

**НЕФТЕГАЗОВЫЙ ИНЖИНИРИНГ**

# **ФАЦИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ**



# Оглавление

|  |     |
|--|-----|
| <b>От редакционного совета серии</b> . . . . .   | ix  |
| <b>Предисловие</b> . . . . .   | xi  |
| <b>ГЛАВА 1. Фации, фациальные модели и современные принципы стратиграфии</b> . . . . .   | 1   |
| <i>Роджер Дж. Уолкер</i>   |     |
| <b>ГЛАВА 2. Влияние колебаний уровня моря</b> . . . . .  | 35  |
| <i>А. Гай Плинт, Николас Айлз, Каролин Х. Айлз, Роджер Дж. Уолкер</i>  |     |
| <b>ГЛАВА 3. Фациальный анализ по данным глубинных исследований</b> . . . . .   | 59  |
| <i>Дуглас Дж. Кант</i>   |     |
| <b>ГЛАВА 4. Фациальные модели по данным палеонтологического анализа: значение для реконструкции обстановок осадконакопления и аллостратиграфии</b> . . . . . | 102 |
| <i>С. Джордж Пембертон, Джеймс А. МакИчерн, Роберт У. Фрей</i>   |     |
| <b>ГЛАВА 5. Ледниковые образования</b> . . . . .   | 165 |
| <i>Николас Айлз, Каролин Х. Айлз</i>   |     |
| <b>ГЛАВА 6. Вулканогенно-обломочные породы</b> . . . . .   | 220 |
| <i>Жан Лажуа, Джон Стикс</i>   |     |
| <b>ГЛАВА 7. Аллювиальные отложения</b> . . . . .   | 259 |
| <i>Эндрю Д. Майл</i>   |     |
| <b>ГЛАВА 8. Эоловые системы</b> . . . . .  | 315 |
| <i>Майкл Е. Брукфилд</i>   |     |
| <b>ГЛАВА 9. Дельты</b> . . . . .   | 346 |
| <i>Дженек П. Бхаттачария, Роджер Дж. Уолкер</i>  |     |
| <b>ГЛАВА 10. Трансгрессивные системы барьерных островов и эстуариев</b> . . . . .  | 394 |
| <i>Джеральд Е. Рейнсон</i>   |     |

---

|   |     |
|---|-----|
| ГЛАВА 11. <b>Осадочные системы приливно-отливных зон</b> . . . . .                      | 430 |
| <i>Роберт У. Далримпл</i>   |     |
| ГЛАВА 12. <b>Мелководные морские системы с преобладанием волн и штормов</b> . . . . .   | 483 |
| <i>Роджер Дж. Уолкер</i>  |     |
| ГЛАВА 13. <b>Турбидиты и подводные конусы выноса</b> . . . . .                          | 529 |
| <i>Роджер Дж. Уолкер</i>  |     |
| ГЛАВА 14. <b>Введение в модели карбонатных и эвапоритовых фаций</b> . .                 | 588 |
| <i>Ноэль П. Джеймс, Алан С. Кендалл</i>   |     |
| ГЛАВА 15. <b>Мелководноморские карбонатные платформы</b> . . . . .                      | 614 |
| <i>Брайан Джонс, Андре Дероше</i>   |     |
| ГЛАВА 16. <b>Карбонатные отложения приливно-отливной (перитидальной) зоны</b> . . . . . | 670 |
| <i>Брайан П. Пратт, Ноэль П. Джеймс, Клинтон А. Коуэн</i>                               |     |
| ГЛАВА 17. <b>Рифы и органогенные постройки</b> . . . . .                                | 713 |
| <i>Ноэль П. Джеймс, Пьер-Андре Бурк</i>   |     |
| ГЛАВА 18. <b>Карбонатные склоны</b> . . . . .   | 768 |
| <i>Марио Канильо, Джордж Р. Дикс</i>  |     |
| ГЛАВА 19. <b>Эвапориты</b> . . . . .  | 821 |
| <i>Алан С. Кендалл</i>  |     |
| <b>Предметный указатель</b> . . . . .   | 897 |

## Предисловие

Летом 1989 г. Геологическая ассоциация Канады обратилась к нам с вопросом о целесообразности перепечатки второго издания книги «Фациальные модели». Большинство авторов разделяло мнение о значительных изменениях в области изучения геологии осадочных пород, произошедших со времени публикации второго издания в 1984 г. Существовала необходимость не столько в переработанном издании книги, сколько в ее перепечатке. К настоящему времени значительно расширились сведения о специфических фациях. Претерпели изменения некоторые фундаментальные понятия и, что самое главное, стратиграфия вновь стала основным аналитическим инструментом. При создании современных фациальных моделей необходимо учитывать факторы динамического влияния на осадкообразование в виде колебания уровня моря, тектонических процессов, климатических и биотических изменений.

Эта книга *не является* ни третьим изданием, ни частью серии переиздаваемых работ журнала *Geoscience Canada*. В ней реализовано иное подразделение осадочных обстановок; авторы предыдущего издания взяли на себя другие обязательства, привлечены новые авторы, и в результате книга вышла за рамки всего лишь переработанного и исправленного издания. В то время когда предварительные планы издания этой книги циркулировали на уровне слухов, Брайан Раст был одним из первых, кто вызвался внести исправления и дополнения в свою главу. Мы обсуждали с ним эти планы в 1990 г., за день до его поездки в Зимбабве, где он заразился смертельной формой малярии. Мы ощущаем отсутствие его энтузиазма и эрудиции. В будущем нам также будет недоставать участия Боба Фрэйя, умершего в январе 1992 г. Его знания обогатили главу «Следы ископаемых остатков» как во втором, так и в этом издании книги.

Среди новых концепций, введенных в этой книге, вероятно, самая важная касается динамического влияния изменений уровня моря. Эвстатические циклы лежат в основе *секвенс-стратиграфического метода*, а поверхности перерыва в геологической истории, образовавшиеся в результате изменений уровня моря, позволяют произвести расчленение стратиграфического разреза. Эти основные принципы, рассмотренные в главе 1, являются главной темой книги. Все авторы попытались сделать акцент не на отдельных обстановках осадконакопления, а там, где это уместно, на влиянии на них изменения уровня моря и других динамических факторов.

