стали появляться первые русскоязычные публикации и начали проводиться первые тематические семинары и совещания. При этом авторы и докладчики часто излагали свои собственные представления о секвенсной стратиграфии, смешивая порой различные подходы и определения. Все это породило своего рода терминологический и понятийный хаос. Поэтому в 2000 году было подготовлено и издано дополнение к Стратиграфическому кодексу России², в котором были предложены к использованию термины и формулировки, определяющие основные положения секвенсной стратиграфии.

Предлагаемая вашему вниманию публикация Г. В. Позаментьера и Дж. П. Аллена представляет одно из наиболее полных изложений концепции в варианте, очень близком к «оригинальной» версии, разработанной в компании *Exxon* и представленной в 1977 году. Но надо иметь в виду, что рассматриваемая публикация отражает и новые взгляды авторов, и некоторые отличия в трактовке основных понятий. В частности, это касается обоснования Г. Позаментьером понятия форсированной регрессии (*forced regression*).

Переводчики настоящего издания стремились передать содержание и терминологию публикации как можно ближе к англоязычной версии. Как правило,

¹ Seismic Stratigraphy — Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG memoirs 26, 1977.

² Дополнения к Стратиграфическому кодексу России. С.-Пб.: ВСЕГЕИ, 2000. С. 59–67.

при этом использовались переводы терминов, принятые в дополнении к Стратиграфическому кодексу России. Однако не все новые термины представлены там и не все из них можно признать удачными. Например, отметим термины *lowstand/highstand system tracts* и особенно их русский перевод: *системные тракты низкого и высокого стояния уровня моря*. В соответствии с оригинальными представлениями о системных трактах их выделение и обоснование связаны не только и не столько с изменениями уровня моря, сколько с положением внутри секвенции, типом ограничивающих поверхностей и характером строения слагающих их пачек. С этой точки зрения для названия трактов больше подошли бы термины «нижний» и «верхний» соответственно, однако в настоящем переводе принят вариант, предложенный в дополнении к Стратиграфическому кодексу.

В целом настоящая публикация имеет огромное значение для понимания и использования концепции секвенсной стратиграфии и, безусловно, поможет русскоязычным читателям более широко применять предложенный методологический подход к изучению осадочных бассейнов и прогнозу связанных с ними месторождений полезных ископаемых.

Научный редактор перевода,
кандидат геолого-минералогических наук

Е. О. Малышева

Предисловие

Целью этой книги являются детальный анализ и обсуждение секвенс-стратиграфических принципов применительно к терригенным отложениям. Мы возвращаемся к рассмотрению этих принципов на фоне подлинного взрыва публикаций по секвенной стратиграфии, отмечаемого в последние годы. Спецификой нашего подхода является разработка секвенс-стратиграфической концепции с опорой на «основополагающие принципы» геологии; мы стремимся показать, что секвенная стратиграфия — это скорее *подход* или метод изучения стратиграфической последовательности, а не всеобъемлющая модель или шаблон, в который должны укладываться любые совокупности данных. Тем самым читатели, ожидающие найти в этом издании «поваренную книгу» секвенс-стратиграфических принципов, могут испытать разочарование. Стремясь оставаться в ходе нашей дискуссии на практической почве, мы по мере возможности проиллюстрировали наши идеи схематическими диаграммами и реальными примерами.

Мы также хотели бы подчеркнуть, что для надлежащего применения этих концепций требуется комплексное использование всей совокупности значимых данных: описаний обнажений, каротажных диаграмм, сейсмических данных, биостратиграфии и т. д. Кроме того, при необходимости следует включать в рассмотрение данные целого ряда научных дисциплин, таких как фациальный анализ, анализ осадочных систем, сеймостратиграфия, биостратиграфия и т. д. В свете комплексного и междисциплинарного подхода, на котором основывается секвенная стратиграфия, эта научная дисциплина рассматривается как «объединяющая концепция», способствующая сведению воедино и синтезу разнородных баз данных.

Мы отдаем себе отчет, что теория, получившая известность под названием секвенной стратиграфии, восходит корнями к классической геологии и во многих отношениях является результатом «перекомпоновки» некоторых из ее концепций. Однако ряд положений секвенной стратиграфии, несомненно, являются новыми и отличными от прежних и в потенциале позволяют получить новые представления об осадочных бассейнах. Благодаря этому секвенная стратиграфия приобрела существенную значимость для поиска и разведки нефти и газа. Эффективность прогнозирования пространственного и временного распределения фаций коллекторов, покрышек и нефтегазоматеринских пород существенно повысилась благодаря использованию секвенс-стратиграфического подхода. Результатом развития этих концепций явилось углубление наших знаний о внутреннем строении и выдержанности природных резервуаров; в некоторых случаях

секвенс-стратиграфический анализ способствовал выработке новых перспективных объектов геолого-поисковых работ.

Мы рассматриваем эту книгу в качестве «моментального снимка» (snapshot) секвенсной стратиграфии в ее нынешнем состоянии. Что касается дискуссионных вопросов, мы надеемся представить свою сбалансированную оценку, а во многих случаях мы обозначим наши предпочтения. Мы отдаем себе отчет в том, что секвенсная стратиграфия продолжает стремительно развиваться, и мы еще будем свидетелями значительных изменений в ее концепциях или новых вариаций на главную тему. Мы попытались предложить достаточно обоснованную концептуальную и фактологическую схему, способную интегрировать в себя подобные будущие изменения; однако только время покажет, увенчалась ли наша попытка успехом.

Генри В. Позаментьер
(Джакарта, Индонезия)

Джордж П. Аллен
(Брисбейн, Австралия)

ГЛАВА 1

Обзор

Введение

Со времен первой публикации по секвенсной стратиграфии [Wilgus et al., 1988] ее положения приобрели широкое признание и используются геологическим сообществом применительно к самым разнообразным базам данных, включая сейсмические (обычные и высокого разрешения), данные каротажа на кабеле, материалы изучения обнажений, керна, а также палеонтологические и геохимические данные. В последнее время по секвенсной стратиграфии написано немало; многочисленные статьи в недавних изданиях иллюстрируют примеры применения ее положений или их модификаций (например, [Einsele et al., 1991; MacDonald, 1991; Posamentier et al., 1993; Dalrymple et al., 1994; Johnson, 1994; Weimer, Posamentier, 1994; Saito et al., 1995; Van Wagoner, Bertram, 1995]). Секвенс-стратиграфический подход применялся к отложениям разного возраста, от протерозойских [Christie-Blick et al., 1998] до современных [Posamentier et al., 1992a]. Недавние обзоры концепций секвенсной стратиграфии опубликованы в работах [Christie-Blick, Driscoll, 1995; Emery, Myers, 1996; Miall, 1995]. В частности, в работе [Emery, Myers, 1996] дается всеобъемлющий обзор положений секвенсной стратиграфии применительно к различным обстановкам осадконакопления при особом внимании к последним. В этой работе мы главным образом обсуждаем ключевые положения секвенсной стратиграфии с целью дать ясное представление об основных элементах подобного анализа. Такой подход выбран нами для того, чтобы читатели в дальнейшем могли разрабатывать секвенс-стратиграфические модели, приспособленные к конкретным геологическим условиям, в противоположность механическому запоминанию и применению статичных «моделей» или шаблонов. Мы убеждены, что это приведет к более рациональному и эффективному применению секвенсной стратиграфии.

