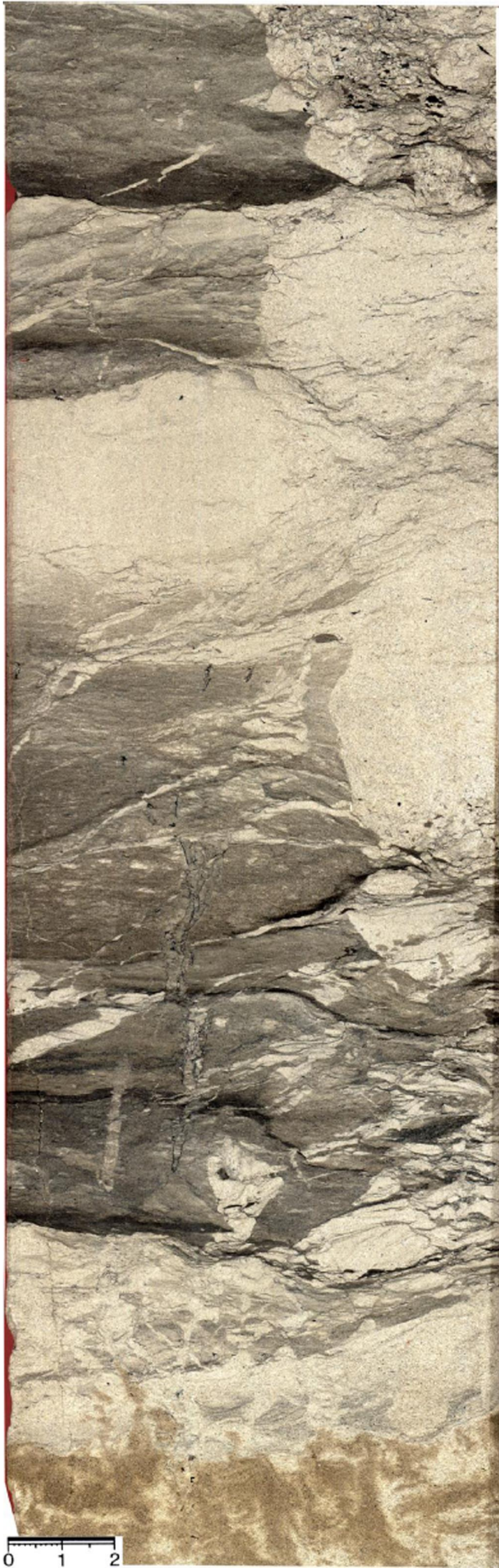




В. П. Алексеев

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ЭТЮДЫ

Екатеринбург – 2006



Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»

В. П. Алексеев

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ЭТЮДЫ

Научное издание

Екатеринбург - 2006

УДК 552 : 551
А 47

Алексеев В. П.

А 47 Литологические этюды. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 149 с.
ISBN 5-8019-0097-7

Предлагаемое издание состоит из шести самостоятельных очерков, объединяемых одной идеей – показать всю внутреннюю красоту внешне неброских осадочных отложений. Для этого они последовательно рассмотрены на основных уровнях организации геологических тел – от слоистости в образце до крупных слоевых комплексов, содержащих горючие полезные ископаемые. На примере юрских терригенных толщ подчеркнута необходимость соединения структурного и генетического методов, с приоритетом последнего. Показана необходимость и актуальность использования системного анализа и основных положений синергетики.

Для литологов; геологов, работающих на поисках и разведке горючих полезных ископаемых; магистрантов и аспирантов геологических специальностей.

Табл. 20. Рис. 75. Библ. 150 наим.

Рецензенты:

д.г.-м.н. Виталий Федорович ШУЛЬГА (ИГН НАН Украины)

д.г.-м.н. Эдуард Оттович АМОН (ИГГ УрО РАН)

Печатается по решению Редакционно-издательского совета УГГУ

ВВЕДЕНИЕ (ПРЕЛЮДИЯ)

Название предлагаемой работы сложилось у автора при знакомстве со сборником, приуроченным к юбилею акад. Б. С. Соколова,¹ и окончательно сформировалось после выхода в свет сборника (также юбилейного), посвященного 90-летию акад. Н. А. Шило.² При этом составителем последнего, акад. К. В. Симаковым, прямо указано в предисловии, что название «предопределено разнообразием затронутых в статьях тем».

Такой подход соответствует одному из пяти вариантов значения фр. слова *etude*, которые приведены в наиболее распространенном «Словаре иностранных слов». Он выглядит следующим образом: «небольшое произведение научного, критического и др. характера, посвященное какому-либо отдельному вопросу». В то же время в самом слове «этюд» традиционно ощущается некий эстетический изыск, в целом не противоречащий строгим канонам «сухой» науки, в том числе и геологической. Как раз именно последней, имеющей дело с «немыми памятниками» прошлого, дана попытка «разговорить» их. Примером тому может служить название небольшой изящной работы, изданной 90 лет назад.³ Именно благодаря всему перечисленному, в последнее время публикуются «петрографические этюды», «этюды по тектонике» и т. д.

Отклоняя эстетизм, но принимая эстетику, разумная доля которой необходима везде и во всем, автор в итоге и остановился на не вполне обычном названии книги. Она состоит из шести самостоятельных этюдов, основой которых во многом послужили довольно многочисленные небольшие работы автора, разбросанные по различным малотиражным изданиям. В то же время все этюды весьма тесно взаимосвязаны, что будет видно при изложении материала.

Каждый из представленных этюдов охватывает достаточно значительный раздел литологии, которому, в свою очередь, посвящена весьма обширная специальная литература. Поскольку работа в целом имеет не столько (и не только) сугубо научные, но и учебные цели, автор счел возможным предварить каждый из этюдов тремя *интерлюдиями* (лат. *inter* – между + *ludus* – игра). Имея в значительной степени самостоятельный характер и будучи как бы «вкрапленными» в основной текст работы, эти отступления – «эссе» – в существенной мере предназначены для консолидации всего материала, подобно тому, как матрикс скрепляет обломочную часть породы.

Ссылки на цитируемую литературу даны в сквозной для всей работы нумерации. Однако поскольку ряд работ использовался и, соответственно, цитировался многократно, то *внутри* этюда такая ссылка на одну и ту же работу давалась только один раз, и в последующем читатель отсылался именно к данному номеру цитируемого источника.

¹ Этюды по стратиграфии. М.: Наука, 1974. 218 с.

² Геологические этюды. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2003. 198 с.

³ Этюды о кораллах *Rugosa* / Н. Яковлева. Тр. Геол. комитета. Нов. сер. Вып. 96. 1914. 33 с.

Этюд 1. ЖИЗНЬ ОБРАЗЦА ИЗ КОРКИНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

Основным посылом для написания данного этюда послужила нечасто цитируемая в геологической литературе монография крупного ученого-углехимика Георгия Леонтьевича Стадникова.⁴ Заключительная глава этой книги, имеющая более чем 50-страничный объем (с. 318 – 373) названа автором «Жизнь аргиллита из скв. К-32 глуб. 154,0-154,5 м». В ней всесторонне проанализирован состав образца керна из скважины, пробуренной на Воркутском каменноугольном месторождении Печорского бассейна. Привлекает один из выводов по данной главе (с. 372): «... «мертвая» глина по своей природе стоит очень близко к «живому» белку..., как и всякий живой коллоид, вечно меняется, борется с окружающими явлениями, приспосабливается, устает, почти погибает, вновь оправляется от удара, знает молодость и старость; *она живет* (курсив наш. – В. А.)».

Уместно будет подчеркнуть, что «ничто не ново под Луной». Задолго до этого известный геолог М. Д. Залесский в обстоятельной брошюре⁵ описал фактически по одному «куску» сапромиксита весом менее 70 г новый вид водорослевого угля с первоначальным названием «томит» (по месту его отбора из обнажения по р. Томь в Кузбассе).

В начале 1990-х гг., во время одного из посещений самого глубокого в мире угольного разреза «Коркинский» (Челябинский бассейн)⁶, автором был взят на глубине 430 м от дневной поверхности кусок породы, принадлежащий к отложениям коркинской свиты, датируемой поздним триасом. По сути была выполнена вторая часть одной из «установок» Екклесиаста: «Время разбрасывать камни и время собирать камни» (Еккл., 3, 5). На рис. 1.1 представлено сканированное изображение распиленной и пришлифованной плоскости «камня», который в результате такой обработки переведен в ранг образца. Данное изображение было приведено в учебном пособии⁷, где также дано краткое описание нескольких выделенных интервалов, объемом в одну страницу.



Рис. 1.1. Песчаник тонкозернистый, в средней части образца – с прослоем мелкозернистого песчаного материала; хорошо сортированный. Слоистость преимущественно косо-волнистая, подчеркнута растительным детритом. Нарушена взмучиваниями в нижней и верхней частях образца.

Масштаб линейки – в сантиметрах.

⁴ Стадников Г. Л. Глинистые породы. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 375 с.

⁵ Залесский М. Д. Естественная история одного угля // Тр. Геол. комитета. Нов. сер. Т. 139. 1915. 74 с.

⁶ Коркинский угольный разрез / И. А. Тынтеров, Ю. М. Кузьменко, Г. Г. Ширкин. Челябинск, 2000. 225 с.

⁷ Алексеев В. П. Литолого-фациальный анализ: Учебно-методическое пособие к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине «Литология». Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. 147 с.

Следуя подходу Г. Л. Стадникова и М. Д. Залесского к *глубинности* познания конкретного, пусть небольшого, объекта изучения (см. выше), дадим по возможности полную *визуальную* характеристику нашего образца. Предварим описание тремя интерлюдиями, необходимыми для введения в существо рассматриваемого вопроса.

Интерлюдия 1. Классификации терригенных пород по размеру слагающих их частиц

Ведущим классификационным признаком обломочных (кластогенных) пород является размер слагающих их частиц. Будучи определяемым «на глаз», данный параметр проверяется и детализируется гранулометрическими исследованиями: рассевом на ситах для рыхлых пород и подсчетами зерен в шлифах – для сцементированных. В отечественной практике до сих пор широко используется т. н. «десятичная» шкала, имеющая явно механистический характер (левая часть табл. 1.1). Исходя из *природного* логнормального распределения частиц, наиболее целесообразна для применения *логарифмическая* шкала. В мировой практике обычно используется шкала Ф («фи») с основанием логарифма 2, предложенная У. Адденом в 1898 г., преобразованная С. К. Уэнтвортом в 1922 г. и в современном виде представленная У. Крамбейном в 1934 г. (правая часть табл. 1.1).

Таблица 1.1

Сравнение шкал размерности

Подразделения в десятичной шкале		Размер частиц	Шкала Ф	Принятые подразделения		Обозначения
Гравелит		2,00	-1,0	Гравелит		
		1,00	0,0	Грубозернистый	Песчаники	
Песчаники	Крупнозернистый	0,500	1,0	Крупнозернистый		
	Среднезернистый	0,250	2,0	Среднезернистый		
	Мелкозернистый	0,125	3,0	Мелкозернистый		
0,100			4,0	Тонкозернистый		
Алевролиты	Крупнозернистый	0,063	5,0	Крупнозернистый	Алевролиты	
	Мелкозернистый	0,031				8,0
Аргиллит		0,01	0,004			

Наибольший практический интерес представляет граница между песчаниками и алевролитами. Рассматривая ее с позиций *естественной* дифференциации частиц, наиболее предпочтителен рубеж в 0,063 мм (4 Ф), что определяется двумя основными причинами:⁸ 1) дефицитом фракций на нижней границе песчаных

⁸ Романовский С. И. Седиментологические основы литологии. Л.: Недра, 1977. 408 с.