Однако в центре внимания книги остается построение моделей. В основе моделирования лежит сравнение современных и древних отложений. Во втором

издании при «дистиляции» всех переменных в статическую модель казалось возможным достижение определенного обобщения *седиментологических* данных для использования в качестве эталона для дальнейших наблюдений, инструмента прогнозирования и основы для интерпретации. При увеличении количества учитываемых переменных становится все более сложным выбор группы однородных примеров, которые могли бы быть объединены в одной модели. Так, в одной модели вы можете соединить седиментологические признаки десяти дельт с преобладанием волнового режима. В случае добавления в качестве важного описательного параметра изменения уровня моря, возможно, подъем уровня оказал влияние на три дельты, падение — на четыре, а в пределах трех других дельт колебания уровня моря отсутствовали. В результате количество примеров становится недостаточным для построения убедительных комплексных моделей. При учете тектонических параметров и эволюционирующей биоты суши задача становится еще менее разрешимой. Мы попытались объяснить механизм функционирования естественных осадочных систем и в общих чертах влияние на них колебания уровня моря и по необходимости других динамических факторов. Вместе с тем мы все же делали упор на как можно большем количестве общих принципов (моделирования). Представленные нами модели действительно являются более сложными и их труднее изобразить в виде блок-диаграмм.

Книга рассчитана на широкую читательскую аудиторию, в том числе студентов. Она не предназначена в качестве учебника, посвященного перспективным научным исследованиям. В связи с этим все авторы попытались свести до минимума количество ссылок, и мы не всегда указывали источник каждой представленной в книге идеи. Библиография в конце каждой главы начинается с основных источников информации, в которых можно найти более подробные сведения по теме; эти библиографические списки снабжены комментариями. Другие источники информации приведены просто в алфавитном порядке и лишь иногда аннотированы.

Как редакторы, мы благодарим каждого конкретного автора за вклад в развитие идей динамики седиментации, в частности, понятия о влиянии изменения уровня моря. Несмотря на то, что этот вклад в значительной степени имеет форму критических анализов, в них содержится значительное количество данных самостоятельных исследований. На протяжении многих лет большинство этих исследований проводилось при поддержке Совета по естественным наукам и инженерным исследованиям Канады и различных университетов и правительственных учреждений, в которых работают авторы книги. Редакторы и авторы выражают искреннюю благодарность за эту поддержку.

Неоценимое содействие в сдвиге с мертвой точки издания этой книги оказал Боб Барагар (Геологическая ассоциация Канады), а Моника Истон приняла на себя последующее ведение дел и оказала помощь с технической стороны передачи наших пожеланий в типографию. Однако между написанием рукописи, ее техническим редактированием и моментом, когда ее можно будет увидеть

---

под обложкой книги, необходимо проделать много другой работы. Мы выражаем особую благодарность Джудит Джеймс за редактирование всех девятнадцати глав и обеспечение в них единого общего стиля. Она уточняла все те малейшие детали, которые способствуют максимально возможному единообразию и комфортному прочтению текста, несмотря на различные стили авторов

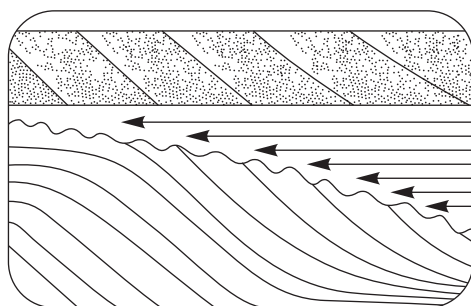
Роджер Дж. Уолкер,  
г. Гамильтон, пров. Онтарио

Ноэль П. Джеймс,  
г. Кингстон, пров. Онтарио

## ГЛАВА 1

# Фации, фациальные модели и современные принципы стратиграфии

*Роджер Дж. Уолкер, геологический факультет,  
Университет Макмастера, Гамильтон, Онтарио L8S 4M1, Канада*



### Цели фациального моделирования

Особенности строения современных осадков и древних осадочных пород могут быть объединены в упрощенные модели, характеризующие конкретные осадочные обстановки. Восстановлению условий осадконакопления по текстурно-структурным признакам пород придавалось особое внимание с давних времен; в 1893 г. Иоганнес Вальтер «указывал на то, что процессы, имевшие место в прошлом, наиболее убедительно объясняются современными аналогами» (цитируется по (Middleton, 1973, p. 981)). Достоверность фациальной модели зависит от количества используемого материала, положенного в ее основу, например, модели русел меандрирующих рек. В то же время модели могут быть составлены на ограниченном количестве материала и их можно постоянно дополнять новыми данными. Моделирование широко используется при поисково-разведочных работах на нефть и газ (например, главы 3, 12–13, 16–17) и в меньшей степени при поиске других полезных ископаемых во вмещающих осадочных породах. Тем не менее, глубокое понимание систем осадконакопления становится все более важным и при моделировании процессов движения грунтовых вод и загрязняющих веществ через поверхностные рыхлые осадочные отложения, где оно обусловлено морфологией проницаемых и непроницаемых слоев (глава 5). В значительной мере модель зависит от первичных процессов осадконакопления. Кроме того,

фациальные модели могут быть использованы для понимания механизмов формирования и «возможного» управления осадочными системами. Так, сведения о пляжах и барах (глава 10) способствуют решению проблем береговой эрозии. Ежегодно в дельте р. Миссисипи происходят значительные потери земельных ресурсов из-за ее затопления вследствие опускания территории; такие особенности ее развития являются частью общей модели дельтовых фаций (глава 9).

В первых двух изданиях книги «Фациальные модели» мы попытались обобщить и систематизировать характерные черты некоторых современных обстановок и систем осадконакопления (определения терминов даны в табл. 1.1), показать возможность определения генетических типов отложений в геологической истории. Построенные модели представляли собой отображения мгновенного состояния осадочных систем в одно и то же время (статические блок-диаграммы). В них внимание акцентируется скорее на процессах осадконакопления, а не на внешних факторах, таких как колебания относительного уровня моря и тектоническая активность региона.

Основные изменения, происшедшие со времени второго издания книги (1984), касаются признания значения колебаний относительного уровня моря (глава 2). В настоящее время эта концепция проникает в стратиграфию и седиментологию и придает динамические свойства моделям обстановок осадконакопления<sup>1</sup>. Конкретные обстановки должны моделироваться скорее как видеозаписи, а не как моментальные снимки. На основе представленных в этой книге обобщенных материалов будет предпринята попытка продемонстрировать влияние колебаний уровня моря на обстановки осадконакопления.