В ранних публикациях, посвященных этим концепциям, давалось определение секвенсной стратиграфии как учения о *«взаимоотношениях пород в хроностратиграфических рамках повторяющихся, генетически связанных слоев, ограниченных поверхностями эрозии или перерыва в осадконакоплении, или же коррелятивных им границ согласного залегания»* [Posamentier et al., 1998; Van Wagoner et al., 1998]. Проще говоря, секвенсная стратиграфия — это анализ цикличности осадков, наблюдаемой в стратиграфических последовательностях и отражающей вариации в поступлении осадков и изменения пространственных параметров области осадконакопления.

По мере того как положения секвенсной стратиграфии становились общепринятыми, все более широкое распространение приобретали связанные с ними жаргон и разнородная терминология. К сожалению, в определенной мере это способствовало размыванию понятийной базы в сфере применения секвенс-стратиграфических концепций. Одна из задач этой книги — вернуться к исходным понятиям и принципам, лежащим в основе секвенсной стратиграфии, и преодолеть возникшие различия в терминологии и подходах. В частности, мы стремимся выделить те моменты, которые могут рассматриваться как стратиграфические «первоосновы», являющиеся базой секвенсной стратиграфии, и проиллюстрировать возможность их практического применения в различных геологических ситуациях. С этой целью в таблице 1.1 приведены те положения, которые нам представляются базовыми для стратиграфии в целом и секвенсной стратиграфии в частности.

Применяя эти принципы, мы стремимся подчеркнуть, что так называемая «секвенс-стратиграфическая модель» не является «моделью» в строгом смысле слова. В противоположность мнениям, выразившимся в более ранних работах, секвенс-стратиграфическая «модель» не может быть исчерпывающим образом представлена на единой блок-диаграмме или на серии блок-диаграмм, подобных опубликованным в работах [Haq et al., 1987, рис. 1; Posamentier et al., 1988, рис. 1–6]. Как будет показано ниже, секвенс-стратиграфическая «модель» более адекватно проявляется в множественных вариациях, соответствующих местным геологическим факторам, в разной мере контролирующим осадочные фации и строение разрезов. Как отметил Р. Крейса [Kreisa, personal communication, 1994], бесчисленные смены стратиграфических взаимоотношений, отраженных в последовательностях пород, определяются широчайшим разнообразием параметров временного и пространственного характера. Скорость прогибания, интенсивность поступления осадков, энергия бассейна, биогенная активность и т. д. составляют последовательность переменных величин, что приводит к великому множеству комбинаций и вариантов, в совокупности создающих геологическую летопись. Тем самым любая частная геологическая модель представляет попытку уложить эти вариации в определенные рамки, с тем чтобы выделить наиболее важные факторы, установить закономерности и в конечном итоге лучше понять и научиться предсказывать поведение природных систем. По этой причине, учитывая исходные недостатки любых моделей как таковых, мы предпочитаем рассматривать «секвенс-стратиграфическую модель» как совокупность базовых принципов, при должном понимании и применении которых создается возможность анализировать, понимать и предсказывать пространственное и временное распределение типов литологических и стратиграфических взаимоотношений в пределах бассейна. В рамках этого подхода следует оценивать различные исходные параметры, контролирующие характер осадконакопления (рис. 1.1), и, используя рациональные геологические умозаключения, создавать секвенс-стратиграфические сценарии, отвечающие уникальным характеристикам конкретных бассейнов. Как будет неоднократно подчеркиваться в этой работе, концепции секвенсной стратиграфии следует использовать скорее в качестве рабочего инструмента, нежели в качестве шаблона [Posamentier, Allen, 1993a].

Таблица 1.1. Перечень некоторых ключевых геологических принципов секвенной стратиграфии

- Все природные системы стремятся к состоянию равновесия, при котором энергия используется наиболее эффективно. Такое состояние может выражаться равновесными профилями, отражающими связь аллювиальных, шельфовых или глубоководных обстановок с изменениями уровня моря в прибрежных зонах
- Гравитационные потоки низкой и высокой плотности стремятся двигаться от повышений к понижениям в рельефе; иными словами, вода течет вниз по склону, следуя топографическим или батиметрическим понижениям
- «Закон Вальтера¹». При отсутствии перерывов в осадконакоплении наблюдаемая вертикальная последовательность осадков может быть прослежена также и по горизонтали
- Особенности осадконакопления отражают соотношения между скоростью поступления осадка и скоростью изменений аккомодации (т. е. пространства, в котором осадок накапливается)
- Основная масса терригенных² осадков поступает из областей сноса³ и поставляется в осадочные бассейны речными системами
- Скорость потока прямо пропорциональна крутизне склона
- Расход водотока (субаэральный или субаквальный) равен произведению его скорости на площадь поперечного сечения
- Размер зерен переносимого осадка и его объем прямо пропорциональны мощности водотока, то есть скорости течения и расходу воды
- Тонкозернистые осадки (например, алевроит и глина) обычно переносятся в виде взвеси, тогда как более грубые (например, песчаной и более крупной размерности) — в форме твердого стока у дна (волочением) или во взвеси
- По мере снижения энергии среды грубозернистые осадки отлагаются первыми
- Чем больше площадь водосборного бассейна реки, тем меньшим колебаниям подвержен расход воды

В ранних работах по секвенной стратиграфии речь шла в основном о применении глобальной схемы эвстатических циклов [Haq et al., 1987]. Этот несколько однобокий подход породил представление, что главной задачей секвенной стратиграфии является построение возрастных моделей для определенной стратиграфической последовательности. Такая методика включала в себя корреляцию местных стратиграфических разрезов с глобальной схемой эвстатических циклов на основании биостратиграфических данных и анализа физической стратиграфии (например, геометрии берегового налегания) [Haq et al., 1987,

¹Middleton G. V. Johannes Walther's Law of the Correlation of Facies, *Bull. Geol. Soc. Am.*, 1973, vol. 84, pp. 979–988. — *Прим. пер.*

²Автором употреблен термин «кремнисто-обломочные осадки», однако в российской литературе традиционно применяется термин «терригенные осадки», который и будет использоваться далее в соответствующем контексте. — *Прим. пер.*

³Тыловая область складчатого сооружения. — *Прим. пер.*



Рис. 1.1. Взаимодействия между ключевыми факторами, определяющими структуру осадочного выполнения бассейна

1988]. Позднее центр внимания сместился на анализ и прогнозирование временных и пространственных стратиграфических взаимоотношений на основе интерпретации цикличности осадконакопления и изучения процессов седиментации. По нашему глубокому убеждению, этот последний аспект, включающий в себя прогноз литологического состава и особенностей строения разреза, представляет наиболее важную сферу практического применения секвенной стратиграфии. Поэтому в данной работе основной упор будет сделан на прогноз стратиграфических взаимоотношений, а не на использование глобальных эвстатических схем. Такое применение секвенной стратиграфии сводится преимущественно к анализу взаимодействия между поступлением осадка и пространством, которое может быть им заполнено. Это пространство названо аккомодацией [Jervey, 1988]. Аккомодация является функцией нескольких факторов, включающих эвстатика, тектонику, уплотнение осадка, геоморфологии (см. обсуждение в главе 2). Она может существовать в любой геологической обстановке — от аллювиальной до эоловой и глубоководной морской.