частиц (0,05-0,063 мм), определяемый наследованием свойств первичных магматических пород (разрушение минералов); 2) различными режимами перемещения кластического материала, выражающимися в смене переноса от взвешенного состояния к сальтации.

В подтверждение правомерности изложенной позиции приведем цитату из работы,⁹ которая в наиболее полном виде раскрывает методику изучения сероцветных терригенных отложений. «В угленосных свитах среднего карбона Донецкого бассейна встречаются породы, находящиеся по размеру зерен на границе крупнозернистого алевролита и мелкозернистого песчаника, т. е. в пределах 0,05-0,15 мм. Такие породы мы часто называем тонкозернистыми песчаниками, что несколько нарушает принятую (десятичную. – В. А.) классификацию, но иногда лучше оттеняет генетическую характеристику пород и связь их с соседними в схеме классификации песчаными породами» (с. 56).

Интерлюдия 2. Типы пород

Как в практической деятельности, так и в геологической литературе получило широкое распространение и по сути укоренилось стремление называть типы пород, выделяемые по размерности и по соотношению слагающих их частиц, *литологическими* (например, литотип – песчаник мелкозернистый; среднекрупно-зернистый и т. д.). Это совершенно ошибочно: из самого названия следует, что в данном случае рассматриваются *гранулометрические* типы пород. Обратив на подобную несуразность особое внимание, А. В. Македонов наилучшим, по нашему мнению, образом дал системное определение именно литологического типа породы, или *литотипа*: это «экзогенное или эндогенно-экзогенное геологическое тело с определенным комплексом взаимосвязанных существенных признаков: *конститутивных* – вещественного состава, строения, морфологии – и дополнительных *индикативных* – ориктоценозов, конкреций, некоторых других аутигенных образований»^(10, с. 9).

Проиллюстрируем правомерность высказанного на конкретном примере. В качестве исходных данных взята детальная документация керна по скв. 10548, пробуренной на Сыморяхском месторождении Шаимского нефтегазоносного района (Западно-Сибирский осадочный мегабассейн). Скважиной в интервале глубин 2112,8-2208,1 м вскрыт полный разрез тюменской свиты среднеюрского возраста, по которому выделено 79 слоев, имеющих разнообразный состав. В соответствии с тезаурусом, приведенным в табл. 1.2, все признаки и параметры, отмеченные при документации, переведены в числовую форму (закодированы).

Полученный массив данных (5 признаков x 79 слоев) проанализирован рядом стандартных для математической статистики методов.¹¹ Важными для последующих рассуждений являются результаты *многомерного* анализа с выделением

⁹ Строение и условия накопления основных угленосных свит и угольных пластов среднего карбона Донецкого бассейна / Ю. А. Жемчужников, В. С. Яблоков, Л. И. Боголюбова и др. М.: Изд-во АН СССР, 1959. Ч. 1. 331 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 15).

¹⁰ Македонов А. В. Методы литофациального анализа и типизация осадков гумидных зон. Л.: Недра, 1985. 243 с.

¹¹ Алексеев В. П., Печинина Е. Б. Обработка результатов полевых и лабораторных исследований (с использованием вероятностно-статистических методов): Учебное пособие. Свердловск: Изд-во СГИ, 1989. 76 с.

новых переменных – *факторов* (табл. 1.3). Они характеризуют изменчивость *совокупности* всех анализируемых признаков, причем только два фактора охватывают почти 90 % дисперсии всей системы.

Таблица 1.2

Кодирование признаков

Признак	Индекс	Метризуемый параметр (по увеличению значений кодов)	Примеры	Примечание
Гранулометрический состав	S_1	Средний размер частиц (увеличение)	1 – уголь, ..., 5 – тонкозернистый песчаник, ..., 9 – гравелит	Использована логарифмическая шкала $\Phi = -\log_2 S$
Сортированность	S_2	Соотношение различных фракций (увеличение дисперсии)	1 – очень хорошая, ..., 5 – средняя, ..., 9 – очень плохая	–
Текстура (слоистость)	S_3	Интенсивность гидродинамики (увеличение)	1 – массивная, ..., 5 – линзовидно-волнистая, ..., 9 – узловая (беспорядочное наложение)	По классификации Л. Н. Ботвинкиной (1962, 1965), с дополнениями
Органический (растительный) материал	S_4	Количество (уменьшение)	1 – обилие (до угля), ..., 5 – среднее, ..., 9 – отсутствует	–
	S_5	Степень сохранности (понижение)	1 – присутствуют все формы, ..., 5 – детрит, ..., 9 – отсутствует (полностью дезинтегрирован)	–

Из приведенных в табл. 1.3 результатов можно сделать как минимум два вывода.

1. Общая дисперсия системы признаков сформирована *двумя* примерно равнозначными факторами. Первый из них определяется в основном изменениями *гидродинамики* среды осадконакопления. Это следует из ведущего вклада в него признаков S_1 , S_2 и S_3 (см. табл. 1.2), в особенности – размерности частиц и типа текстуры, характеризующих механизм транспортировки и осаждения материала. Второй же фактор (F_2) определяется *ландшафтной* ситуацией. Это находит выражение в основном вкладе признаков S_4 и S_5 (см. табл. 1.2), характеризующих количество и сохранность растительного материала. Существенен вклад в фактор F_2 и признака S_3 , определяющего сортированность пород.

2. Общую дисперсию *системы* признаков, характеризующих выделяемые слои, формируют *все* показатели. Как следствие, перечисленное заставляет весьма критически относиться к использованию данных по гранулометрическому составу пород в качестве главного (а на практике часто единственного) показателя

Таблица 1.3

Матрица факторных нагрузок

Признак	Факторы	
	F_1	F_2
S_1	.90*	-.28
S_2	.75*	.42
S_3	.93*	.10
S_4	.01	-.96*
S_5	-.08	-.95*
Вклад	45.03	42.12

в любых геологических реконструкциях. В частности, с не меньшим правом на такую же роль может претендовать и *текстурный анализ* как самостоятельный метод исследования.¹² Добавим, что принципиально такие же результаты мы получили при изучении всех терригенных внутриконтинентальных угленосных толщ различного возраста и разного набора пород.

Интерлюдия 3. Слоевые единицы

Естественное разделение на слои различной мощности, то есть *стратификация* (*s. lato*) – неотъемлемый признак любой осадочной толщи. Учитывая большой диапазон их состава и строения, а также плавные переходы между показателями различных параметров для структурных единиц разных рангов, следует признать, что единой типизации слоевых единиц не существует, и вряд ли она может быть разработана вообще. В то же время, взгляды на таковую, применительно к терригенным отложениям, достаточно близки, и в целом показаны на рис. 1.2 и 1.3. За их основу приняты схемы, представленные в работе¹³ выдающегося исследователя слоистости осадочных толщ и обстановок терригенного осадконакопления Любови Николаевны Ботвинкиной (1912 – 1989).

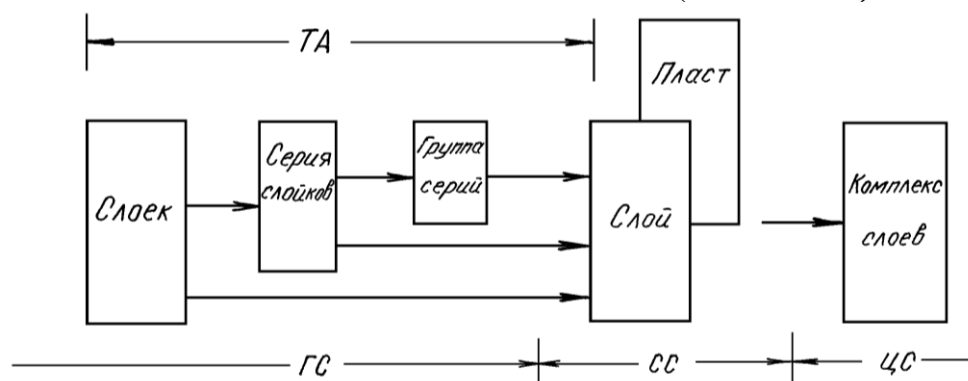


Рис. 1.2. Схема соотношения и соподчиненности слоевых элементов низших рангов в осадочных толщах (¹³, с дополнениями):

Вверху: ТА – текстурный анализ (по Л. Н. Ботвинкиной: см. выше).

Внизу: структурные инварианты седиментогенеза¹⁴: ГС – гранулоседиментогенез, СС – стратоседиментогенез, ЦС – циклоседиментогенез

Вопросы соотношения между слоевыми единицами разных рангов в отечественной литературе наиболее детально рассмотрены Н. Б. Вассоевичем (¹⁵ и др.) и Л. Н. Ботвинкиной (^{13, 16} и др.). Обзор данной проблемы в англоязычной литературе имеется в сводке польских литологов¹⁷. В основном эти представления достаточно сходны и сводятся к следующему.

¹² Ботвинкина Л. Н. Текстурный анализ и перспективы его развития // Литология и полезные ископаемые. 1965. № 2. С. 5-18.

¹³ Ботвинкина Л. Н. Слоистость осадочных пород. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 542 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 59).

¹⁴ Романовский С. И. Физическая седиментология. Л.: Недра, 1988. 240 с.

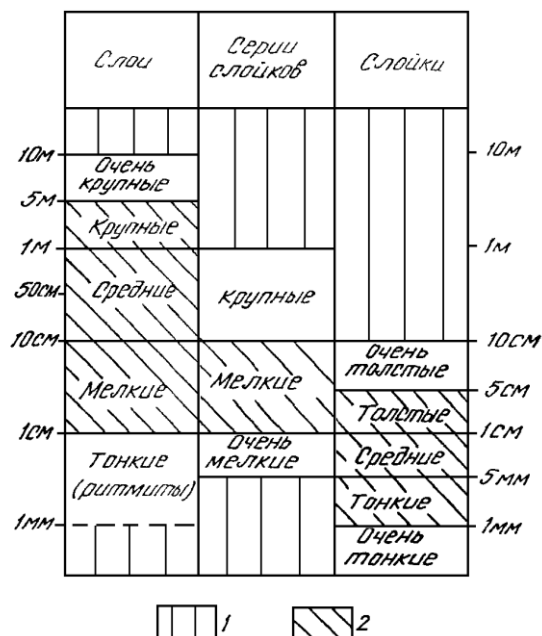
¹⁵ Вассоевич Н. Б. Текстура осадочных горных пород // Справочное руководство по петрографии осадочных пород. Л.: Госгортоптехиздат, 1958. Т. 1. С. 95-129.

¹⁶ Ботвинкина Л. Н. Методическое руководство по изучению слоистости. М.: Наука, 1965. 260 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 119).

¹⁷ Седиментология / Пер. с польск. / Р. Градзиньский, А. Костецкая, А. Радомский, Р. Унруг. М.: Недра, 1980. 640 с.

Слоек – наименьшая (элементарная) единица слоистой текстуры, которую можно выделить макроскопически (визуально). Часто встречающийся характерный признак – первичный наклон, который теоретически может достигать $41 - 43^\circ$, но для отложений в «правильной последовательности» обычно не больше 30° ¹⁸.