## Седиментологические подходы

На протяжении многих лет при изучении осадочных пород используются различные методы и подходы, выбор которых зависит от поставленной цели. Исследования древних обстановок осадконакопления, как правило, начинают со стратиграфических исследований и корреляций для определения типов пород, их пространственного положения и внутренних осадочных текстур.

### Обзор терминологии

Словарь терминов, используемых в этой главе и книге в целом, приведен в табл. 1.1. Исследование вертикального стратиграфического разреза предполагает его расчленение на ряд единиц разной мощности, обладающих различными характеристиками. Группа отложений со сходными характерными признаками

---

<sup>1</sup>Следует отметить, что с момента выхода 3-го издания книги на английском языке прошло более 20 лет. В настоящее время понятие об относительных колебаниях уровня моря уже получило всемирное признание геологов, стратиграфов и седиментологов и активно используется в научных исследованиях. — *Прим. ред.*



Таблица 1.1. Словарь терминов

- Аллостратиграфия** — расчленение стратиграфических единиц на картируемые тела пород, «определенные и выделенные по поверхностям ограничивающих их несогласий» (NACSN, 1983, p. 865).
- Бассейн осадконакопления** — географическая и/или геоморфологическая область осадконакопления.
- Генетическая стратиграфическая последовательность** — «отложения определенного периода осадконакопления» (Galloway, 1989, p. 125), которые «ограничены поверхностями, отражающими основные изменения палеогеографии бассейна» (Galloway, 1989, p. 128). Эти поверхности являются поверхностями максимального затопления, а не несогласиями, используемыми для выделения секвенций.
- Литостратиграфическая единица** — «геологическое тело, сложенное осадочными отложениями, границы которого проводятся по изменению литологических характеристик и его стратиграфического положения» (NACSN, 1983), внутреннее строение которого литологически однородно.
- Налегание, или подошвенное налегание (onlap)** — характер залегания, при котором «горизонтальная толща перекрывает изначально наклонную поверхность» (Mitchum *et al.*, 1977, p. 57–58).
- Несогласие** — «отделяющая более молодые слои от более древних поверхность, на которой наблюдаются признаки субаэрального эрозионного срезания или субаэральной экспозиции со значительным перерывом в осадконакоплении» (Posamentier *et al.*, 1988, p. 110). Это определение имеет крайне ограниченное употребление; в настоящее время допускают, что «признаки» могут быть скорее предполагаемыми, чем реальными (Posamentier, личное сообщение, 1990).
- Парасеквенс** — «относительно согласная последовательность генетически связанных слоев или пачек слоев, ограниченных поверхностями морского затопления и коррелятивными им поверхностями» (Posamentier *et al.*, 1988, p. 110).
- Перерыв в осадконакоплении** — прослеживаемый по латерали перерыв; может быть представлен несогласием, эрозионным срезом, подошвенным налеганием или прилеганием и поверхностью типа «твердое дно».
- Поверхность максимального затопления** — поверхность, отделяющая трансгрессивный системный тракт (снизу) от системного тракта высокого стояния (сверху). Как правило, в разрезе может быть представлена конденсированным горизонтом, сформированным в период очень медленного осадконакопления. Породы вышележащего системного тракта прилегают к поверхности максимального затопления.
- Поверхность морского затопления** — «поверхность, отделяющая молодые слои от более древних, на которой имеются признаки резкого увеличения глубины» (Van Wagoner *et al.*, 1990, p. 8).
- Подошвенное прилегание (downlap)** — несогласие, при котором «первоначально наклонный слой выклинивается вниз по падению относительно изначально горизонтальной или наклонной поверхности» (Mitchum *et al.*, 1977, p. 58).
- Сейсмостратиграфия** — «геологический подход к стратиграфической интерпретации сейсмических данных» (Vail, Mitchum, 1977, p. 51).

Таблица 1.1. Словарь терминов (продолжение)

- Секвенс** — «относительно согласная последовательность генетически связанных слоев, сверху и снизу ограниченная поверхностями несогласия и коррелятивными им согласными поверхностями; состоит из последовательности системных трактов и интерпретируется как комплекс отложений, заключенный между точками максимального эвстатического понижения уровня моря» (Posamentier *et al.*, 1988, p. 110).
- Секвенс-стратиграфия** — «изучение взаимоотношений пород в хроностратиграфическом интервале, в котором последовательность пород имеет циклический характер и состоит из генетически взаимосвязанных стратиграфических единиц (секвенсы и системные тракты)» (Posamentier *et al.*, 1988, p. 110).
- Система осадконакопления** — «трехмерная ассоциация литофаций, генетически связанных действующими или древними седиментационными процессами и обстановками» (Posamentier *et al.*, 1988, p. 110). Включает в себя бассейны осадконакопления и происходящие в них процессы.
- Системный тракт** — «комплекс одновозрастных осадочных систем» (Posamentier *et al.*, 1988, p. 110).
- Структурный элемент** — морфологическое подразделение осадочной системы, характеризующееся определенным комплексом фаций, их морфологическими параметрами и условиями осадконакопления.
- Фациальная модель** — модель, построенная на обобщенной информации о конкретной осадочной системе, основанная на многочисленных данных по современным отложениям и древним породам.
- Фациальная последовательность** — вертикальная смена фаций, характеризующаяся последовательным изменением одного или нескольких параметров, например, уменьшением песчаной составляющей, гранулометрического состава или осадочных тектур.
- Фациальный комплекс** — «группа генетически связанных между собой фаций, дающих возможность судить об обстановке осадконакопления в целом» (Collinson, 1969, p. 207).
- Фация** — геологическое тело или часть одновозрастного слоя, сложенное породами с определенным сочетанием особенностей литологического, текстурно-структурного и палеонтологического характера, которые обуславливают его облик («фациальные особенности»), отличный от перекрывающих, подстилающих или замещающих по латерали пород.
- Эвстазия** — глобальное изменение уровня моря относительно фиксированной точки, такой, например, как центр Земли. Эвстатические изменения вызваны колебаниями объема воды в океанических бассейнах (гляциальный контроль) или изменением объема самих бассейнов (связанным со скоростями образования срединно-океанических хребтов и скоростями спрединга морского дна). Эвстатическая кривая описывает циклические изменения уровня моря.
- Эрозионная поверхность** — поверхность эрозии, образованная в пределах субаэральной обстановки в период морской ингрессии (первоначальной стадии трансгрессии).