В последнее время происходит пересмотр роли уровня моря как главного фактора, контролирующего особенности строения разреза. Отметим, что другие факторы, влияющие на характер осадконакопления, такие как тектоника и поступление осадка, не менее, а в некоторых случаях и более важны, чем уровень моря. Поэтому мы считаем, что важность секвенной стратиграфии как метода *не зависит* от того, какой из факторов (эвстатика или тектоника) определяет обстановку осадконакопления, а также от того, корректны ли «глобальная» эв-

статическая кривая и ее применение в том или ином секвенс-стратиграфическом контексте. Касаясь основных факторов, контролирующих обстановку осадконакопления, необходимо подчеркнуть, что среди них нет ни одного основного, а имеет место взаимодействие множества факторов, таких как эвстатика, тектоника, геоморфология бассейна, поступление и уплотнение осадка; относительная значимость каждого из них может изменяться в различных частях бассейна. Как будет показано далее, мы не задаемся вопросом, зависит ли характер осадков от колебаний уровня моря (т.е. эвстатики) или от движений морского дна (т.е. суммарного прогибания как функции тектоники, теплового прогибания⁴ и уплотнения осадка). Мы рассмотрим эти движения в совокупности, делая акцент на *относительном* уровне моря. Подчеркивая роль последнего, мы исходим из того, что в пределах любого бассейна изменения в обстановке осадконакопления и строения разрезов носят локальный характер и определяются различиями в скоростях тектонического прогибания, поступления осадка и т.д. В силу этого необходимо иметь в виду, что концепция секвенсной стратиграфии *не предполагает* одинакового строения одновозрастных разрезов повсеместно.

Как было показано, применение методов секвенсной стратиграфии особенно оправдано при поисках и разведке нефти и газа. Это наиболее справедливо в отношении прогнозирования литологии в зрелых бассейнах, где основным объектом поисковых работ являются уже не структурные, а структурно-стратиграфические или даже чисто стратиграфические ловушки [Bowen et al., 1993]. Так как секвенс-стратиграфическому «подходу» присуще особое внимание датированию осадочных событий, то при его использовании делается сильный акцент на временные и пространственные стратиграфические взаимоотношения. В результате достигнуто существенное углубление наших представлений о возрасте и распространении фаций коллекторов, материнских отложений и покрышек. Помимо этого, секвенс-стратиграфия является эффективнейшим инструментом при разработке моделей новых потенциально нефтегазоносных объектов, таких как выполнение врезанных долин (например, [Weimer, 1984; Reinson et al., 1988; Van Wagoner et al., 1990; Allen, Posamentier, 1993; Bowen et al., 1993; Dalrymple et al., 1994], дельт и предфронтальных зон пляжа в периоды низкого положения уровня моря (например, [Plint, 1988; Posamentier, Chamberlain, 1989, 1993; Posamentier et al., 1992a; Plint et al., 1987; Walker, Plint, 1992; Bergman, Walker, 1995]).

Секвенс-стратиграфические концепции могут быть также весьма полезны в новых поисковых районах, где с их помощью можно создавать жизнеспособные геологические модели (например, [Brink et al., 1993; Muntingh, Brown, 1993]). Однако следует учитывать, что достоверность секвенс-стратиграфических интерпретаций (как, впрочем, и любых геологических интерпретаций) прямо пропорциональна объему имеющихся данных. Иными словами, чем меньше у нас данных (ситуация, типичная для малоизученных бассейнов), тем ниже достовер-

⁴Прогибание бассейна в ходе пострифтового охлаждения литосферы. <http://www.badleys.co.uk/services/pdf/BackstrippingRU.pdf> — Прим. пер.

ность интерпретаций. Поэтому в трудных для изучения обстановках прогнозы будут основываться скорее на моделях, чем на имеющихся данных. Тем не менее мы считаем, что даже для бассейнов с очень слабой степенью изученности, опираясь на секвенс-стратиграфический подход, можно построить весьма реалистичные и непротиворечивые модели, обладающие прогностической силой. Сама секвенсная стратиграфия с легкостью поддается количественному моделированию [Tetzlaff, Harbaugh, 1989; Cross, 1990; Miall, 1995]. Взаимодействия между факторами, контролирующими стратиграфическую эволюцию, могут быть очень непростыми, включая в себя сложнейшие механизмы обратной связи. Моделирование этих независимых и зависимых переменных крайне важно при изучении влияния вариации и совокупности этих факторов на осадконакопление. В многочисленных исследованиях предпринимались попытки моделирования стратиграфических событий в зависимости от вариаций таких параметров, как поступление осадка, эвстатика и суммарное прогибание [Helland-Hansen et al., 1988; Jervey, 1988; Syvitski, 1989; Lawrence et al., 1990; Steckler et al., 1993; Ross et al., 1995; Milana, 1998]. Несмотря на то что модели становятся все более сложными и смещаются в новые области, например такие как «нечеткая логика» [Nordlund, 1996], большинство из них все еще непригодны для достоверного трехмерного моделирования, особенно в сложных изменчивых геоморфологических обстановках. Тем не менее высока вероятность того, что быстрое развитие этой области исследований вскоре устранил эти белые пятна и приведет к крайне важным открытиям.

В последующих разделах кратко изложена история становления секвенс-стратиграфии, приводится обсуждение природы цикличности осадочных толщ и дается определение секвенсов.

Развитие секвенсной стратиграфии

Современные секвенс-стратиграфические представления уходят корнями в работы европейских стратиграфов, еще в конце XIX века обособивших в осадочных комплексах толщи, разделенные поверхностями, отражающими резкие изменения или перерывы в осадконакоплении. Такие последовательности пород формально определялись как ограниченные несогласиями ярусы. Приблизительно в это же время Зюсс [Suess, 1904] ввел в научный обиход и детально изложил концепции эвстатики и глобального контроля над несогласиями.

Впоследствии Вилер [Wheeler, 1958, 1959], Велер [Weller, 1960] и Слосс [Sloss, 1962, 1963] выявили значимость и практическую важность корреляции изохронных поверхностей между геологическими разрезами и продолжили разработку этих концепций. Применение ими методов хроностратиграфии при стратиграфическом анализе во многих случаях позволило сделать более глубокие выводы, чем это могло быть достигнуто за счет применения более традиционного литостратиграфического подхода, преобладавшего среди стратиграфов в те времена (рис. 1.2). Многие из выработанных этими исследователями представлений