Рис. 1.3. Классификация слоевых единиц по размеру (¹³, с изменениями):
1 – встречаются редко; 2 – наиболее распространенные типы



Серия слойков – группа сходных по форме и строению слойков, связанных друг с другом непрерывной последовательностью наложения и поэтому обычно имеющих одинаковое залегание. Серии слойков сверху и снизу отделены от смежных серий плоскостями раздела – границами серий (или, в разрезе, «серийными швами»¹⁹). При изменении признаков от слойка к слойку внутри некоторой группы (что особенно характерно для горизонтальной слоистости) формируются их *пачки*. По существу они являются мелкими *ритмами*, наиболее известным примером которым служит ленточная слоистость (варвы).

Серии слойков могут быть объединены в *группы серий* по какому-либо признаку (или его изменению), причем граница между группами серий обычно выражена более резко, чем граница между сериями внутри группы, отражая этим какие-то более резкие изменения условий седиментации.¹⁹ Чаще всего это отражается в изменении углов наклона слойков в косой и волнистой слоистости, а также более резкими серийными швами, срезающими предыдущие серии («подбравание голов ранее образовавшихся серий» по образному выражению Ю. А. Жемчужникова¹⁹).

Слой (англ. layer) – термин достаточно общего пользования. По С. Науманну (Naumann, 1858), он представляет собой геологическое тело, сложенное петрографически однородным материалом и ограниченное более или менее четко выделяемыми, плоскими и параллельными поверхностями. Как следует из рис. 1.2, слой могут образовывать слойки (что характерно для градационной слоистости).

¹⁸ Твенхофел У. Х. Учение об образовании осадков / Пер. с англ. М.-Л.: ОНТИ, 1936. 916 с.

¹⁹ Жемчужников Ю. А. Слой и пласт // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1950. № 5. С. 116-125.

стости), но чаще он характеризуется определенной внутренней текстурой. Первичный наклон слоя практически отсутствует, или он очень мал (первые градусы).

Пласт не следует рассматривать как синоним слоя²⁰. Ю. А. Жемчужников в специальной статье¹⁹ определил, что слой – это одновременное и гетерофациальное, а пласт – разновременное и монофациальное образование. Н. Б. Вассоевич²⁰, напротив, утверждал, что слой – образование разновременное, а пласт – одновременное. Автор, вслед за С. И. Романовским⁸, считает, что при решении данного вопроса в рамках конкретных задач следует придерживаться рассуждений Н. А. Головкинского (подробно речь о них пойдет в 4-м этюде). В этом контексте мы оставляем за слоем *литологическое* толкование, т. е. это разновременный, диахронный горизонт монофациального s. lato, но разнофациального s. stricto состава – последнее зависит от типа разреза и протяженности изучаемого горизонта (имеется ввиду миграционный механизм накопления). Для пласта же следует оставить более или менее соблюдаемую изохронность, сопровождающуюся безусловной разнофациальностью. Высказанная позиция находит хорошее подтверждение в угольной геологии. Представления об *изохронности* угольных *пластов*, хотя и не могут считаться абсолютно доказанными, но и не имеют сколько-нибудь убедительных «обратных» примеров. Помимо прочего мы приходим здесь и к тому соображению, что пластом не в последнюю очередь можно считать геологическое тело, представляющее *практический* интерес. В заключение отметим, что пласт может быть равен слою или состоять из нескольких слоев.

Изложенное в данной интерлюдии в схематичном, модельном виде изображено на рис. 1.4 (опять-таки за основу взят рисунок из основополагающей работы Л. Н. Ботвинкиной¹³).

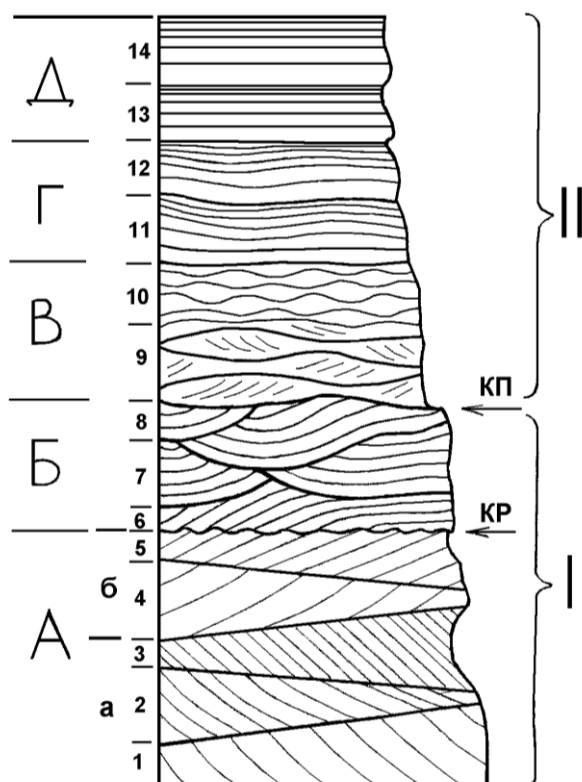


Рис. 1.4. Основные слоевые элементы (все линии в колонке – границы слойков):

А-Д – *слои*, выделенные как по изменению размерности материала (правая, «рельефная» линия на колонке), так и – преимущественно – по типу слоистости. Арабские цифры – серии слойков; римские – пласты. КР – контакт с перерывом, КР – контакт с размытием

²⁰ Геологический словарь. М.: Недра, 1973. Т. 1. 486 с. Т. 2. 456 с.

Слой А: косая слоистость, с пятью сериями слойков (1-5). По направленному уменьшению их мощности от серии 1 к серии 3, а также изменению направления течения на границе 3-й и 4-й серий выделяется две группы серий – а и б.

Слой Б: косоволнистая, мутьдообразная слоистость из пяти серий (на левом «обрезе» их три: 6-8). Несмотря на контакт размыва, дополнительно фиксирующий деление слоев А и Б, их целесообразно выделять внутри единого пласта I.

Слой В: линзовидноволнистая слоистость разного масштаба (серии 9 и 10). Нижняя, 9-я серия – сложный тип, с элементами более мелкой, косоволнистой слоистости.

Слой Г: пологоволнистая слоистость. По направленности изменения мощности слойков выделяются серии 11 и 12. То же – для слоя Д с горизонтальной слоистостью (серии 13 и 14).

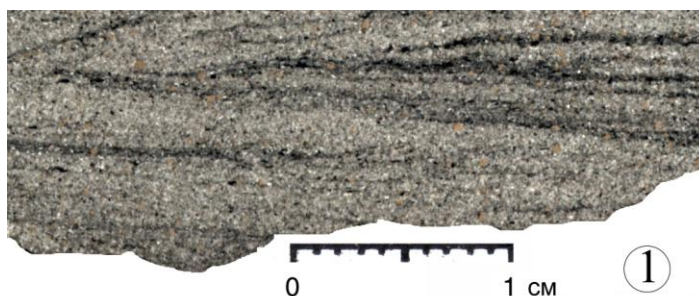
Слои В, Г и Д объединяются в пласт II, с направленной сменой размерности частиц и ослаблением гидродинамики среды седиментации.

Жизнеописание образца

Переведя кусок породы, взятой на глубине 430 м в Коркинском угольном разрезе, в ранг образца (см. начало этюда), мы получили возможность рассматривать его как некоторое самостоятельное геологическое образование. Безусловно это является существенной «вольностью», поскольку без точной привязки он остается «собакином» для решения каких-либо геологических задач. Однако для наших дальнейших рассуждений заданный «формат» образца достаточен, чтобы проследить в этих пределах его «жизненный путь».

Всего для образца выделено 10 интервалов (рис. 1.5), которые соответствуют сериям слойков, или (чаще) группам серий (см. рис. 1.4). Очевидно, что они характеризуют отдельные седиментационные этапы в общем процессе формирования отложений. Их описание проведем снизу вверх, в соответствии с последовательностью накопления осадков в векторе «стрелы времени» И. Р. Пригожина. Оно будет сопровождаться иллюстрацией отдельных деталей на фрагментах, даваемых в увеличенном масштабе (их положение показано на рис. 1.5). Соответствующие номера фрагментов приведены в кружках, что делает излишним их рубрикацию в виде отдельных рисунков.

Интервал 1 (неполный). Тонкозернистый песчаник – крупнозернистый алевролит (здесь и далее в шкале Ф: см. табл. 1.1), с достаточно хорошей сортировкой материала. Группа серий слойков, с толщинами 2-5 мм, верхние части которых насыщены тонким растительным детритом (черное). Серии сложены очень тонкими слойками толщиной в доли миллиметра. Слоистость косоволнистая, слабо срезанная, вогнутая. Направленность течения – справа налево. Две верхние серии, наблюдаемые в правой части образца, размывы при последующей седиментации, что отчетливо видно на фрагменте 1. В центральной части образца



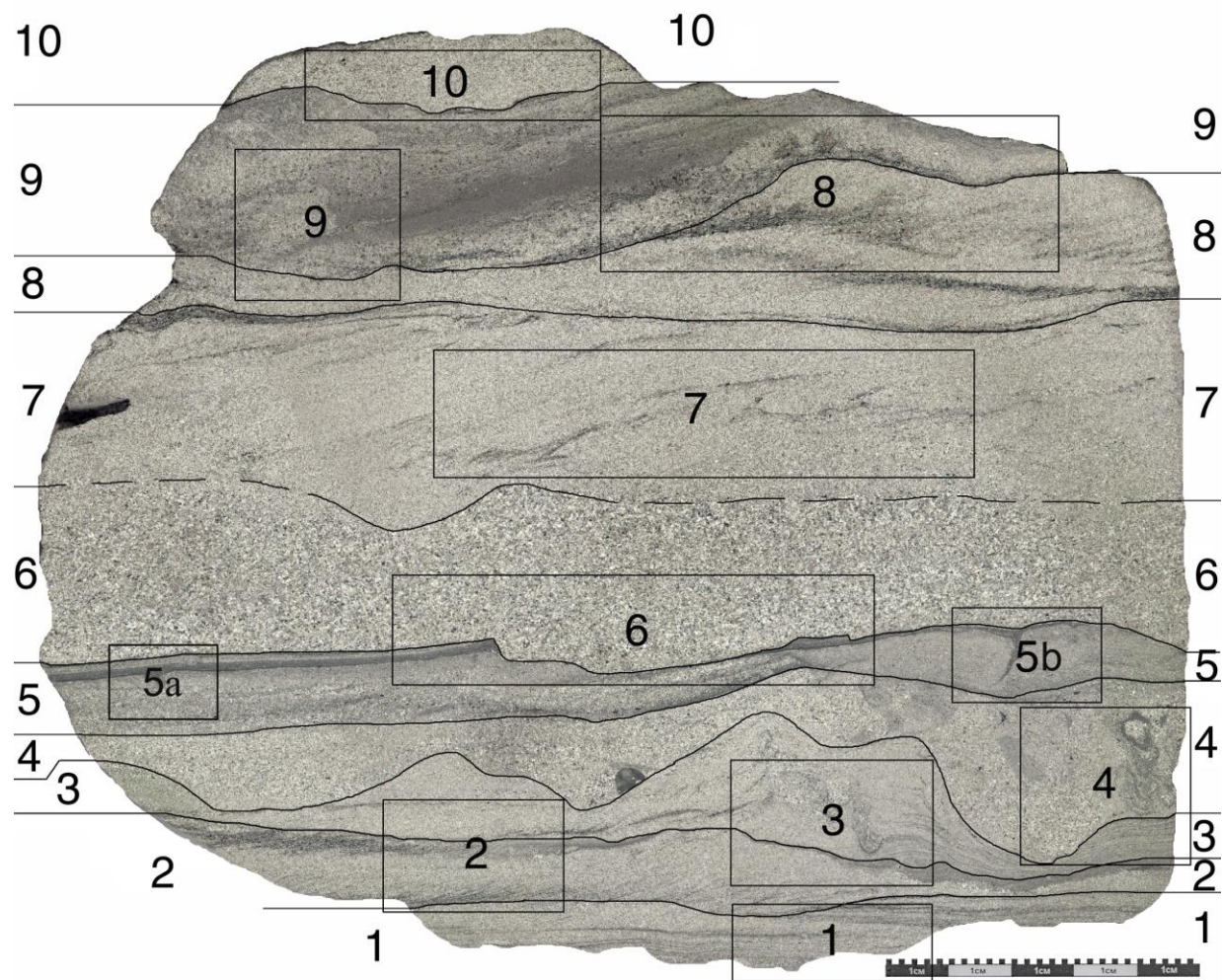
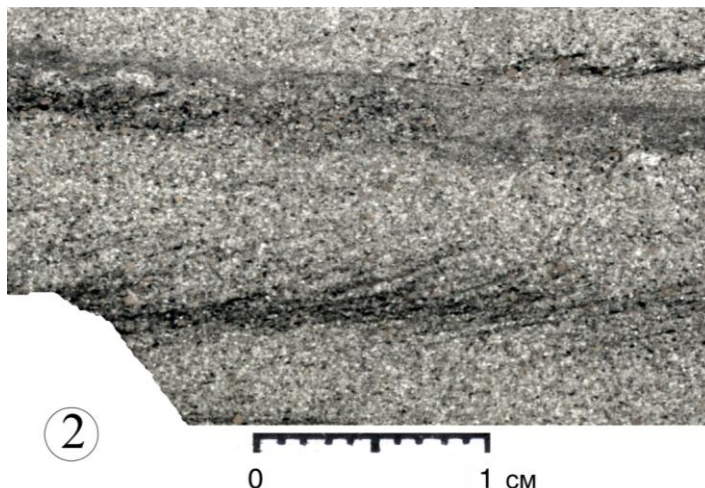