обобщается термином «фация» (от латинского слова, означающего внешний вид или облик чего-либо). Первичное описание фаций включает определение литологии, осадочных текстур и палеонтологической характеристики.

При проведении отдельных исследований фации обычно группируются в *фациальные комплексы* (рис. 1.1). В более широком масштабе некоторые комплексы достаточно часто характеризуются выдержанностью во времени и в пространстве и могут рассматриваться в виде эталонных *структурных элементов* конкретных обстановок осадконакопления. Так, отложения, сформированные в результате латерального наращивания, образуют отдельный структурный элемент в пределах комплексов меандрирующих рек, как обсуждается в главе 7. Фации, как правило, наблюдаются в виде определенных *последовательностей*

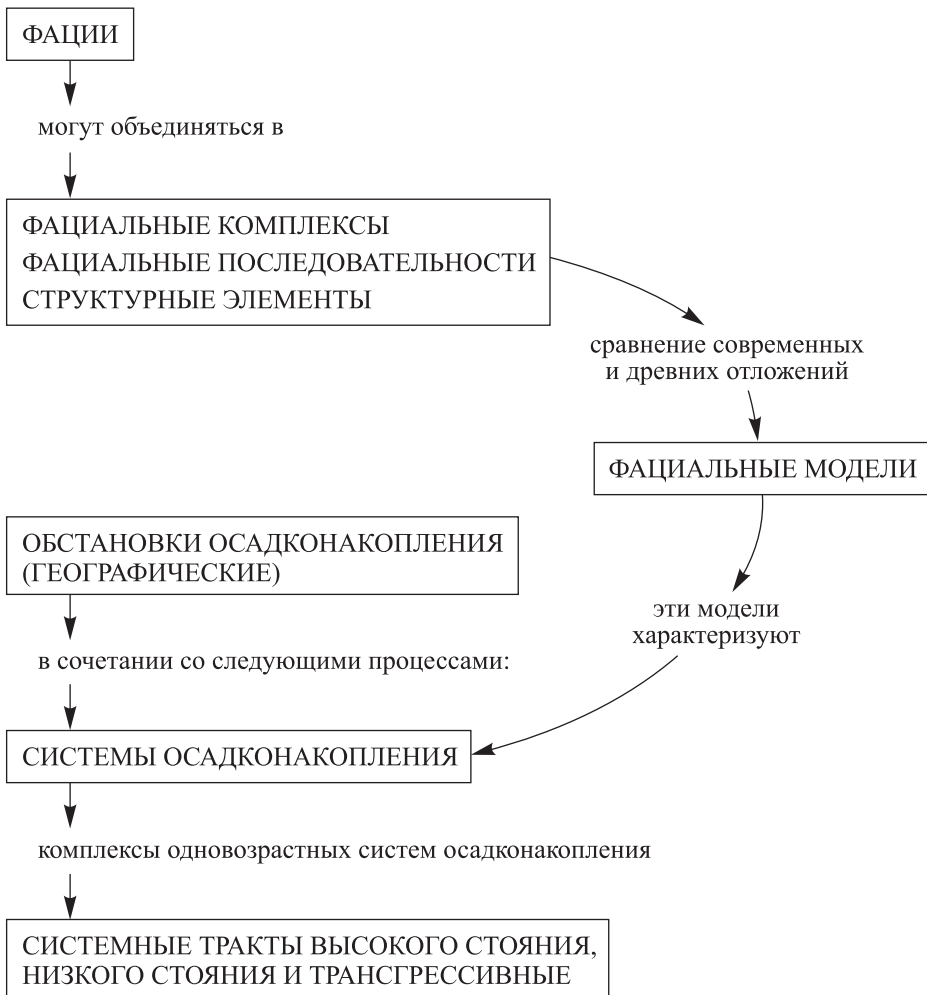


Рис. 1.1. Взаимоотношения между фациями, обстановками и системами осадконакопления и системными трактами, как они понимаются в этой книге

(рис. 1.1), в которых одна или две их характеристики постепенно сменяются по разрезу. Таким образом, последовательность может быть *с погрублением вверх по разрезу* при постепенном изменении зернистости или *с увеличением мощности вверх по разрезу* при изменении мощности отдельных слоев. Такие изменения свойств пород также выявляются при проведении исследований в нефтяных и газовых скважинах (глава 3). Фациальные последовательности, как правило, характеризуются резкими изменениями литологического состава на *поверхностях перерыва* какого-либо типа (рис. 1.2); это могут быть поверхности эрозии или поверхности перерыва в осадконакоплении — ненакоплении осадков. На подобных поверхностях обычно имеются отчетливые следы активности ископаемых организмов (глава 4).

В традиционной описательной стратиграфической схеме расчленения древних осадочных пород предусмотрено выявление литологически однородных единиц (формаций), которые могут быть подвергнуты дальнейшему расчленению (на пачки) или объединению (в группы) (рис. 1.2). Официально утвержденные методы и правила проведения таких исследований приведены в Стратиграфическом кодексе Северной Америки (NACSN, 1983)<sup>2</sup>. В приобретающих все большее значение альтернативных стратиграфических схемах упор делается не на внутреннюю литологическую однородность, а на *ограничивающие перерывы*. Такой тип расчленения официально признан как *аллостратиграфия* (рис. 1.2; NACSN, 1983). Аллостратиграфия является исключительно описательным методом исследования; в рамках *секвенс-стратиграфии* (Van Wagoner *et al.*, 1990) также устанавливаются единицы, определяемые перерывами и несогласиями, но их формирование связывается с циклами колебания уровня моря. *Системные тракты* являются связующими элементами обстановок осадконакопления, происходивших в одно время. Однако различные системы осадконакопления формируются при разных положениях относительного уровня моря, что позволяет выделить три основных типа системных трактов: *низкого стояния*, *трансгрессивный* и *высокого стояния*.