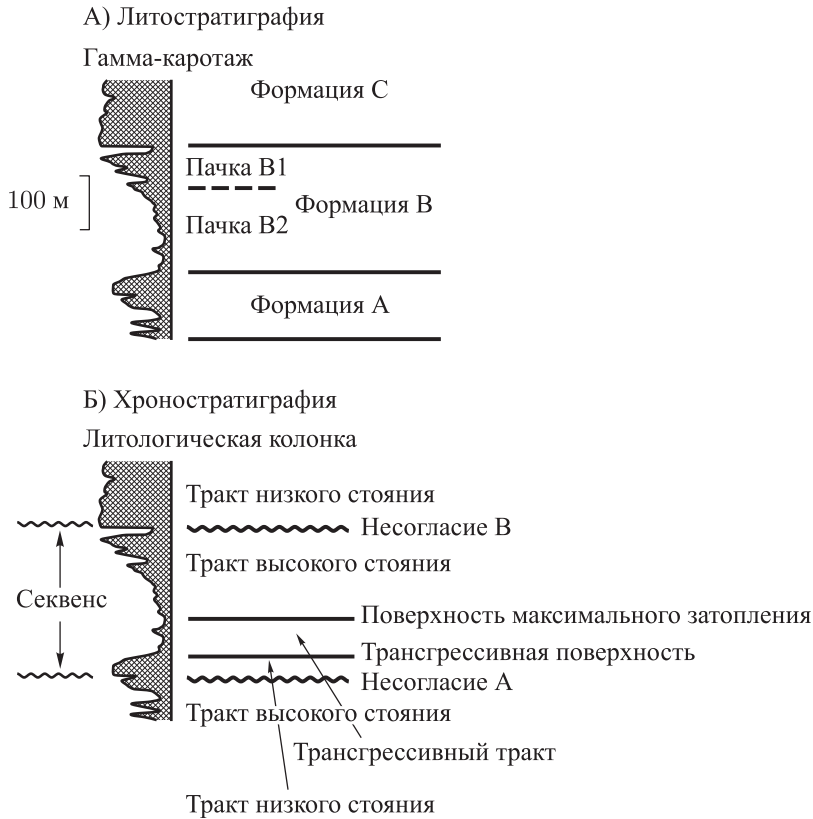


Рис. 1.2. Схематическое изображение различий в подходах с позиций «классической» стратиграфии, то есть литостратиграфии (А), и секвенсной стратиграфии, или хроностратиграфии (Б). В рамках литостратиграфического подхода стратиграфические пачки обособляются на основе физических характеристик пород, тогда как при секвенс-стратиграфическом подходе они выделяются, на основе хроностратиграфии. При этом особая роль уделяется выявлению поверхностей, разделяющие крупные осадочные комплексы

можно без труда изложить в терминах концепции, ныне известной как секвенсная стратиграфия.

Подход, который отстаивали Г. Вилер, Дж. Велер и Л. Слосс, не прижился в геологическом сообществе в такой же мере, как современная секвенсная стратиграфия, так как в их распоряжении не было одного чрезвычайно важного инструмента, ставшего доступным только в конце 1960-х и в 1970-х годах. Этим инструментом является высококачественное многоканальное сейсмопрофилирование методом отраженных волн (МОВ). С данными, полученными с помощью этого метода, геологи могли получать физическое отображение глубинного стратиграфического строения, которое позволяло свести к минимуму роль некоторых широких допущений, требовавшихся ранее при стратиграфической корреляции.

С появлением высококачественных данных сейсморазведки МОВ *сейсмо-стратиграфия* заняла подобающее ей место. Вообще, метод сеймо-стратигра-

фии заключается в стратиграфической интерпретации сейсмических данных. В своей основополагающей публикации Питер Вейл и его коллеги по Exxon Production Research Co. [Vail et al., 1977; AAPG Memoir 26] отметили, что детальная стратиграфическая информация может быть получена посредством интерпретации сейсмических данных. Более того, на основе этих данных могут быть сделаны достаточно глубокие стратиграфические выводы. Работа П. Вейла с коллегами основывалась на принципиальном допущении того, что сейсмические отражения аппроксимируют изохронные поверхности [Vail et al., 1977]. С учетом этого ими обосновано, что сейсмические разрезы характеризуют реальное стратиграфическое напластование (стратиграфическую архитектуру), хотя и с низким разрешением. Получили объяснение и подтверждение скважинными данными типы стратиграфической прерывистости, которые связаны с латеральным затуханием отражений (reflection terminations) по типу подошвенного налегания (onlap) и подошвенного прилегания (downlap).

Эти сейсмостратиграфические наблюдения послужили основанием для предположения, что литологические комплексы характеризуются четко выраженной цикличностью и, более того, что подобная цикличность существовала в тех же хроностратиграфических интервалах в различных осадочных бассейнах по всему миру. Согласно построениям этих авторов, для объяснения столь очевидной глобальной одновременности событий необходимо допустить существование причинного механизма, действующего в глобальных масштабах. Было выдвинуто предположение, что этим механизмом служили глобальные циклические вариации уровня моря, то есть эвстатические циклы. В результате были опубликованы первые глобальные эвстатические кривые, основанные на сейсмологических данных [Vail et al., 1977]. Одновременно с этим Питмен (1978) отметил, что *скорость* изменения уровня моря оказывает существенное влияние на особенности стратиграфической архитектуры. Кривые глобального изменения уровня моря характеризуются цикличностью, проявленной на нескольких порядковых уровнях. Наиболее часто наблюдаемые циклы — это так называемые циклы третьего порядка с периодами от 0,5 до 3,0 млн лет. Была также установлена цикличность иных масштабов, от так называемых циклов первого порядка длительностью более 50 млн лет до высокочастотных циклов пятого порядка длительностью 30–80 тыс. лет (таблица 1.2). Впоследствии каждый из этих порядковых уровней эвстатической цикличности был соотнесен с конкретным причинным механизмом, таким как тектонические циклы (более низкой частоты) или климатические циклы Миланковича (более высокой частоты) [Vail et al., 1991]. Однако глобальная одновременность стратиграфических циклов в последние годы является предметом дискуссии, продолжая вызывать некоторые разногласия [Miall, 1992, 1994, 1995].

Циклические отложения, послужившие основой для выводов относительно цикличности изменений уровня моря, получили название *осадочных секвенсов* [Mitchum, 1977]. В качестве границ секвенсов были приняты стратиграфически прерывистые поверхности, вдоль которых происходят затухания сейсмических отражений: по типу налегания (onlap), подошвенного прилегания (downlap), кро-

Таблица 1.2. Терминология иерархии секвенсов на основе их порядка и соответствующей длительности по [Vail et al., 1991]

Порядок	Длительность
1	50+ млн лет
2	3–50 млн лет
3	0,5–3 млн лет
4	0,08–0,05 млн лет
5	0,03–0,08 млн лет
6	0,01–0,03 млн лет

вельного прилегания (toplap) и эрозионного срезания (erosional truncation). Был сделан логический вывод о том, что эти поверхности представляют стратиграфические несогласия. Такой подход соответствовал идеям ранних европейских стратиграфов (например, [Stille, 1924]). Там, где при латеральном прослеживании граница секвенса подходит к точке отсутствия перерыва (слои залегают согласно), граница секвенсов маркируется коррелятивной поверхностью согласного залегания [Mitchum et al., 1977]. Вейл с соавторами [Vail et al., 1977] делали упор на региональную и глобальную корреляцию дискретных циклически построенных стратиграфических подразделений и их взаимоотношения с эвстатическими изменениями. Меньше внимания уделялось литологическому прогнозированию в пределах осадочных секвенсов.

В этих ранних работах не удалось выявить зависимость между изменениями уровня моря и стратиграфической архитектурой. В них также не был должным образом оценен вклад в формирование секвенсов каких-либо иных факторов, помимо эвстатики. Следующим качественным скачком явилось введение понятия секвенсной стратиграфии, осуществленное в работах [Wilgus et al., 1988; SEPM Special Publication 42], в которых анализировалась зависимость между стратиграфической архитектурой секвенса и относительными изменениями уровня моря [Cross, 1988; Jervey, 1988; Plint, 1988; Posamentier et al., 1988; Posamentier, Vail, 1988]. В этих работах также доказывалось, что секвенс-стратиграфические концепции, основанные на представлениях о балансе поступления осадка и его отложении (т. е. наличия пространства для его накопления), применимы не только в масштабе сейсмических исследований, но также и в более мелкомасштабных объектах, таких как обнажения и скважины. Применимость концепции секвенса к материалам по скважинам и керну была впоследствии ясно продемонстрирована в работе [Van Wagoner et al., 1990].