Рис. 1.5. Сканированное изображение образца из Коржинского угольного разреза.

Выделены линиями и показаны цифрами слева и справа от образца интервалы, описанные в тексте. В прямоугольниках – фрагменты, приводимые в описании соответствующих интервалов в увеличенном масштабе

граница между 1-м и 2-м интервалами трудно различима в связи с продвижением «мини-косы», перемыкающей ранее накопившиеся слойки под углом до 20° (левая верхняя часть фрагмента 1).

Интервал 2. Та же размерность материала на «рубёже» тонкозернистого песчаника и крупнозернистого алевrolита (последнего несколько меньше, чем в 1-м интервале), в основном с такой же хорошей его сортировкой на большей части образца. Три серии косоволнистой слабосрезанной слоистости с вогнутыми слойками (фрагмент 2), причем верхняя срезается следующим интервалом до полного исчезновения (верхняя часть фрагмента 2). Здесь же, в верхней части интервала, зерна кварца размером до 0,5-1 мм.



В правой части образца интервал имеет принципиально другое строение. Нижняя часть толщиной 1-3 мм завершается «присыпкой» с зернами мелко-среднезернистой песчаной размерности, которую с неровным волнистым контактом «запечатывает» мелкозернистый алевритовый материал темно-серого цвета за счет рассеянного, очень тонкодиспергированного органического материала. Примесь крупноразмерных песчаных частиц предвосхищает последующие изменения в этой части: первые инициальные проникновения некоторого бокового (относительно общей плоскости) потока. Все это хорошо видно в правой нижней части фрагмента 3.

Интервал 3. В целом представлен тонкозернистым, хорошо сортированным песчаником. В левой части образца толщина интервала изменяется от 5 до 15 мм, образуя достаточно крупную рябь с индексом 5-8 (отношение длины волны к амплитуде), что более характерно для ряби, вызванной колебаниями волн.²¹ В правой части внутри интервала фиксируется интенсивное взмучивание, которое хорошо видно на фрагменте 3. Наблюдаемый здесь *противоток* течения привел к формированию водоворотной ямки размером 3 x 3 мм, на дне которой скопился тонкий слой растительного детрита. Механизм формирования таких текстур в виде «водоворотных котлов», глубина которых может достигать 2-3 м, описан в ряде работ. Схематичное изображение этого механизма приведено на рис. 1.6.

²¹ Шрок Р. Последовательность в свитах слоистых пород / Пер. с англ. М.: Изд-во ИЛ, 1950. 564 с.

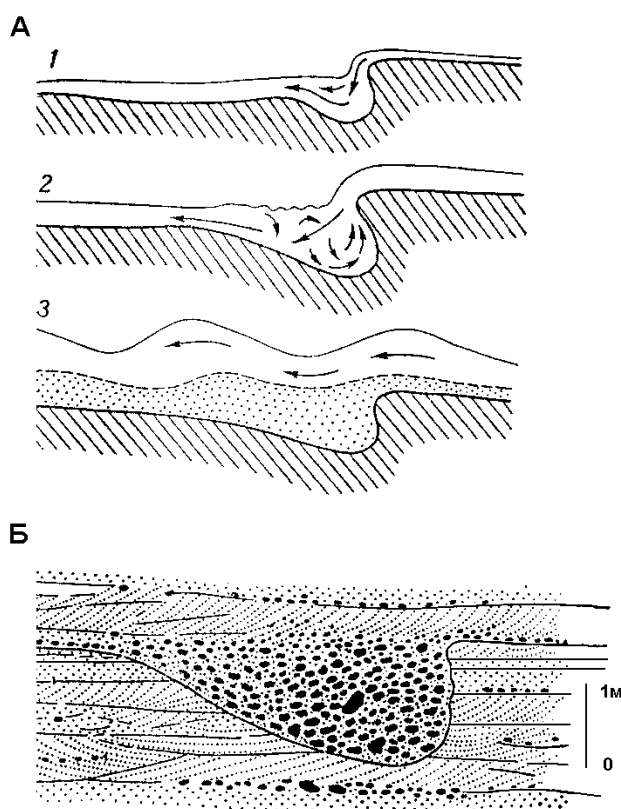
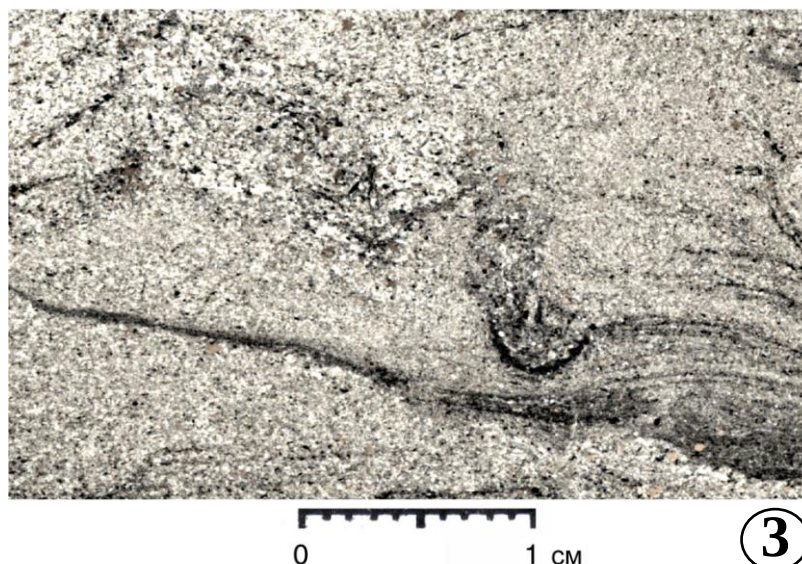


Рис. 1.6. Водоворотные котлы¹⁷:

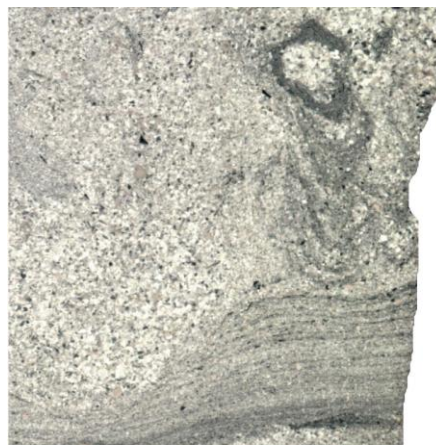
А – схема образования и заполнения водоворотного котла: 1, 2 – эрозия во время низкого уровня воды; 3 – заполнение при подъеме воды; Б – ископаемый водоворотный котел, формация Немегт (Монголия): обломки алевролитов местного происхождения обозначены черным цветом

Сингенетичность и, по сути, мгновенное заполнение водоворотной ямки подчеркивается практически отвесным характером левой стенки высотой 8 мм и ее выполнением осыпью окатышей из слипшихся песчинок, покрытых оболочкой глинисто-детритового состава.

Интервал 4. Песчаник тонко-мелкозернистый, со средней сортировкой материала. Толщина интервала в левой и центральной части образца меняется от 0,5 до 1,5 см, здесь он в нижней части *заполняет* углубления волновой ряби, что подчеркивается неотчетливой косоволнистой слоистостью, обусловленной изменением размерности частиц. В центре – обломок хорошо окатанной гальки диаметром 5 мм, захороненной на *склоне* осыпи под углом 25°. Это служит оче-

редным доказательством быстроты захоронения материала, поскольку при длительной его переработке (перемешивании) углы склонов редко достигают таких величин, а уж крупные обломки безусловно будут перемещаться в погруженные части, занимая энергетически более «выгодную» позицию.

Вся правая часть интервала представляет результат интенсивного перемешивания – *взмучивания* слабо консолидированного материала (фрагмент 4). По сути, это результат одноактного турбулентного процесса, предпосылки к которому были заложены еще при формировании 2-го и, особенно, 3-го интервалов (см. выше). В данном случае текстура конволютного облика обеспечена боковым (по отношению к плоскости образца) привносом и перемешиванием материала. В верхнем правом углу фрагмента 4 «обмазанный» глинисто-растительным материалом комок песчаника полуокатанной формы размером 4 x 6 мм.



④

0 1 cm

Верхний контакт интервала довольно ровный, с отчетливой, слегка асимметричной рябью течения. Длина волны в среднем 6 см, высота 5 мм, индекс 12.

Интервал 5 невелик по толщине: без учета последующего размыва, она составляет 10-12 мм. Характер интервала существенно меняется по латерали; можно выделить три примерно одинаковые по ширине «зоны».

В левой части образца материал направленно изменяется: снизу вверх – от тонко-мелкозернистого песчаника с тонкой косоволнистой слоистостью, до мелкозернистого алевролита с большим количеством органики и почти горизонтальной слоистостью. Отчетливо видна ямка (борозда?), с заполнением ее тонким материалом под гребнем песчаной насыпи (волны) справа



5a

0 1 cm

от ямки (фрагмент 5 а). Здесь контакт с последующим интервалом четкий и имеет аккумулятивный характер. Это подчеркивается весьма тонкой серией слойков крупноалевритового материала со стабильной общей толщиной 1,5-2 мм.