В геологической истории для обстановок осадконакопления характерны определенные фациальные последовательности и морфологические параметры, которые можно наблюдать и в современных отложениях. Таким образом, общие характеристики различных современных обстановок осадконакопления могут быть использованы при интерпретации древних обстановок. В настоящее время такое сравнение современных и древних обстановок осадконакопления и поиск процессов, контролирующих фациальные последовательности и морфологические параметры фаций, называется *фациальным моделированием*. Эти термины и понятия, начиная с мелкомасштабных (фация) и кончая крупномасштабными (системный тракт), описаны ниже.

<sup>2</sup>В российском стратиграфическом кодексе (2006) американскому понятию «формация» соответствует литостратиграфическое подразделение «свита», и этот термин широко используется российскими геологами, в том числе и в геологической съемке. — *Прим. ред.*

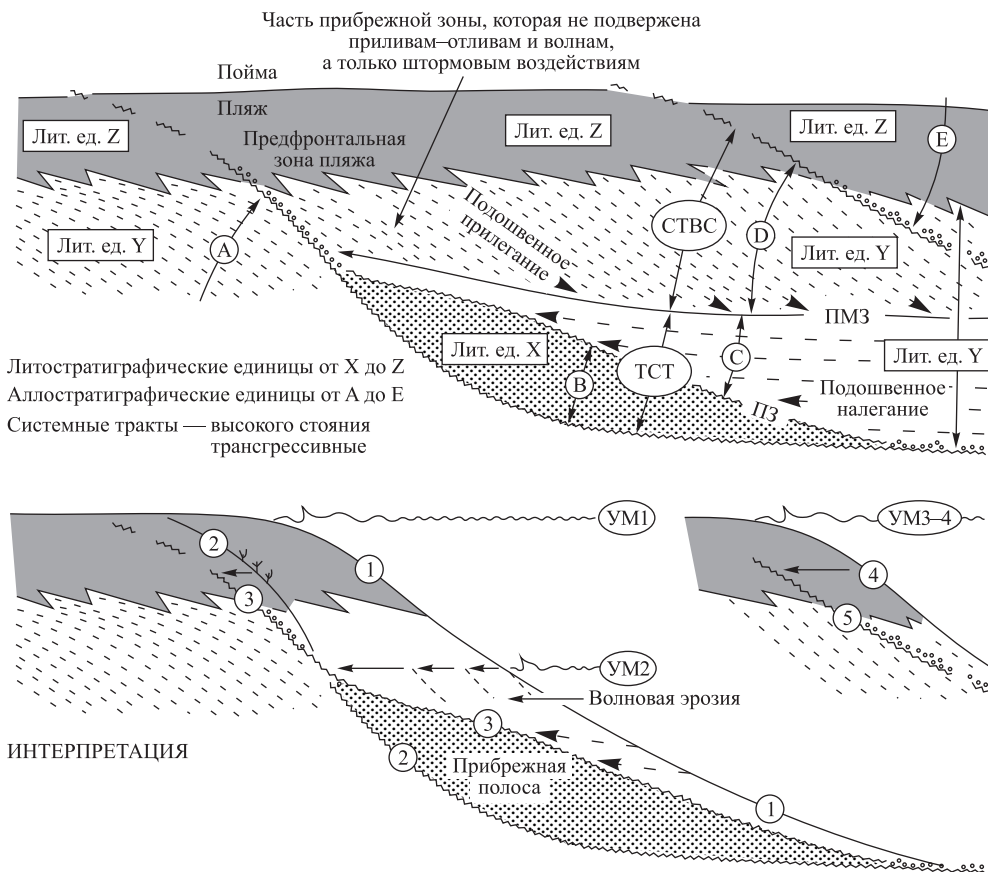


Рис. 1.2. В верхней части рисунка показаны литостратиграфические единицы X (конгломераты), Y (глинистые осадки) и Z (песчаники), а также обозначены аллостратиграфические единицы от А до Е и системные тракты высокого стояния (СТВС) и трансгрессивные системные тракты (ТСТ). ПЗ — поверхность морского затопления (MarFS); ПМЗ — поверхность максимального затопления (MaxFS). Сплошными и прерывистыми стрелками обозначены соответственно трансгрессивное и регрессивное налегания. Ограничивающие перерывы показаны мелковолнистой линией (несогласия); ПЗ и ПМЗ также являются ограничивающими перерывами. Зигзагообразная линия, отделяющая предфронтальную зону пляжа от дальней прибрежной зоны, обозначает постепенное фациальное изменение, а не ограничивающий перерыв. В нижней части рисунка показана интерпретация отложений с точки зрения изменения уровня моря (УМ). В период уровня моря 1 (УМ1) предфронтальная зона пляжа продвинулась к профилю 1. При падении уровня моря до УМ2 новая предфронтальная зона пляжа была срезана (правая часть рисунка). В период временного прекращения трансгрессии на профиле 2 сформировалась врезанная предфронтальная зона пляжа, на которой отложились конгломераты. При возобновлении трансгрессии (от УМ2 до УМ3) верхняя часть конгломератов была размыва, и профиль 2 был срезан в направлении суши до профиля 3, образуя поверхность размыва (профиль 3). Обратите внимание на уничтожение признаков суб-аэральной эрозии (растительности на профиле 2) во время последующей трансгрессии. Уровень моря стабилизировался на УМ3-4, и песчаные отложения предфронтальной зоны пляжа продвинулись к профилю 4. Последующие падение и подъем уровня моря привели к формированию поверхности размыва 5

## Фации

Термин «фа́ция» был введен в современную геологическую науку в 1838 г. швейцарским геологом и палеонтологом Аманцом Гресли, который применял его для обозначения совокупности литологических и палеонтологических характеристик стратиграфической единицы. Варианты понимания данного А. Гресли расширенного определения фации приведены в работе (Middleton, 1973). Начиная с 1838 г., термин используется в различных значениях, в зависимости от соображений, на которых они основываются: 1) использовался ли термин применительно к абстрактному набору характеристик или к сложному породами телу как таковому, 2) относится ли термин только к «пространственно ограниченными частями определяемой стратиграфической единицы» (Moore, 1949) или также к телам пород без определенной стратиграфической привязки (в первоначальном понимании А. Гресли) и 3) должен ли термин иметь чисто описательный характер («аргиллитовая фация») или иметь генетическую интерпретацию («речная фация»). Всесторонний анализ этих вопросов дан в работах (Middleton, 1978; Anderton, 1985; Reading, 1986).