Понятие «секвенс»

Как впервые отметил Д. Уден [Udden, 1912], большинство терригенных стратиграфических комплексов, накопление которых происходило в прибрежных и шельфовых обстановках, характеризуются повторяемостью, или циклическостью

(рис. 1.3). Анализ этой цикличности может оказаться весьма информативным в отношении региональной картины фациальных взаимоотношений и стратиграфической архитектуры в пределах бассейна. Подобная седиментационная цикличность обычно наблюдается в целом спектре масштабов, от первых метров или менее до нескольких сот или тысяч метров (рис. 1.4).

Секвенс-стратиграфия, по сути дела, основывается на анализе цикличности осадочных толщ как функции фундаментальных параметров (таких как поступления осадков, тектонического прогибания, осадочных процессов и т. д.), контролирующих особенности их строения. Как отмечалось выше, в ранних работах по сеймостратиграфии (например, [Vail et al., 1977]) давалось определение осадочных секвенсов как осадочных циклов, включающих в себя регрессивно-трансгрессивно-регрессивные осадочные последовательности, ограниченные несогласиями.

Одним из важнейших аспектов секвенсной стратиграфии является выявление и определение опорных стратиграфических поверхностей, которые можно использовать для подразделения геологических разрезов на слагающие их элементы (рис. 1.5). Эти ограничивающие поверхности могут быть распознаны в обнажениях и на глубине; они отвечают значительным «событиям» в пределах осадочной толщи. Границы секвенсов могут быть по-разному выражены, от крупных или мелких стратиграфических перерывов коррелятивных им поверхностей согласного залегания, представляющих продолжение подобных перерывов «до места, где отсутствуют свидетельства перерыва и прослежен переход несогласия в коррелятивную ему согласную границу» [Mitchum et al., 1977]. В пределах секвенса могут существовать относительно мелкие перерывы в стратиграфической последовательности. Наиболее типичные из них — перерывы, образующиеся в результате трансгрессии береговой линии. Можно выделить четыре главных типа поверхностей, возникающих в ходе трансгрессии: *поверхности затопления (flooding surfaces)*, *трансгрессивные поверхности (transgressive surfaces)*, *поверхности углубления (drowning surfaces)* и *поверхности максимального затопления (maximum flooding surfaces)* [Posamentier, Vail, 1988]. Главнейшей характеристикой всех этих опорных поверхностей является то, что они имеют относительно широкое площадное распространение (как правило, несколько десятков километров или более) и могут быть объективно установлены в пределах последовательности.

Вышеперечисленные термины, относящиеся к трансгрессивным процессам, в широком пользовании являются взаимозаменяемыми и как таковые нуждаются в дальнейших комментариях, поскольку по существу они не являются синонимами. *Поверхность затопления*, согласно наиболее позднему определению [Kamola, Van Wagoner, 1995], это поверхность, отделяющая более древние породы от более молодых и маркируемая залеганием более глубоководных отложений на более мелководных. В работе [Kamola, Van Wagoner, 1995] далее отмечается, что поверхности затопления могут формироваться в озерных и морских обстановках. Однако из определения этих авторов не ясно, формируется ли эта поверхность всего лишь в результате увеличения глубины воды

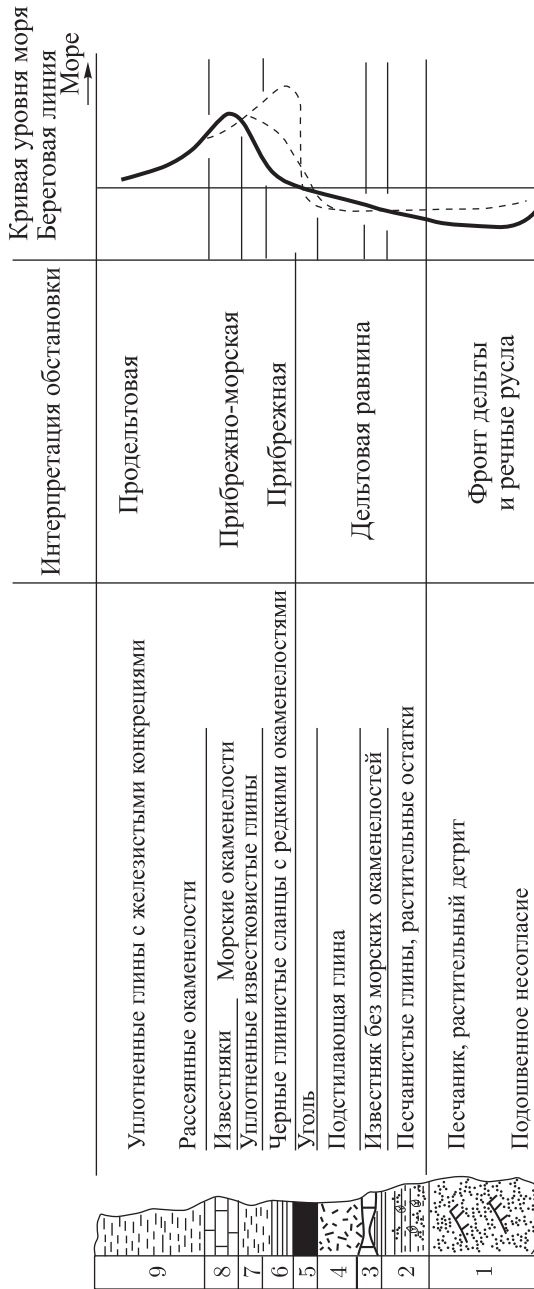


Рис. 1.3. Пример типичной идеализированной циклотемы в отложениях пенсильванского возраста (штат Иллинойс, США). Сплошной линией показана оригинальная интерпретация по [Udden, 1912]; пунктирной линией — альтернативная интерпретация, предложенная [Neskeel, 1984]; штриховой линией — альтернативная интерпретация, предложенная [Riegel, 1991; воспроизводится с разрешения изд-ва Springer-Verlag]