В центральной части образца имеет место неполная (из-за последующего размыва) серия. Она фактически состоит из двух довольно толстых слойков, каждый толщиной 2-3 мм. Последняя несколько увеличивается к центру «прогибания», определяя линзовидноволнистую слоистость. Материал по размерности ближе к мелкозернистому песчанику.

В правой части образца, резко отделенной гребнем волны, размерность частиц соответствует крупнозернистому алевролиту.



5b

0 1 см

Примесь песчаных частиц (фрагмент 5b) определяет среднюю (частично до плохой) сортировку материала.

Текстура переработанная, неясно-слоистая. На фрагменте 5b четкий корневой остаток. Здесь верхняя часть интервала слабо эродирована, что отчетливо фиксируется «останцом» тонкой алевроитовой серии. Последняя описана выше, для левой части образца (см. фрагмент 5a), сам «останец» хорошо виден в правой части фрагмента 6. Размыв особенно четко проявлен на крайнем правом обрезе образца, где его глубина достигает 5 мм.

Интервал 6 представлен по сути одним толстым 1,5 – 2,5-сантиметровым слоем. Это подчеркивает трудность однозначной систематики слоевых единиц по размеру, что показано на рис. 1.3. Слой сложен довольно хорошо сортированным мелкозернистым песчаником со слегка намечающейся косослоистой текстурой, при перемещении материала справа налево. Нижний контакт, в основном охарактеризованный ранее, при описании 5-го интервала, в целом слабоэрозионный. Глубина размыва в центральной части образца составляет 7-8 мм (фрагмент 6), где фиксируется корытообразный врез с отчетливым левым уступом высотой 3 мм.



0 1 см

6

Верхний контакт 6-го интервала в целом нерезкий, различной отчетливости. Ложбина и соответствующий гребень левой части образца определяют рябь волнения со средним индексом 5-8, что идентично границе между 3-м и 4-м интервалами (см. выше).

Интервал 7, при средней толщине около 3 см, характеризуется хорошей выдержанностью. Он сложен «классическим» тонкозернистым песчаником (см. табл. 1.1) с хорошей сортировкой материала. Слоистость косоволнистая, слабосрезанная, с тонким S-образными слоями. Направление течения – справа налево, индекс очень тонкой ряби течения 10-12. Насчитывается до 5 серий слоев, разделенных серийными швами различной четкости. Последние обычно имеют прерывистый характер, что хорошо видно на фрагменте 7.

На левом срезе образца – след от выщербленного обломка древесины. Верхний контакт – волнистая граница групп серий, с индексом ряби 12-15, к этой границе приурочены тонкие слойки с «присыпкой» измельченной органики.



0 1 см

7

В левой части ею частично заполнена ямка шириной 1 см и глубиной 3 мм. В целом для границы 7-го и 8-го интервалов характерен явный перерыв с длительностью, соответствующей «ненакоплению» тех серий слойков (не менее трех), которые последовательно срезаются на всем протяжении контакта в плоскости образца (справа налево). Это яркое проявление «подб्रивания голов» ранее образовавшихся серий слойков (по Ю. А. Жемчужникову), о котором шла речь в 3-й интерлюдии к этюду.

Интервал 8 по основным параметрам очень схож с предыдущим, отличаясь от него лишь значительно более активной волновой динамикой среды. Нижняя часть прослеживается по всему образцу и имеет косоволнистую слоистость разной отчетливости. Верхняя же серия с сильным срезом серийного шва (фрагмент 8) отвечает четкому вогнутому ее типу (фактически мульдообразному). Для следа крупной волны ряби, охватывающего фрагмент 8, его индекс составляет 10 (4 см: 4 мм).



0 1 см

8

Верхняя серия слойков 8-го интервала представлена только в правой части образца, с хорошим куполовидным гребнем – намывным валом высотой до 1 см. В центральной и левой частях она размыта, с глубиной эрозии более 2 см. Связь нижней части вала с предыдущим, 7-м, интервалом хорошо видна в левой части фрагмента. Таким образом, можно проинтерпретировать всю верхнюю серию слойков интервала 8 с позиций ее намывного, «вклинивающегося» генезиса.

Интервал 9 представлен сложным соотношением (переслаиванием) крупно-алевритового и тонкозернистого песчаного материала в пропорции $\approx 1:3$, с общей плохой сортировкой. Большая часть интервала характеризуется интенсивными взмучиваниями, что хорошо видно в верхней части фрагмента 9. Внутри-

слоевые перемычки затушевывают первичную полого(линзовидно?)волнистую слоистость, характерную для центральной части образца, с более тонким алевритовым составом.



0 1 см

9

Особенно интенсивный (сингенетичный) перемычка характерен для нижней части интервала в центральной и правой частях образца (фрагмент 9). По сути он весьма близок к перемычке, описанному для интервала 4 (см. фрагмент 4), отличаясь от него более четко выраженным внутрислоевым, латеральным перемещением материала.

Интервал 10 представлен нижней частью самостоятельного слоя или серии слоев тонкозернистого песчаного материала, сортировка материала довольно хорошая.



0 1 см

10

Фрагмент 10 иллюстрирует локальную неглубокую эрозию, зафиксированную «останцами» тонкого алевритового материала, обогащенного растительным детритом. В левой части образца хорошо видно, как довольно крупные песчинки проникают в нижний слой под действием силы тяжести.

Этапы жизненного пути

Как следует из последовательного описания *жизни* образца, она протекала в достаточно меняющемся режиме: периоды относительного покоя и стабильности сменялись фазами активизации, и наоборот. Руководствуясь определяющим принципом Н. Стенона (1669): «При ненарушенном залегании каждый нижележащий слой древнее покрывающего слоя», попробуем выделить этапы в жизни описываемого образца. В соответствии со «стрелой времени», они показаны на рис. 1.7.

На рис. 1.7 приведено нестрогое разделение режимов осадконакопления по отношению к *системе* параметров (размерность материала, его сортировка, текстура, характер контактов между интервалами). Отнесение каждого интервала к тому или иному режиму следует из описания, которое выполнено в преды-

дущем разделе. Здесь же остановимся на общих выводах, базирующихся на *сравнении* полученных результатов.

Прежде всего, отдельные интервалы, разнящиеся по времени седиментации, удивительно сходны между собой – иногда вплоть до отдельных деталей. К ним относятся (см. рис. 1.7):

(1+2+3) $\cong$ (7+8): вплоть до верхних намывных валов и их последующей слабой эрозии;

(4+5) $\cong$ 9: особенно в нижней своей части, с интенсивным взмучиванием и перемешиванием материала;

6 $\cong$ 10, с отчетливым нижним эрозионным контактом.

В более крупном масштабе можно судить о формировании образца в *три* этапа (см. рис. 1.7), при неполном строении нижнего (I) и верхнего (III). Начало накопления II и III этапов фиксируется наложенными (по отношению к системе седиментации) потоковыми процессами *инициального* характера, что и показано на рис. 1.7.

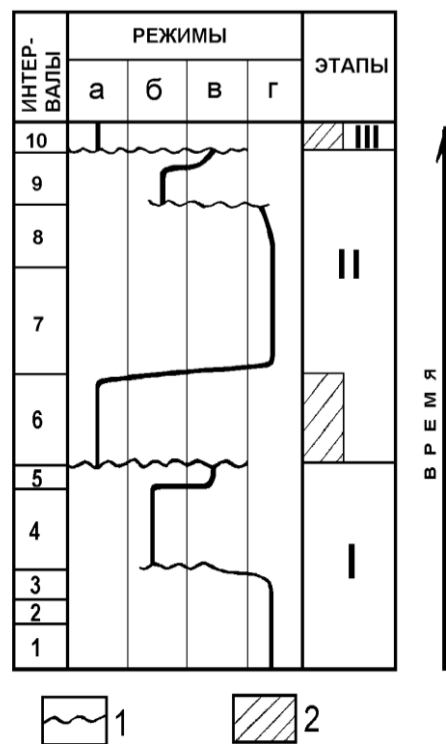
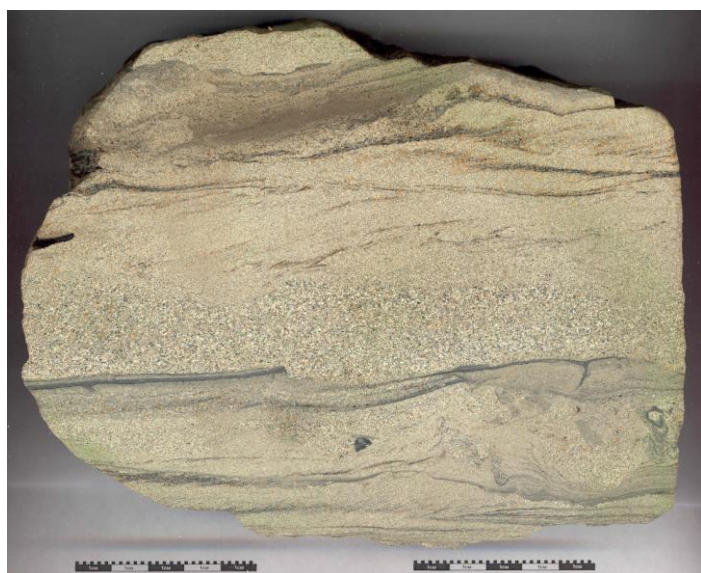


Рис. 1.7. Последовательность и этапность формирования отложений по выделенным интервалам:

1 – эрозия; 2 – наложенные процессы.

Режимы: а - потоковый (наложенный); б - неустойчивый, со взмучиваниями и перемычками; в – стабильный, стремящийся к самоизоляции; г – стабильный, аккумулятивный

Продолжая условное приближение к жизненной коллизии образца, можно говорить о том, что I этап (см. рис. 1.7) отражает его детство и юность. II этапу соответствует активная молодость (интервал 6) и зрелые годы (интервалы 7-8). Наконец, после не очень спокойной старости (интервал 9) образец вошел в III этап жизни. Но что его там ждало? Поскольку материал, имеющийся в нашем распоряжении, ограничен верхней кромкой, жизнеописание образца на данном обрезе заканчивается.

Семья, родственники и соседи

В начале этюда мы специально остановились на том, что рассмотрение образца из Коркинского угольного разреза (в дальнейшем, для упрощения – *коркинского* образца) как самостоятельного объекта, со своей «жизнью», ограничено его физическими границами (плоскостью пришлифовки). Как отмечалось, взят, в общем-то, случайный кусок породы, который обработан и изучен визуально, с выполнением нетривиального «жизнеописания». Продолжая такой же нетривиальный подход в духе *фэнтези*, попробуем определить место коркинского образца в системе седиментологических координат с осями «время» и «латераль».

С этой целью на развернутом рис. 1.8, по сути представляющем диаграмму в двух указанных выше координатах, показано *окружение* образца. Продолжая пользоваться общежитейскими понятиями, это его близкие *родственники* или семья (образцы 1-6 в левой части), а также близкие (образцы 7-10) и дальние (образцы 11-14) *соседи* (правая часть рис. 1.8). Все изображенные образцы отобраны из угленосных толщ среднеюрского возраста разных регионов, преимущественно – восточного склона Урала и Западной Сибири. Исходя из общего принципа рассуждений, их конкретная привязка нами не приводится, поскольку она не имеет какого-либо сущностного значения.