### Определение понятия фация

Наиболее удачное определение фации дано в работе (Middleton, 1978), где отмечено, что «более распространенное (современное) употребление термина предложено авторами (de Raaf *et al.*, 1965), расчленившими группу из трех формаций на ряд циклически повторяющихся фаций, отличающихся «по литологическим, структурным и фаунистическим признакам, выявляемым в результате полевых исследований». Фациям можно давать неформальные («фа́ция А» и т. д.) или краткие описательные («фа́ция тонкослоистых алевритов») названия; при этом подразумевается, что обстановки формирования этих единиц в конечном счете будут интерпретированы, но определение фаций само по себе вполне объективно и основано на данных об общих характеристиках самих пород, установленных при полевых исследованиях. . . Ключом к интерпретации фаций является объединение данных наблюдений их пространственных взаимоотношений и внутренних характеристик (литологический состав и осадочные текстуры) с сопоставимыми данными по другим хорошо исследованным стратиграфическим единицам и в частности с данными исследования современных осадочных обстановок».

### Выделение фаций

Выделение фаций может проводиться в различных масштабах. При проведении исследований, направленных на интерпретации обстановок осадконакопления, как правило заранее выбирается методика расчленения сложного порода-

ми тела на составляющие его фации (единицы со схожими литологическими характеристиками). Это классификационный метод, и степень расчленения зависит от целей исследований. Если целью является обычное описание и крупномасштабная интерпретация, может быть достаточным довольно общее фациальное расчленение. При более детальном исследовании, например, уточнении существующей или построении новой модели, фациальное расчленение должно быть более детальным.

*Масштаб расчленения* зависит не только от целей исследования, но и от времени, отведенного на полевые работы, степени сохранности и обилия в породах структурно-текстурных особенностей физического и палеонтологического характера. Расчленение мощной последовательности массивных аргиллитов или тонкослоистых турбидитов (рис. 1.3) может вызвать затруднения, тогда как отложения переслаивающихся песчаников и глин такой мощности (с многочисленными и разнообразными текстурами ряби, косо́й слоистости (рис. 1.4), следами биотурбации и палеонтологическими остатками) могут быть расчленены на большое количество отчетливо выраженных фаций достаточно легко. Я сторонник детального описания в ходе полевых исследований, несмотря на возможные ошибки, — фации всегда можно переинтерпретировать в лаборатории по-новому, но проведенное в полевых условиях расчленение уточнить в лаборатории уже невозможно.

Прежде чем расчленять какое-либо тело на фации, нужно понять его геометрию. Только тогда станет ясно, насколько оно изменчиво и сколько различных фаций может быть в нем выделено. В полевых условиях большинство исследований фаций основывается на данных качественной оценки сочетаний выраженных осадочных и органических текстур (например, de Raaf *et al.*, 1965; Williams, Rust, 1969; Wilson, 1975; Cant, Walker, 1976; Scholle *et al.*, 1983; Walker, 1983). Статистические методы также могут использоваться при выделении фаций, особенно если исследователями в основном согласованы важные описательные и поддающихся количественному определению параметры (например, соотношения различных типов обломков в карбонатных породах; Imbrie, Purdy, 1962; Klovan, 1964; Harbaugh, Demirmen, 1964; см. также главу 7 книги (Harbaugh, Merriam, 1968)). К сожалению, статистические методы не применимы при исследовании терригенных обломочных пород, так как самую важную содержащуюся в них информацию (осадочные текстуры и следы биотурбации) сложно выразить количественно.

В глубинных разрезах седиментационные тела могут быть выделены по сейсмическим данным; пласты, выделяемые по сейсмике, имеют сейсмические картины различной контрастности, что позволяет разделять осадочный разрез на сейсмические фации (см. главы 3 и 13). При наличии скважинных данных, электрического каротажа и других каротажных кривых/ГИС фации с контрастными свойствами и фациальные последовательности также могут быть выделены исходя из каротажных характеристик (глава 3).



Рис. 1.3. Девонские турбидиты около Мельбурна, Австралия. Более молодые отложения — справа

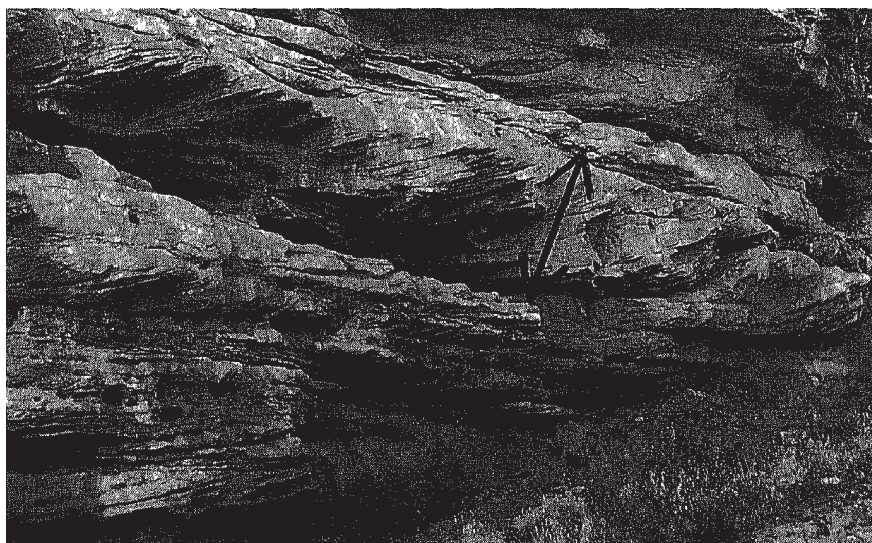


Рис. 1.4. Верхнемеловые косослоистые песчаники в Берри Галш, Колорадо. Мощность обозначенного стрелкой пласта составляет 1,7 м



## Фациальные комплексы и структурные элементы

Во многих исследованиях выделяемые фации характеризуются небольшими масштабами — мощность единиц составляет лишь несколько метров и различия между ними едва заметны, включая, например, незначительные изменения в соотношении частиц пелитовой и алевритовой размерности, относительной многочисленности и разнообразии ископаемых остатков и несущественные различия в характере слоистости (Walker, 1983). Как правило, в результате составляется фациальная схема, в которой описанные различия слишком малы для интерпретации. Вследствие этого целесообразно объединение близких между собой фаций в фациальные комплексы (рис. 1.1), или «группы генетически связанных между собой фаций, дающих возможность судить об обстановке осадконакопления в целом» (Collinson, 1969). Эти более масштабные фациальные комплексы также называют «структурные элементы» (Allen, 1983), подразумевая, что они являются элементами строения различных систем осадконакопления. Понятие *структурные элементы* подчеркивает трехмерную геометрию фациальных комплексов. Хорошие примеры таких элементов приведены в главе 7.