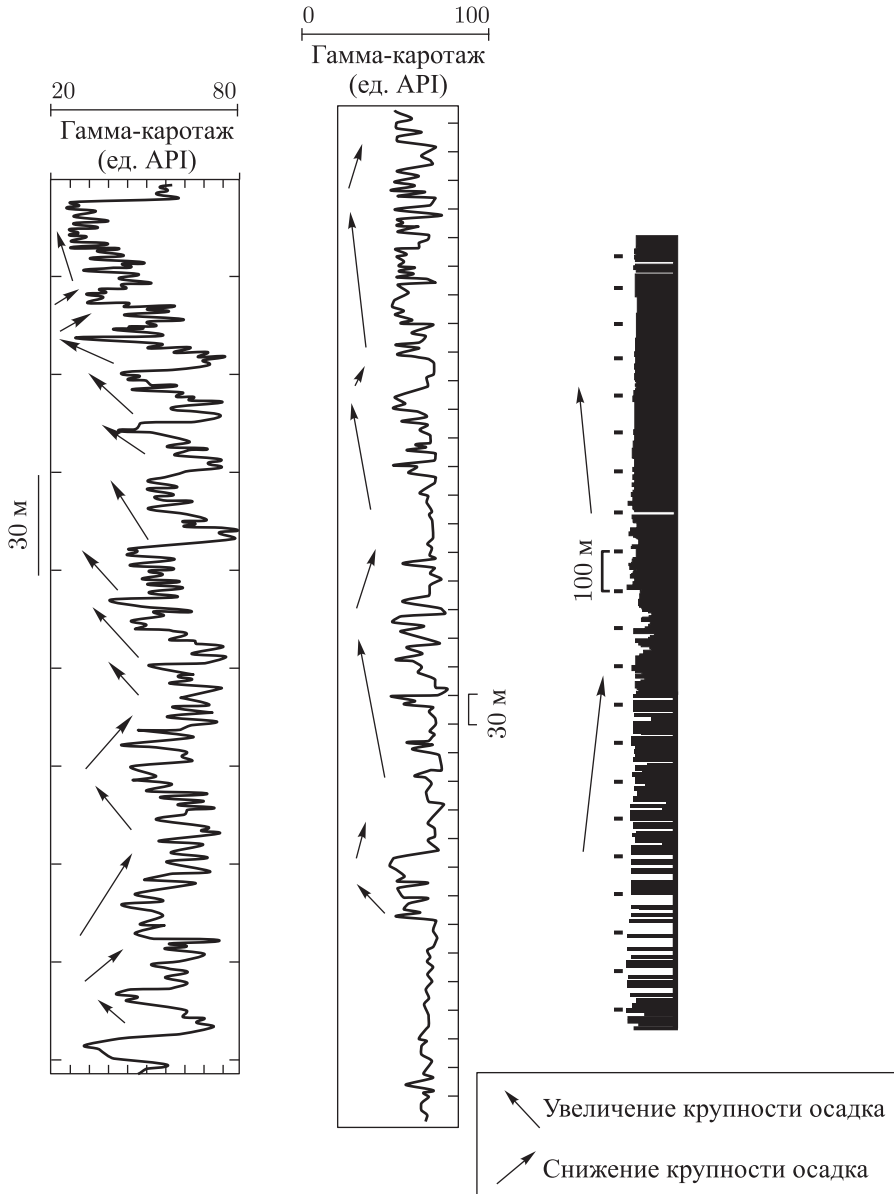


Рис. 1.4. Примеры циклических осадочных взаимоотношений различных масштабов. Приведенные данные по скважинам характеризуют речные, прибрежные и шельфовые обстановки. Разрез по скважине слева иллюстрирует циклы самого мелкого масштаба, сформированные в ходе регрессии в сочетании с проградацией и трансгрессии в сочетании с ретроградацией отдельных дельтовых лопастей или отложений береговой линии. Эти пакки, ограниченные поверхностями затопления, выделялись под названием «парасквенсы» [Van Wagoner et al., 1988]. Две скважины справа иллюстрируют более крупномасштабные циклы, являющиеся результатом эвстатических и/или тектонических циклов с более длинным периодом

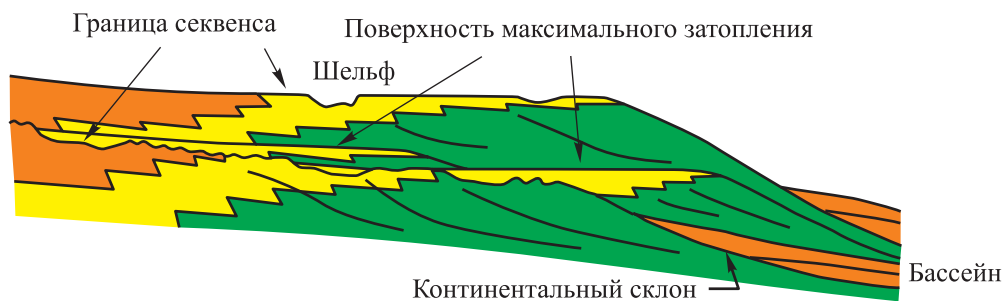


Рис. 1.5. Схематический разрез по падению; показаны опорные секвенс-стратиграфические поверхности (границы секвенсов) и поверхности максимального затопления, а также их стратиграфическое выражение. Эти поверхности используются для подразделения стратиграфических разрезов на секвенсы и системные тракты

или же действительно в связи с затоплением ранее осушенной поверхности. Мы предпочитаем сузить применение этого термина таким образом, чтобы он отвечал общепринятому значению слова «затопление», то есть «событию, когда вода заливают участок суши, обычно остающийся сухим», или «наводнению» (затоплению) [Webster's II New Riverside Dictionary, 1984]. Таким образом, исходя из этих соображений, присутствие поверхности затопления позволяет предположить, что нижележащий разрез ранее находился в субаэральной обстановке. Однако наличие признаков субаэральной обстановки определяется тем, насколько эффективно размыв в ходе трансгрессии уничтожил остатки корней, палеопочвы и любые другие свидетельства субаэральной обстановки.

Мы предлагаем более общий термин — «*поверхность углубления*» — для обозначения поверхности осадконакопления, в пределах которой наблюдается резкое увеличение глубины зоны осадконакопления. Таким образом, все поверхности затопления являются поверхностями углубления, но не все поверхности углубления являются поверхностями затопления. До тех пор, пока не установлено, что затопление действительно имело место, термин «*поверхность углубления*» является предпочтительным. В общем случае поверхности затопления венчают регрессивные толщи далее вглубь суши от наиболее внешнего положения береговой линии. Поверхность углубления — это продолжение поверхности затопления в сторону моря, по сути дела образующее коррелятивную ей поверхность на шельфе.

Термин «*трансгрессивная поверхность*» обычно используется как взаимозаменяемый с термином «поверхность затопления». Различие между этими терминами заключается в слове «*трансгрессивная*», указывающем на направление движения береговой линии (т.е. далее вглубь суши), и в слове «*затопления*», указывающем только на процесс затопления как таковой. В нашем обсуждении термином «*трансгрессивная поверхность*» будет обозначаться поверхность в пределах толщи, маркирующая начало значительного и продолжительного периода трансгрессии в пределах толщи. Мы отдаем себе отчет, что использование

определения «значительный» может вносить двусмысленность, но на практике его применение будет зависеть от значимости трансгрессивного события в контексте изучаемого разреза. Например, поверхность, отделяющая регрессивную последовательность от разреза, характеризующегося в целом трансгрессивным строением, будет рассматриваться как значительная.

Еще один важный тип поверхности — *поверхность максимального затопления* в пределах рассматриваемой толщи. Под поверхностью «максимального затопления» понимается поверхность осадконакопления на момент, когда береговая линия максимально продвинута вглубь суши (т.е. в момент максимума трансгрессии). Обычно эти поверхности могут быть прослежены от морского дна (или, по аналогии, озерного дна) в зону береговых лагун и заливов и далее вглубь суши в пределы аллювиальной равнины. Как будет показано далее, эти поверхности, легко выделяются в разрезах циклических осадочных толщ и могут служить очень хорошими стратиграфическими реперами при региональной корреляции [Galloway, 1989a].