Итак, образцы 1-6, изображения которых приведены в левой части рис. 1.8, мы рассматриваем через генеалогическую призму близких родственников или как *семью* коркинского образца, относящуюся к мелководно-озерным* отложениям. При этом в качестве его «родителей» выступают образцы 1 и 2.

Образец 1 (см. рис. 1.8) представлен мелкозернистым алевритом, в средней своей части – с 1,5-сантиметровым прослоем крупноалевритового материала. Сортировка частиц в целом хорошая. Слоистость пологолинзовидноволнистая, в центральной части со слабыми послойными взмучиваниями. В коркинском образце «реликты» данного типа осадков имеют место в 5-м и 9-м интервалах, что следует из их описания, выполненного ранее.

Образец 2 (см. рис. 1.8) в целом более однороден и сложен более крупным по размерности (относительно первого образца) мелко-крупнозернистым алевритовым материалом, со средней его сортировкой. Слоистость тонкая пологолинзовидноволнистая, с толщиной слойков от долей миллиметров до 2-3 мм. По всему образцу слабые, а в нижней части – интенсивные послойные взмучивания. В самой верхней части – серийный шов с отчетливой рябью волнения (индекс 10-12). «Наследственность» признаков, характеризующих этот образец, также имеет место в 5-м и, особенно, в 9-м интервалах коркинского образца. Она присуща также и правой части интервала 3.

Преемственность ряда признаков, характерных для *основной* части коркинского образца (режим «главной» седиментации на рис. 1.7), хорошо прослеживается в облике его прямых *потомков*: образцы 3 и 4 на рис. 1.8.

Образец 3 представлен тонкозернистым песчаником, характеризующимся хорошей сортировкой материала. Скоплениями тонкого детрита подчеркнута мелкая косоволнистая слоистость, с тонкими слойками толщиной 0,5-1 мм. В

* Почему именно *озерным*, станет ясно в 3-м этюде, где мы специально рассмотрим вопросы генезиса отложений.

образце хорошо видны 4 довольно крупные серии по 1,5-3 см; нижняя имеет сложное внутреннее строение. Слоистость разнонаправленная, со значительным индексом ряби (более 12) для серийных швов. Данный образец в целом имеет хорошую аналогию с интервалами 3, 4 (левая часть) и особенно 7, выделенным в коркинском образце.

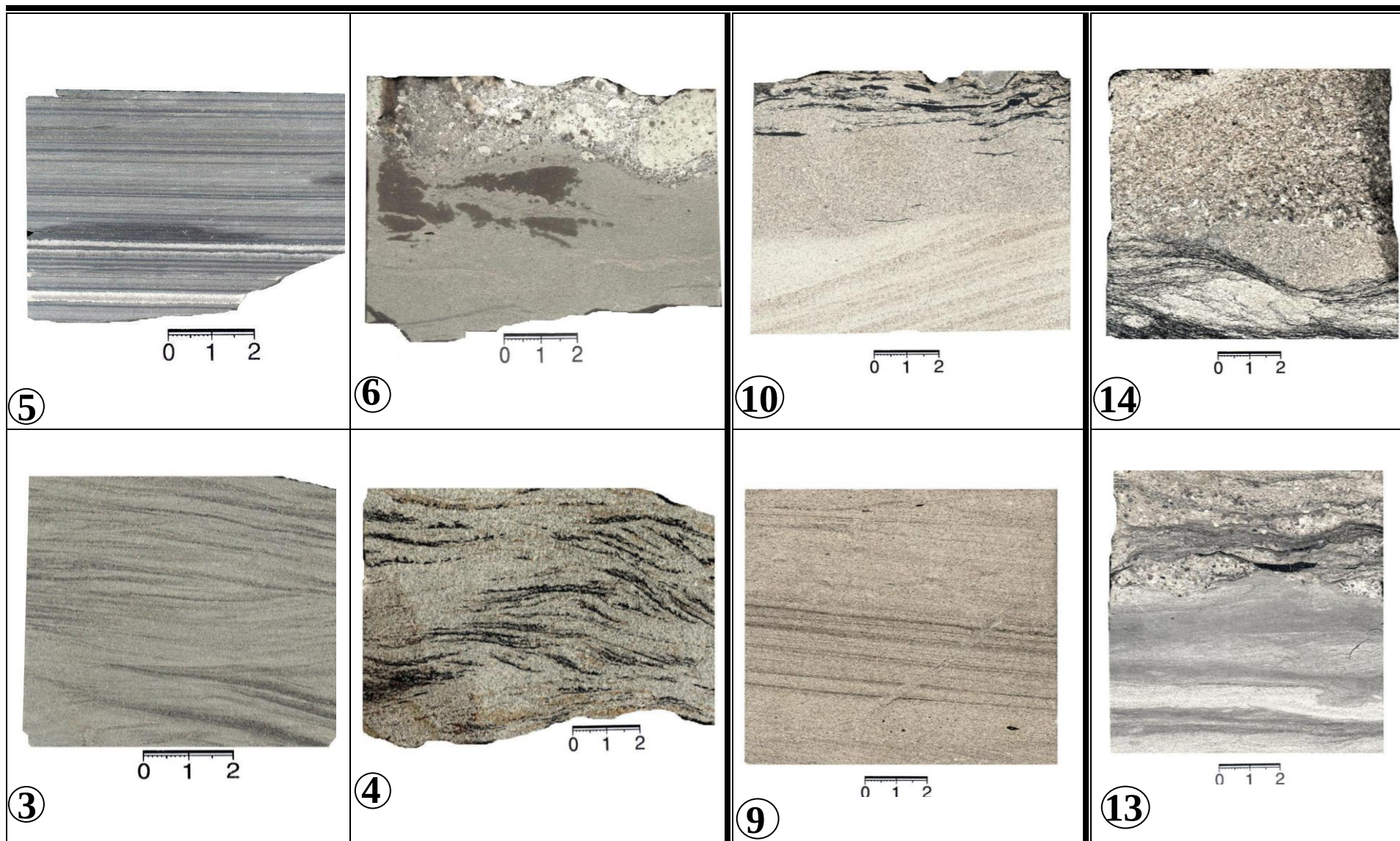
Образец 4 сложен тонкозернистым песчаным материалом, при значительном участии мелкозернистой фракции. Сортированность от хорошей до средней. Слоистость мелкая косоволнистая, сильно срезанная: мультислойная. Течение однонаправленное (слева направо); некоторые серийные швы имеют угол до 15-20 ° к ранее накопившимся слоям («подбравание голов» по Ю. А. Жемчужникову: см. выше). Это полный аналог 7-го и особенно 8-го интервалов коркинского образца; отличие заключается в большей размерности материала для рассматриваемого обр. 4.

Более отдаленными потомками – «наследниками» коркинского образца являются образцы 5 и 6, изображения которых приведены в верхней левой части рис. 1.8. Естественно, что прямые черты их «прародителя» в данных образцах прослеживаются с трудом или утрачены полностью, поэтому (как указано в предыдущей сноске) полная ясность излагаемого материала будет получена при чтении 3-го этюда.

Образец 5 соответствует типичным ленточным глинам спокойного (чаще глубокого) озера. Это почти аргиллит с горизонтальной слоистостью, при толщине слоев от долей до 1-1,5 миллиметров. Слои четко выделяются по окраске: темная обусловлена незначительной примесью тонкораспыленной органики. В принципе, к такому положению могли бы приблизиться верхние части интервалов 5 и 9 коркинского образца, если бы они не были нарушены энергией наследующих их интервалов.

Образец 6 в своей нижней части представлен тонкозернистым хорошо сортированным песчаником (неровные темно-коричневые пятна – следы битумов). Прослеживается нечеткая косоволнистая слоистость, обусловленная присыпкой тонкой органики. По рис. 1.8 в целом намечается своего рода «цепочка» по улучшению сортировки и общей стабилизации гидродинамических условий седиментации: интервал 7 коркинского образца → обр. 4. → обр. 6. Однако для последнего, 6-го, образца такая максимальная стабилизация в его нижней части нарушена резким налеганием грубого разнородного материала в верхней. Здесь в матриксе, имеющем преимущественно песчаную размерность, «плавают» разновеликие зерна и обломки преимущественно эффузивного состава и окатанной (от 2 до 4 баллов по шкале А. В. Хабакова) формы. Контакт слоев по сути аккумулятивный, с заполнением сформированной волноприбойной ряби (индекс около 5), что хорошо подчеркивается положением крупной гальки размером 1,5 см (верхняя правая часть образца). Естественно, в коркинском образце аналогов этой части обр. 6 нет. Но это *то, что могло его ожидать* при внешних нарушениях условий седиментации.

Линия образцов 7-10 (см. рис. 1.8) характеризует близких соседей коркинского образца. Это отложения, имеющие в значительной степени переходный генезис между мелководно-озерными (собственно коркинский образец) и пойменными осадками. Поэтому прямых аналогов в нашем основном образце они не имеют.



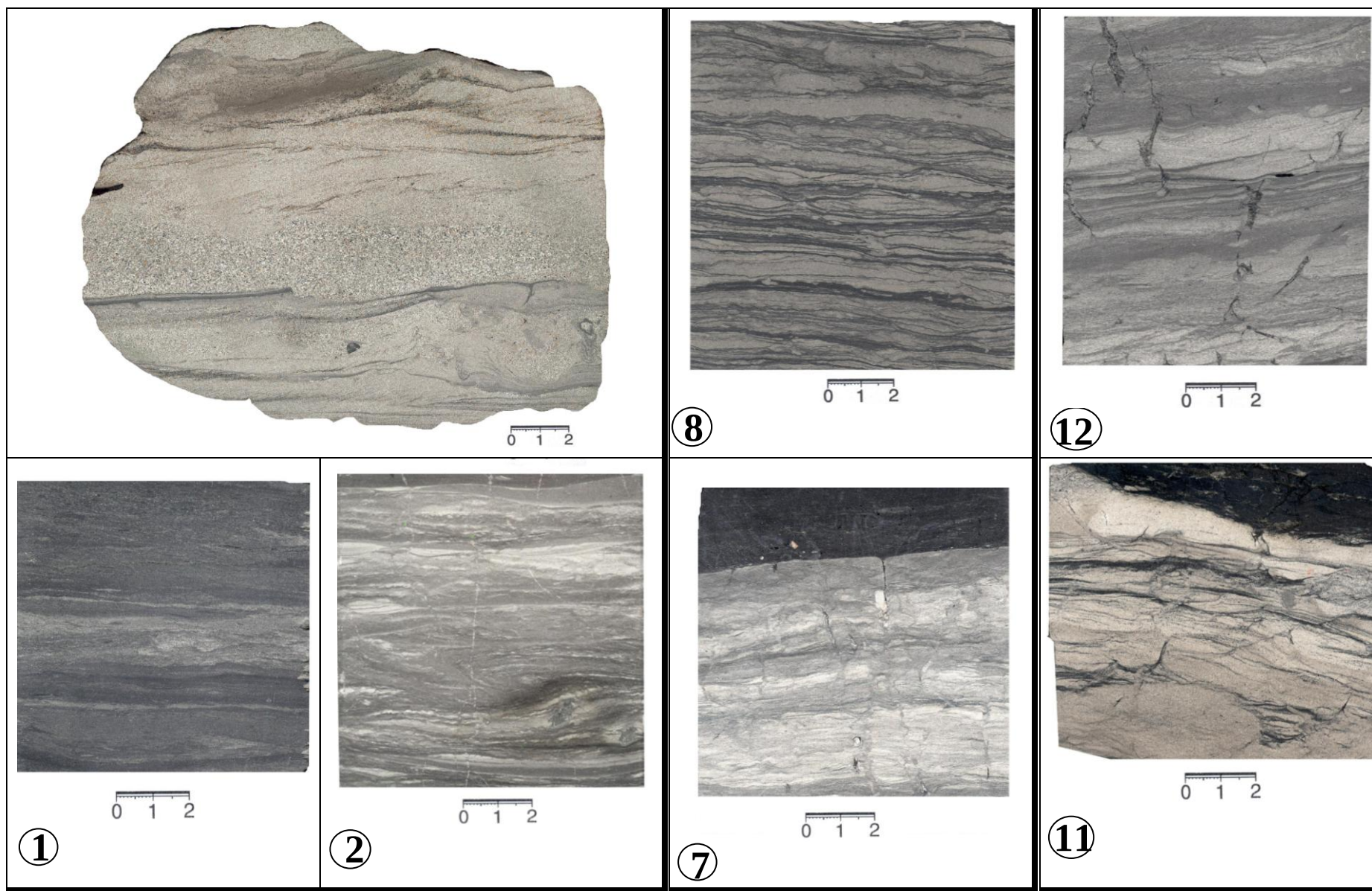


Рис. 1.8. Ближнее и дальнее окружение коркинского образца: своего рода «генеалогическое древо» (описание в тексте).
Масштабные линейки – в сантиметрах