В масштабе структурных элементов (но не на локальном, мелкомасштабном фациальном уровне) становится очевидным, что в некоторых осадочных системах отдельные элементы наблюдаются *повсеместно* в молодых осадках, древних породах и во многих различных геологических обстановках по всему миру. Первая *универсальная* фациальная схема была предложена для турбидитов (Mutti, Ricci Lucchi, 1972; см. главу 13), а в работе (Miall, 1977, 1985) была предложена схема для речных отложений (см. главу 7). Так, по схеме (Miall, 1985) структурный элемент *русла* состоит из разнообразного сочетания ряда литофаций с характерной вытянутой русловой геометрией; этот элемент может быть выделен почти во всех отложениях современных рек, а также в большинстве древних речных систем. Отдельные фации, по-видимому, подвергаются влияниям многочисленных мелкомасштабных локальных факторов. В реке, например, отложения могут контролироваться изгибом меандровой петли и степенью эродированности берега. Структурные элементы являются крупномасштабными составляющими осадочной системы (например, русло реки). Они чаще встречаются в природе, менее подвержены влиянию локальных факторов и, следовательно, более универсальны в применении.

## Фациальные последовательности

При проведении стратиграфических исследований термину «секвенс» недавно было дано очень точное определение (табл. 1.1). В настоящее время термин «фациальная последовательность» предпочтительнее ранее употреблявшегося «фациальный ряд». Концепция последовательности означает, что некоторые свойства фаций постепенно изменяются в определенном направлении (по вер-



Рис. 1.5. Фациальная последовательность (обозначена стрелкой) верхнемеловой формации *Cardium* с возрастающим вверх по разрезу содержанием песчаного материала, Блэкстоун Ривер, Альберта. Обратите внимание на общее увеличение доли песчаников вверх по разрезу и тенденцию к увеличению мощности вверх по разрезу отдельных пластов песчаников. Последовательность резко прерывается поверхностью морского затопления, перекрытой черными песчано-глинистыми отложениями. Человек (справа) показан для масштаба

тикали или латерально); к этим свойствам можно отнести содержание песчаной фракции (увеличение количества песчаного материала вверх по последовательности, рис. 1.5), степень биотурбации или размерность песчаных отложений (что определяет *общее огрубление вверх по разрезу*).

Интерпретация обстановок осадконакопления многих, если не большинства отдельных фаций, выделенных при проведении полевых исследований, неоднозначна. Так, несмотря на то, что *процессы* формирования среднемасштабной косой слоистости (рис. 1.4) практически одинаковы во всех обстановках, фация косослоистых песчаников может сформироваться в меандрирующей или разветвленной реке, приливной протоке, предфронтальной зоне пляжа с преобладающими вдольбереговыми течениями или на шельфе в условиях доминирования приливно-отливных течений. Особенно трудно однозначно интерпретировать обстановки осадконакопления по брекчиевидным (диамиктовым) фациям (глава 5). Действительно, для многих выделенных в полевых условиях фаций вначале вообще невозможно дать какую-либо определенную интерпретацию. Ключом к интерпретации является совместный анализ всех фаций в конкретной обстановке. Таким образом, *последовательность* их залегания дает важную информацию, которую невозможно получить при исследовании отдельных фаций.

Впервые особое внимание на взаимоотношение между системами осадконакопления в пространстве и образующимися с течением времени стратиграфическими последовательностями обратил Иоганнес Вальтер (1894, в работе (Middleton, 1973)) в сформулированном им законе корреляции фаций. Вальтер утверждал, что «основным, имеющим большое будущее значение является тот факт, что первоначально только такие фации и фациальные области могут накладываться друг на друга, которые в современных условиях расположены рядом». В соответствии с этим законом, *постепенный* переход от одной фации к другой в вертикальной последовательности означает, что эти две фации отвечают ранее расположенным рядом обстановкам. При резко выраженных и/или эрозионных контактах между фациями или фациальными комплексами невозможно узнать, отвечают ли две соседние по вертикали фации первоначально расположенным рядом обстановкам. Резкие перерывы между фациями (маркируемые, например, размытами русла или маломощными горизонтами, сложенными биотурбированными отложениями, указывающими на перерыв в осадконакоплении) могут служить признаками существенных изменений в обстановке осадконакопления и начала новых циклов отложения осадков (de Raaf *et al.*, 1965). Теперь эти резкие перерывы, или *ограничивающие несогласия*, используют при расчленении стратиграфических последовательностей и аллостратиграфических единиц (как обсуждается ниже).

Взаимоотношения между фациями в пределах фациальной последовательности могут быть выражены количественно на диаграммах фациальных взаимоотношений (de Raaf *et al.*, 1965) или представлены в таблицах вероятностей фациальных переходов. В настоящее время эти методы не так часто применяются, как несколько лет назад, но методика сохраняет свою актуальность. Читателей, интересующихся данными вопросами, отсылаем ко второму изданию книги «Фациальные модели» (Walker, 1984; Harper, 1984).

Со временем стало очевидно, что некоторые фациальные последовательности неоднократно встречаются в геологической истории, в породах всех возрастов и в различных геологических обстановках. При объединении этих последовательностей с современными аналогами формируется их обобщенная, или синтезированная модель. После проведения латеральной корреляции вертикальных последовательностей и построения трехмерного изображения осадочной системы у нас появляется возможность сформулировать общие положения, касающиеся этой системы, т. е. построить фациальную модель.

### Фациальные модели

Фациальная модель отражает сводную информацию о конкретной осадочной системе, которая может быть использована для четырех различных целей. При этом делается философское допущение, что в природе существуют система и порядок и что геологи могут выделить и обосновать ограниченное количество

осадочных систем. Высказывая свою хорошо аргументированную альтернативную позицию, Андертон приходит к выводу (Anderton, 1985, p. 33), что «если у вас, как и у меня, более нигилистический взгляд на жизнь, мироздание и тому подобное, вы вынуждены признать наличие бесконечного количества обстановок, фаций и моделей».