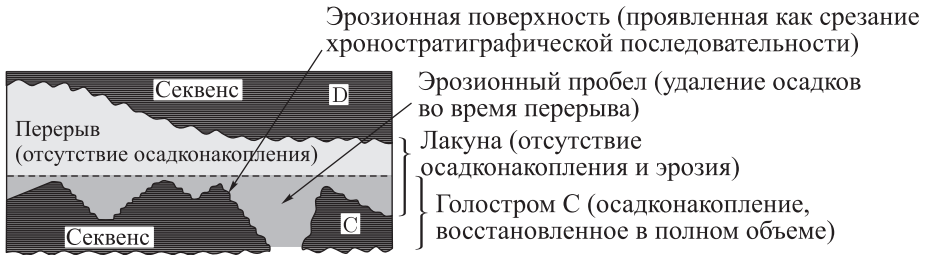
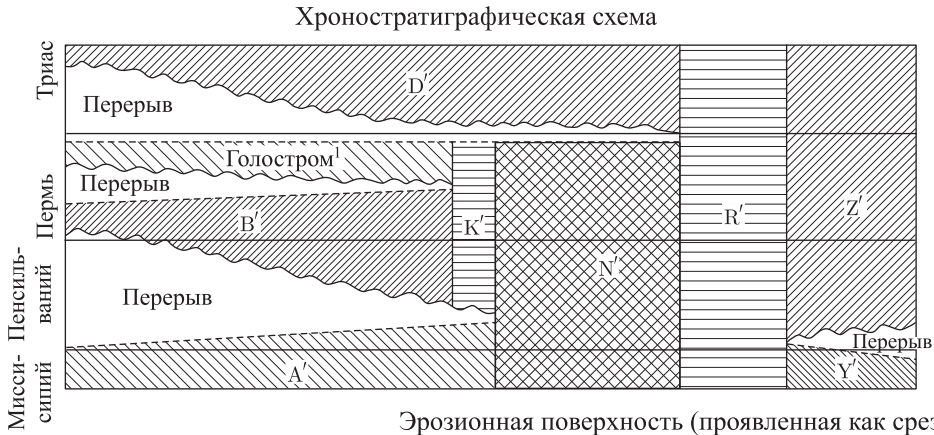
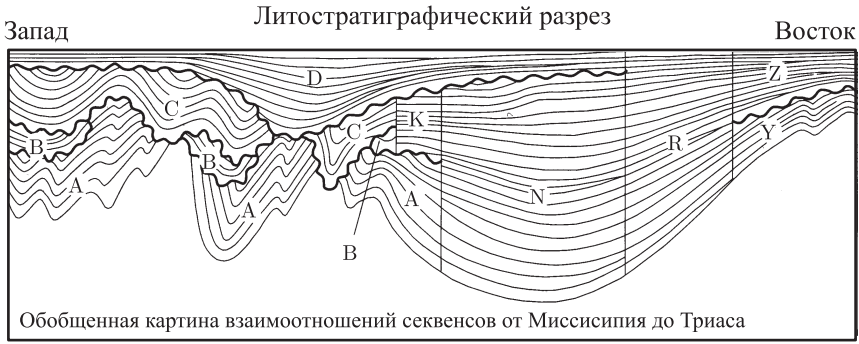
Как указывалось выше, в ранних публикациях по сеймостратиграфии и в последующих работах по секвенной стратиграфии несогласия и коррелятивные им поверхности использовались для подразделения осадочных циклов на осадочные секвенсы [Vail et al., 1977]; подобные циклические стратиграфические единицы получили название секвенсов. Такое употребление термина соответствовало определению, предложенному в работе [Sloss, 1962] (хотя секвенсы Слосса обычно характеризовали значительно более крупные подразделения и не включали понятия коррелятивного согласия. Однако, оно исключало регрессивно-трансгрессивные толщи, не содержащие несогласий, такие как толщи, сформированные под влиянием вариаций в поступлении осадка (например, смещение лопастей дельты), или, как будет показано далее, изменений в скорости подъема относительного уровня моря.

В этой книге мы примем определение несогласия как региональной поверхности перерыва в осадконакоплении, отделяющей более молодые слои от более древних и отвечающей значительному временному интервалу; такая поверхность может быть как эрозионной, так и неэрозионной. В этом определении важны два момента: 1) представление о «значительном» промежутке времени (т.е. потенциально поддающемся измерению с помощью того или иного геохронологического инструмента); 2) представление о том, что все осадки над несогласием моложе, чем все осадки под ним. В шельфовых обстановках присутствие несогласия означает наличие условия регионального отсутствия осадконакопления, обычно в связи с падением уровня моря и осушением морского дна [Posamentier et al., 1988; Van Wagoner et al., 1988] (см. обсуждение в главе 2). Это, разумеется, не означает, что не могут формироваться подводные несогласия. Напротив, подводные несогласия могут развиваться одновременно с субаэральными несогласиями в результате смещения океанических течений и изменения химического состава придонной воды, иногда сопровождающих изменения уровня моря [Наг, 1993]. Однако в этой книге основное внимание будет уделено несогласиям, сформированным в субаэральных условиях. Эти несогласия, как правило, постепенно

смещаются в сторону моря, переходя в согласные поверхности (см. обсуждение в главе 2).

Различные авторы (например, [Galloway, 1989a; Hunt, Tucker, 1992; Martinsen, 1993; Martinsen et al., 1993; Embry, 1995]) приводят аргументы в пользу того, что для выделения секвенсов больше подходят поверхности других типов. В целом как альтернатива несогласиям в качестве границ секвенсов наиболее часто используются поверхности максимального затопления [Galloway, 1989a] или трансгрессивные поверхности [Embry, 1995]. Поверхности максимального затопления обычно связаны с конденсированными разрезами (т. е. с осадочными фациями, отложившимися в областях с очень низкими скоростями осадконакопления, обычно наблюдаемыми в средней и внешней зонах шельфа и за их пределами). Во многих случаях эти поверхности устанавливаются более легко, чем несогласия (см. обсуждение в главе 3), и используются для подразделения стратиграфических последовательностей на «эпизоды осадконакопления» [Frazier, 1974], или «генетические секвенсы» [Galloway, 1989a]. В работах [Mørk et al., 1989; Embry, 1995] трансгрессивные поверхности использованы для подразделения разреза на «T-R-циклы» (т. е. трансгрессивные и регрессивные циклы, определяемые по [Johnson et al., 1985] как «осадочные породы, отложившиеся в промежуток времени между одним событием увеличения глубины и началом следующего подобного события»). Во многих случаях, однако, эти поверхности могут быть скрытыми, и, как результат, их трудно установить по данным изучения глубинной структуры.

Мы считаем, что для ограничения секвенсов больше подходят поверхности несогласий, чем поверхности максимального затопления или трансгрессии. Обоснование предпочтительности ограничения секвенсов с помощью несогласий (так называемый «подход компании Exxon») по сравнению с поверхностями максимального затопления (так называемый «подход Галлоуэя») или трансгрессивными поверхностями (так называемые «T-R-циклы») лежит как в философской, так и в практической плоскости. Термин «секвенс» (буквально «последовательность». — *Прим. пер.*) определяется как «следование одной сущности за другой» или «родственный или непрерывный ряд» [Webster's II New Riverside Dictionary, 1984]. Исходя из этого определения, представляется целесообразным обозначать термином «секвенс» такие осадочные последовательности, которые характеризуются относительной непрерывностью осадконакопления. В стратиграфической последовательности, испещренной несогласиями, поверхностями максимального затопления и трансгрессивными поверхностями, наиболее значительные перерывы в осадконакоплении связаны с несогласиями, которые по определению отвечают *значительным* перерывам в осадконакоплении. Именно по этой причине Слосс [Sloss, 1963] при выделении своих «региональных секвенсов» отдавал предпочтение поверхностям региональных несогласий перед поверхностями максимального затопления или трансгрессивными поверхностями (рис. 1.6). Поверхности максимального затопления, хотя они зачастую легко устанавливаются в геологических разрезах, связаны с конденсированными разрезами, которые отвечают периодам очень низких скоростей осадконакопления,



Детальная схема показанных выше взаимоотношений между лакуной, эрозионным пробелом и перерывом

Рис. 1.6. Строение секвенсов от Миссисипия до Триаса в Кордильерах, иллюстрирующее формирование ограниченных несогласиями толщ во времени и пространстве (из работы [Wheeler, 1958]; воспроизводится с разрешения Американской ассоциации нефтяных геологов)

но обычно не содержат значительных перерывов в осадконакоплении. Подобным же образом трансгрессивные поверхности маркируют начало трансгрессии, следующей за периодом регрессии береговой линии, и так же, как правило, не связаны со значительными перерывами в осадконакоплении. Проведение границ секвенсов по трансгрессивной поверхности или по поверхности максимального

затопления может привести к тому, что выделенные секвенсы будут содержать значительные несогласия, тогда как по определению они должны отражать относительно согласную последовательность осадконакопления.