Их краткое описание сводится к следующему. *Образец 7* в нижней части представлен мелко-крупнозернистым алевритом и в целом схож с образцом 2. Отличия заключаются в худшей сортировке материала; одновременно с этим наблюдаются остатки корневой системы. Верхняя часть образца – уголь с ровной почвой и признаками внутриболотной аллохтонии (песчинки и зерна размером до 1-1,5 мм). *Образец 8* по размерности частиц «на грани» крупнозернистого алевролита и тонкозернистого песчаника (см. интервалы 1, 2 коркинского образца). Отличается той же, что и для образца 7, худшей сортировкой и интенсивными послойными взмучиваниями первичной пологолинзовидной слоистости (по сравнению с коркинским образцом). Обстановка в целом характеризует активно-течениевую зону. *Образец 9* представлен тонкозернистым хорошо сортированным песчаником с мелкой *косой* слоистостью. В коркинском образце аналогичных отложений нет; это конусы выноса мелких водотоков в озерные водоемы). Те же признаки характерны для нижней части *образца 10*, верхняя часть которого содержит значительную часть полуокатанных, уплощенных линзочек алевролита. Здесь же – окатанная галька эффузивного состава диаметром 1 см, что «роднит» данный интервал с верхней частью образца 6.

Наконец, линия образцов 11-14 характеризует дальних соседей коркинского образца. Можно говорить об их «дружелюбном» облике (верхняя часть образца 11), выраженном в виде малозольного угля, автохтонно залегающем на пойменном довольно плохо сортированном тонкозернистом песчанике (нижняя часть). В то же время резко проявляются и агрессивные соседи (верхние части образцов 13 и 14), представленные плохосортированными разномзернистыми песчаниками. Они с локальной эрозией залегают на алевролитах поймы (обр. 12 – со сплошной корневой системой; обр. 13 с полосовидной толстой пологоволнистой слоистостью; обр. 14 – с послойными нитевидными растительными остатками). В принципе эти нижние контакты как бы в миниатюре и существенно «ослабленном» режиме соответствуют также нижним контактам 6-го и 10-го интервалов в коркинском образце.

Переходя к завершению данного лирико-эпического фрагмента этюда, еще раз укажем, что к выполненному описанию мы вернемся в 3-м этюде, где многое более прочно встанет на свои места и, надеемся, будет более понятным. Пока же отметим, что наш фантазийный полет мог бы продолжить и еще более смелые размышления о дальних агрессорах по отношению к коркинскому образцу. К примеру, это аридные условия осадконакопления и вулканогенно-осадочные образования, генетическое сонахождение с которыми для него является невозможным.

Этюд 2. СКОРОСТИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ВРЕМЯ ПЕРЕРЫВОВ

Скорость является одной из важнейших характеристик любого *процесса*, в том числе и геологического. Вопросам, связанным с изучением скорости *седиментации* и сопутствующим проблемам, посвящено огромное количество работ (библиография лишь обширных статей и специальных монографий насчитывает несколько сотен наименований). Поэтому укажем только на обобщающую сводку, имеющую и характер справочника, чешского геолога Зд. Кукала²²; концептуальные работы С. И. Романовского^{23, 24} и специальную статью В. Н. Холодова.²⁵ Именно на эти работы, снабженные обширным справочным аппаратом, мы и будем в основном опираться при изложении материала в данном этюде.

Скорость осадконакопления для геологических процессов измеряют в самых разных единицах: мм/год; см/1000 лет; м/млн лет и т. д. В предлагаемом этюде мы стремились использовать только *одну* единицу. Это 1 бубнов (Б), определяемый как отложение 1 мм осадка за тысячу лет, или 1 м за 1 миллион лет. Она предложена А. Фишером (Fisher, 1969) в честь известного немецкого геолога С. фон Бубнова. Широкое признание (по меньшей мере, в отечественной литологии) данная единица измерения во многом получила благодаря работам А. П. Лисицына по уровням и скоростям лавинной седиментации (границная скорость последней принята в 100 Б).

Перед изложением конкретных сведений приведем три интерлюдии, имеющие основной целью введение в суть рассматриваемого вопроса.

Интерлюдия 1. Различия в скоростях современного и древнего осадконакопления

Для современного осадконакопления скорости отложения осадков вычислены довольно точно. В целом диапазон их колебаний, естественно, весьма велик и преимущественно зависит от ландшафтной обстановки. На рис 2.1 приведены сводные данные по скоростям седиментации в разных обстановках континентов (в океанах она значительно меньше и составляет в основном 1-100 Б).

Как следует из приведенных данных, для современного осадконакопления на континентальном блоке наиболее характерны скорости в диапазоне $10^2 - 10^4$ Б. Приведем только один из многочисленных примеров: Д. А. Туголесов и Л. Б. Мейснер²⁶ на обширном материале определили скорости осадконакопления для Черноморской впадины в антропогене от 0,8 до 1,4 (дельта Дуная) мм/год, что составляет 800-1400 Б.

Скорости же древнего осадконакопления, которые обычно рассчитываются делением мощностей осадочных толщ на *геологическое* время их образования, изменяются чаще всего в диапазоне 5 – 50 Б. Скорости более 100 Б характеризуют

²² Кукал З. Скорость геологических процессов / Пер. с чешск. М.: Мир, 1987. 246 с.

²³ Романовский С. И. Седиментологические основы литологии. Л.: Недра, 1977. 408 с.

²⁴ Романовский С. И. Физическая седиментология. Л.: Недра, 1988. 240 с.

²⁵ Холодов В. Н. Кривая Л. И. Салопа-Дж. Гиллули – реальность или артефакт? // Литология и полезные ископаемые, 1994. № 2. С. 49-65.

²⁶ Туголесов Д. А., Мейснер Л. Б. Оценка скоростей осадконакопления и тектонического прогибания на примере Черноморской впадины // Геотектоника. 2002. № 4. С. 81-88.

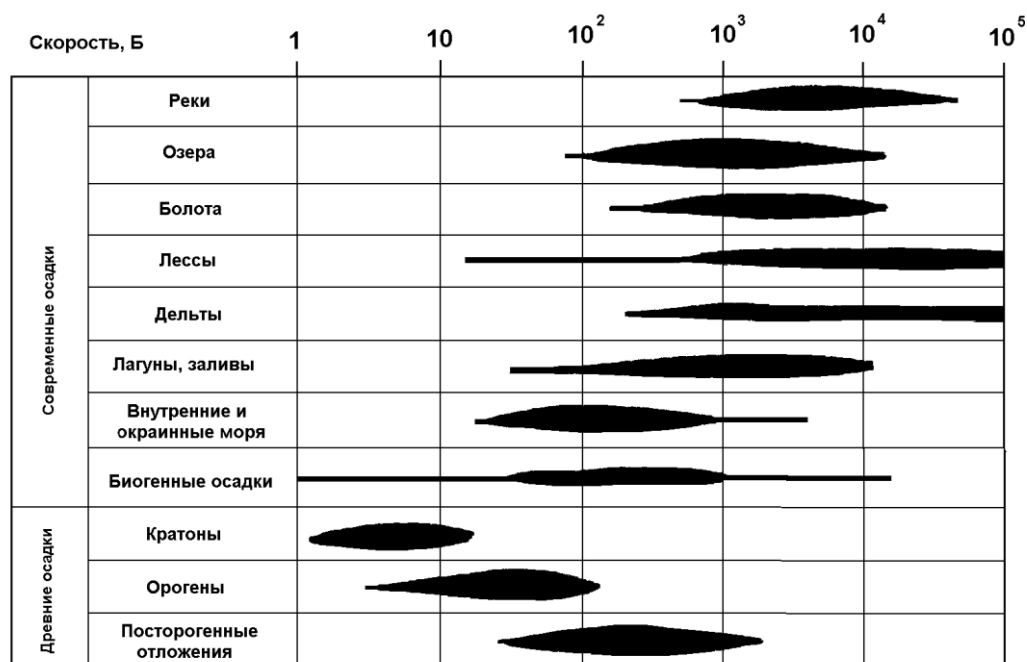


Рис. 2.1. Скорости седиментации в разных внутриконтинентальных обстановках (по Кукалу²²). Вертикальный масштаб отображает наиболее характерные значения скорости

уже сверхбыструю, *лавинную* (по А. П. Лисицыну) седиментацию (см. выше). Они присущи только ограниченным площадям, с особым механизмом осадконакопления. Таким образом, различие в скоростях современного и древнего осадконакопления составляет примерно два *порядка* ($n \cdot 10^2$, где n чаще имеет значения от 0,5 до 2).

Интерлюдия 2. Изменения скоростей осадконакопления в фанерозое

Объем сформировавшихся в разные эпохи отложений, выраженный в их средних мощностях, уменьшается от более молодых к более древним образованиям в грубом соответствии с экспоненциальным законом (Дж. Гиллули²⁷, Л. И. Салоп²⁸ и др.). Причина этого факта многими исследователями видится в закономерном и направленном увеличении скорости осадконакопления в течение геологического времени.

Другая точка зрения заключается в признании постоянства скорости осадконакопления, по меньшей мере – в фанерозое. В качестве причин несомненного сокращения мощности осадочных толщ по мере увеличения их возраста В. Н. Холодов²⁵ рассматривает увеличение их плотности, потерю ряда реакционно-способных элементов (в первую очередь H_2O), а также перераспределение вещества в стратифере («песчаный диапиризм», соляная тектоника и пр.). Соглашаясь с этим, мы в то же время придерживаемся следующей, главной позиции. *Ве-*

²⁷ Gilluly J. Distribution of mountain building in geologic time // Bull. Geol. Soc. Amer. 1949. V. 60. № 4. P. 561-589.

²⁸ Салоп Л. И. Геохронология докембрия и некоторые особенности раннего этапа геологического развития Земли // Тр. Межд. геол. конгр. XXII сес. Докл. сов. геологов. Геология докембрия. 1964. С. 40-86.