Для тех, кто стремится к упорядочению полученных при изучении природных объектов данных, принципов, методов и основания фациального моделирования, следует обратиться к рис. 1.6, где показан пример турбидитов и подводных конусов выноса. Мы исходим из того, что если можно исследовать достаточное количество современных турбидитов по керну, современных конусов выноса в более крупном масштабе по сейсмическим профилям и древних турбидитов в полевых условиях, то нам удастся сделать некоторые общие выводы о конусах выноса и турбидитах в целом, а не только на примере одного частного случая (глава 13).

Процесс получения обобщенной информации показан на рис. 1.6, где частные примеры основаны на исследовании современных конусов выноса и древних пород. Всю совокупность полученной информации подвергают «дистилляции» (выделению самого существенного), абстрагируясь от мелких характерных особенностей, но объединяя общие важные признаки в обобщенную картину по конусам выноса. Но как определить, что является мелкой характерной особенностью, а что общей? Какие характеристики мы должны игнорировать, а какие, наоборот, выделять и считать важными?

Ответы на эти вопросы могут быть получены на основе опыта, обдуманности решений, знаний и дискуссий в литологическом сообществе. Модели постоянно совершенствуются по мере поступления новой информации и более глубокой проработки ее составных частей. Так, во втором издании книги «Фациальные модели» едва упомянуты широко развитые отложения обломочных потоков и оползней в пределах современных подводных конусов выноса, тогда как в этом издании таким отложениям отведено важнейшее место (главы 13, 18). Некоторые трудности построения моделей, связанные с изменчивостью в природе, рассмотрены в работе (Anderton, 1985).

### **Четыре основные сферы применения фациальных моделей**

Реализованные в фациальной модели общие принципы, в отличие от мелких частных характеристик, позволяют использовать их для следующих четырех главных целей (рис. 1.6):

- 1) в качестве *эталона* для сравнения;
- 2) в качестве *основы* и для *обеспечения методологического подхода* при дальнейших наблюдениях;
- 3) в качестве *инструмента прогнозирования* в новых геологических условиях;
- 4) в качестве комплексной основы для *интерпретации* системы, которую она характеризует.

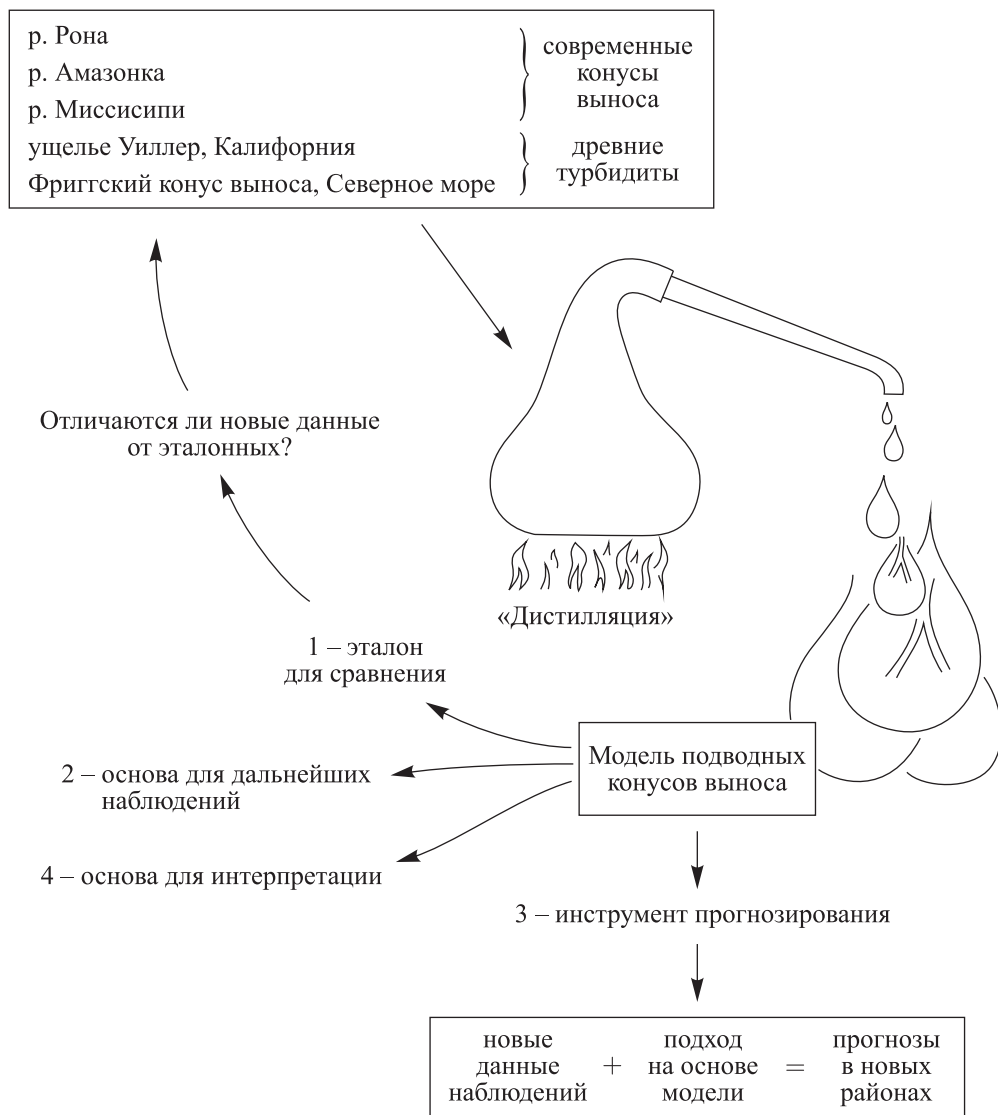


Рис. 1.6. Схема анализа («Дистилляция») обобщенной фацальной модели для подводных конусов выноса. Более подробное обсуждение см. в данном тексте

На рис. 1.6 также уделяется внимание сравнению и комплексному учету особенностей местных характеристик. В случае выявления характерных признаков или получения определенных представлений по данным изучения конкретного примера возникает вопрос: относятся ли эти признаки к другим частным примерам? При проведении такого сравнительного анализа литолог выделяет общие характеристики и распознает «местные особенности». Это тот самый процесс «дистилляции», позволяющий осуществить первоначальный этап построения фацальной модели.