Более того, в контексте разведки и эксплуатации месторождений нефти и газа выбор несогласий в качестве поверхностей, ограничивающих секвенсы, также предпочтителен, поскольку, как будет показано в главе 3, эти поверхности обычно связаны с отложением песчаников (т. е. пород с коллекторскими свойствами). В отличие от этого конденсированные разрезы и поверхности максимального затопления обычно преимущественно связаны с глинистыми фациями и лишены сложенных песчаниками коллекторов.

Мы отдаем предпочтение несогласиям и коррелятивным им поверхностям в качестве поверхностей, ограничивающих секвенсы; однако, как будет в деталях показано ниже (глава 3), мы также признаем важность и целесообразность корреляции поверхностей затопления и поверхностей максимального затопления. По существу, рекомендуемый нами практический подход при секвенс-стратиграфическом анализе (см. обсуждение в главе 5) состоит в том, чтобы сначала установить поверхности затопления и максимального затопления, которые, как правило, относительно легко установить и прокоррелировать. После того как разделение стратиграфической последовательности осуществлено таким образом, можно и должно выделить и прокоррелировать поверхности, с наибольшей вероятностью являющиеся границами секвенсов, которые по определению должны лежать между конденсированными разрезами.

Значение для геологоразведочных работ

Едва ли можно сомневаться в том, что метод секвенс-стратиграфии крайне важен для стратегии поиска и разведки нефтяных и газовых месторождений. Эффективность прогнозирования пространственного и временного распределения коллекторов, непроницаемых пород и нефтегазоматеринских фаций повысилась благодаря использованию секвенс-стратиграфического подхода. Результатом развития этих концепций явилось углубление наших знаний о характере расчлененности природных резервуаров и выдержанности продуктивных пластов по простиранию фаций; в некоторых случаях секвенс-стратиграфический анализ способствовал обоснованию новых потенциально нефтегазоносных объектов. В этой книге мы намеренно избегаем перечисления конкретных аспектов секвенс-стратиграфического подхода, имеющих отношение как к геологоразведочным работам, так и к эксплуатации месторождений, — ввиду того, что *практически все аспекты секвенс-стратиграфического подхода могут найти полезное практическое применение*. Мы предоставляем читателям возможность само-

⁴Термин, введенный Вилером [Wheeler, 1958] для обозначения хроностратиграфической единицы, «имеющей пространственно-временное значение полного (восстановленного) трансгрессивно-регрессивного разреза», включающего слои, впоследствии, возможно, уничтоженные эрозией [Толковый словарь английских геологических терминов, ред. М. Гери и др. М.: Мир, 1978]. — *Прим. пер.*

стоятельно соотнести обсуждаемые здесь концепции с выводами из их собственных геологических исследований и удостовериться в их применимости к этим исследованиям — как в сфере геологоразведочных работ на нефть и газ, так и в иных областях геологических знаний.

Подход

Основой подхода, предлагаемого в этой книге, является метод практического применения секвенс-стратиграфических концепций, основанный на критическом разборе основных стратиграфических положений и иллюстрируемый соответствующими примерами. Мы будем стремиться избегать возможных тупиковых путей, таких как детальное обсуждение терминологии или сравнительной оценки подхода компании Exxon или подхода Галлоуэя, а также дискуссии касательно того, какое схематическое изображение удачнее передает сущность «секвенс-стратиграфической модели». Наш подход будет по возможности гибким и прагматичным. Мы будем стремиться подчеркнуть следующую идею: если предлагаемый геологический сценарий обоснован и если он не идет вразрез ни с какими стратиграфическими принципами, то он может быть приемлем. Мы также являемся сторонниками принципа «бритвы Оккама», который гласит, что из двух конкурирующих теорий следует предпочесть более простую. Наконец, хотя мы можем отдать предпочтение одному геологическому подходу перед другим, мы отдаем себе отчет, что если предлагаемое геологическое решение обоснованно, то не имеет большого значения, согласуется ли оно с тем или иным ранее опубликованным подходом. Такая прагматичная позиция станет нашей руководящей философией в данной книге.

В центре внимания этой работы будут находиться речные, прибрежно-морские и шельфовые обстановки терригенного осадконакопления. Мы считаем, что секвенс-стратиграфические принципы лучше изучены и могут быть применены с большим успехом в этих обстановках, чем в глубоководных системах. Это объясняется несколькими факторами. Во-первых, достаточно точные палеонтологические данные, позволяющие скоррелировать глубоководные осадки с одновозрастными мелководными отложениями, обычно отсутствуют. Тем самым взаимоотношения между несогласиями на шельфе и осадками глубоководных обстановок не всегда достаточно ясны. Во-вторых, отсутствие выдержанности в глубинной структуре или по данным изучения обнажений делает невозможным анализ детальных временных и фациальных взаимоотношений между отложениями глубоководных и шельфовых обстановок.

Помимо пробелов в данных между глубоководными и прибрежными отложениями, процесс седиментогенеза глубоководных отложений не столь хорошо изучен по сравнению с неморскими и прибрежно-морскими отложениями. Таким образом, хотя между шельфовыми и прибрежными, а также прибрежными и речными отложениями обычно также имеются пробелы в данных, их взаимоотношения более понятны — по крайней мере, теоретически — в силу их большей доступности для изучения в современных обстановках. В отличие от этого со-

временные глубоководные системы гораздо труднее изучать прямыми методами в силу их относительной недоступности. Кроме того, в большинстве глубоководных систем в настоящее время происходит пелагическое и гемипелагическое осадконакопление и количество поступающих в них терригенных осадков очень мало.

Эоловые обстановки осадконакопления в этой книге рассматриваться не будут. Возрастные взаимоотношения между эоловыми и прибрежно-морскими обстановками неясны и пока еще плохо изучены. Однако ряд авторов начали изучать эоловые отложения в секвенс-стратиграфическом контексте (например, [Talbot, 1985; Kocurek, 1988; Navholm, 1991; Kocurek, Navholm, 1993; Navholm et al., 1993]).

Эта книга делится на семь глав. В силу взаимопереплетения различных тематик, в ходе изложения материала они неизбежно будут накладываться друг на друга. Хотя мы стремились свести к минимуму излишнюю информацию, тем не менее остается ряд повторов, которые мы сочли необходимыми с целью усиления доказательности тех или иных положений или аргументов. Так, например, к некоторым идеям, необходимым для развития общей секвенс-стратиграфической модели, обсуждаемой в главе 2, пришлось обратиться заново в последующих разделах. Мы надеемся, что подобные повторы помогут подчеркнуть и усилить аргументацию ключевых идей.

В следующей главе обсуждаются типы характерных напластований, которые могут сформироваться в идеализированном секвенсе. Хотя данная схема и может восприниматься как «модель» (т.е. применяется как шаблон для интерпретации геологических данных), мы стараемся представить ее как идеализированный результат воздействия изменяющихся факторов, контролирующих осадконакопление. В качестве такового ее применение должно быть гибким, учитывающим местные условия.