дущая причина увеличения объема осадочных пород с омоложением возраста заключается в том, что *осадочные породы более древних эпох сами подвергались эрозии и последующей переработке, вплоть до гранитизации.*

Именно эта позиция (рециклинг) находит убедительное подтверждение *моделированием* осадочных процессов в истории Земли.^{29,30} На рис. 2.2 приведен один из вариантов линейного накопления массы осадков. Результирующая кривая построена исходя из условия, что объем отлагавшихся осадков в 5 раз превышал объем сохранившихся (закрепленных в геологической летописи) пород. Наиболее вероятным полупериодом разрушения осадочных пород предполагается значение 600-650 млн лет, что удивительно совпадает с длительностью цикла Вилсона (также 650 млн лет). Всего, тем самым, в истории Земли отмечено 5 крупных циклов чередования отложения и эрозии осадков.

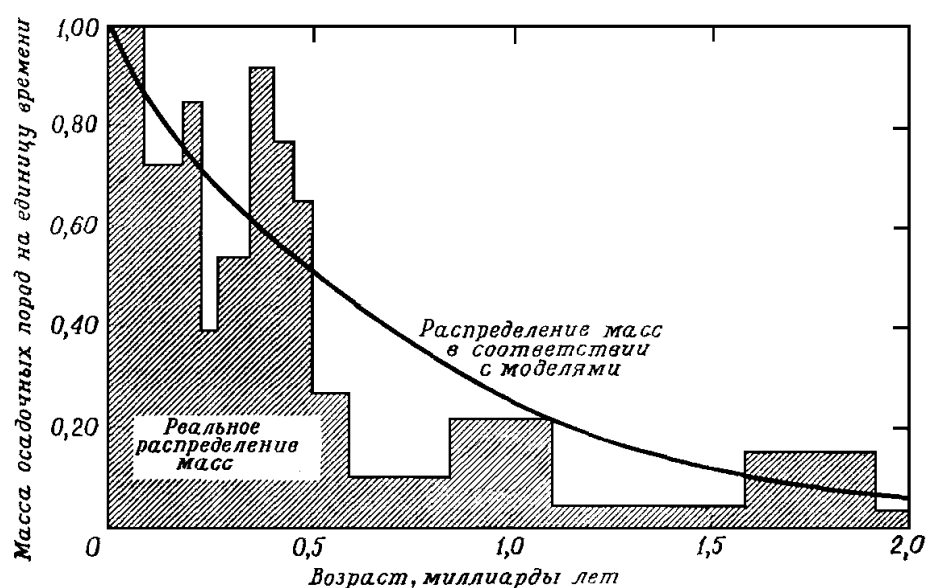


Рис. 2.2. Сопоставление оценки реального распределения массы осадочных пород с распределением, вытекающим из модели линейного накопления.²⁹

Отношение общей массы отлагавшихся пород и сохранившейся до наших дней принято равным 1 : 5.

Дополнительно укажем, что первично осадочными отложениями сложено более 50 % двух верхних оболочек континентальной коры, в т. ч. ~ 43 % массы гранито-метаморфической оболочки.³¹ Такое представление еще больше заставляет нас солидаризоваться с мнением С. И. Романовского²³ о том, что «... для уверенного заключения о прогрессивном росте скоростей осадконакопления в течение фанерозойского этапа развития Земли *нет оснований*» (с. 296; курсив наш. – В. А.).

²⁹ Гаррелс Р., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород / Пер. с англ. М.: Мир, 1974. 272 с.

³⁰ Харбух Дж., Бонэм-Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии / Пер. с англ. М.: Мир, 1974. 246 с.

³¹ Вертикальная аккреция земной коры: факторы и механизмы / Отв. ред. М. Г. Леонов. М.: Наука, 2002. 461 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 542).

Интерлюдия 3. Диастемы, гиатусы и их уровни

Различия в скоростях накопления осадков и их закреплении в геологической летописи (эту характеристику предложено называть темпом осадочного породообразования или ТОП³²) естественным образом приводят к признанию наличия и высокой значимости *перерывов* в осадконакоплении. Классическая схема осадконакопления, объясняющая обилие скрытых перерывов или *диастем* (гр. diastems), дана Дж. Барреллом.³³ Как видно из рис. 2.3, в ходе, казалось бы, непрерывной седиментации происходит *выпадение* из разреза значительного количества первоначально накапливавшихся осадков. Это происходит вследствие их постоянного перераспределения и перемещения к центру приемного водоема.

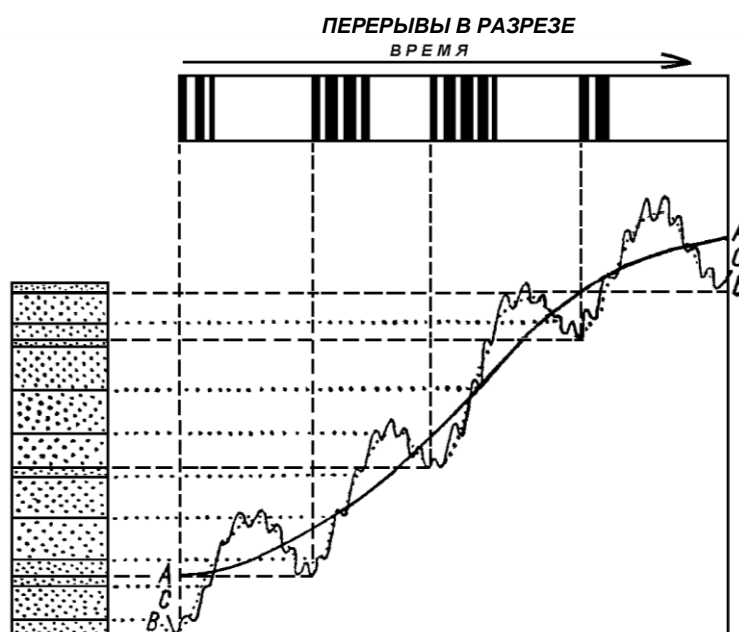


Рис. 2.3. Схема, показывающая отражение в разрезе колебаний уровня накопления (слева) и относительной продолжительности времени накопления и перерывов (вверху) (по Дж. Барреллу³³):

С-С – осцилляционная кривая колебательных движений; В-В – результирующая кривая; А-А – профиль равновесия

Собственно, впервые мысль о том, что бо́льшая часть геологического времени приходится на перерывы, сформулировал еще Ч. Дарвин в специальной главе «Происхождения видов». В стратиграфии он получил название принципа «неполноты стратиграфической и палеонтологической летописи».³⁴ На принципиальное значение перерывов при рассмотрении истории геологического развития любого региона, в частности, указано Д. В. Наливкиным в статье сборника «Этюды по

³² Тимофеев П. П., Холодов В. Н. Эволюция бассейнов седиментации в истории Земли // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1984. № 7. С. 10-34.

³³ Barrell J. Rhythms and measurements of geologic time // Bull. Soc. Geol. Amer., 1917. Vol. 28, pp. 745-904.

³⁴ Степанов Д. Л., Месежников М. С. Общая стратиграфия (Принципы и методы стратиграфических исследований). Л.: Недра, 1979. 423 с.

стратиграфии», на который мы ссылались во введении. С общих позиций явления перерывов в разрезе, включая выпадающие из стратиграфической последовательности интервалы - *гиатусы* (лат. *hiatus*) - рассмотрены К. Данбаром и Дж. Роджерсом.³⁵ Большое внимание в специальной монографии им уделил В. С. Яблоков.³⁶ В крайнем случае инъективного седиментогенеза, как показал С. И. Романовский, все это может привести к такому «седиментологическому парадоксу», когда «...вся свита, сложенная турбидитами, образовалась в течение перерыва в осадконакоплении»^(24, с. 24), поскольку время «чистой» седиментации составляет ничтожные доли процента от общего, «стратиграфического» времени ее образования. К такому же выводу пришли Л. Н. Кулямин и Л. С. Смирнов,³⁷ определившие время непосредственного формирования песчаных отложений саблинской свиты (кембрий Северо-Запада России) в 100 суток, при общей длительности соответствующего ей хронологического периода в десятки миллионов лет.

В то же время, во многих осадочных толщах внутриконтинентального и прибрежно-морского генезиса (их ярким примером являются угленосные толщи) наблюдаются разрезy значительной мощности *без* сколько-нибудь достоверно установленных перерывов «стратиграфического» характера.

В этом случае причины, приводящие к несоответствию скоростей накопления осадков, выраженных в мощности наблюдаемых толщ, которая соотнесена с продолжительностью соответствующих стратиграфических подразделений, следует, по нашему мнению, искать в самом механизме осадконакопления. Для анализа ситуации приведем некоторые схемы, выдержавшие «проверку временем» и имеющие отчетливо *модельный* характер (рис. 2.4).

Завершив интерлюдии, перейдем к изложению результатов исследований. В соответствии с принятой схемой (см. рис. 1.2), выполним изложение по трем последовательно «вкладываемымся» друг в друга уровням, соответствующим грануло-, страто- и циклоседиментогенезу.

Гранулоседиментогенез

Рассмотрение данного уровня выполним на примере конкретного образца, отобранного из того же Коркинского угольного разреза. Как видно из его сканированного изображения (рис. 2.5), в образце в реальной «миниатюре» отображены все те механизмы (модели), которые представлены на рис. 2.4.

Подсчеты конкретного времени и скорости осадконакопления выполнены следующим образом. Опираясь на специальную сводку,³⁸ а также учитывая более новые данные,^{39, 40} будем с высокой степенью уверенности считать, что чередо-

³⁵ Данбар К., Роджерс Дж. Основы стратиграфии / Пер. с англ. М.: Изд-во ин. лит., 1962. 363 с.

³⁶ Яблоков В. С. Перерывы в морском осадконакоплении и палеореки. М.: Наука, 1973. 216 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 248).

³⁷ Кулямин Л. Н., Смирнов Л. С. Приливно-отливные циклы осадконакопления в кембро-ордовикских песках Прибалтики // Докл. АН СССР, 1973. Т. 212. № 3. С. 697-699.

³⁸ Жемчужников Ю. А. Сезонная слоистость и периодичность осадконакопления. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 72 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 86).

³⁹ Обстановки осадконакопления и фации / Пер. с англ.; Под ред. Х. Г. Рединга. М.: Мир, 1990. Т. 1. 352 с. Т. 2. 384 с.

⁴⁰ Рейнек Г.-Э., Сингх И. Б. Обстановки терригенного осадконакопления (с рассмотрением терригенных кластических осадков) / Пер. с англ. М.: Недра, 1981. 439 с.

вание светло- и темноокрашенных *групп* слоев соответствует смене сезонов и в сумме отвечает одному *году*. В левой части образца черточками показаны такие просчитанные по его обрезу комплексы слоев. В сумме их 22.

Отметим, что в этом разрезе из подсчета «выпали» слои ($a_1 - a_2$, и $b_1 - b_2$), которые соответствуют 6 годам каждый. Кстати, именно эта цифра в качестве одного из основных ритмов чередуемости следующего, более высокого, порядка приводится в работе.³⁸ Такая же, шестилетняя, и более крупная – 11-летняя ритмичность – намечается и в целом по образцу. Впрочем, это требует более тщательного изучения и значительно большего объема исходных данных.

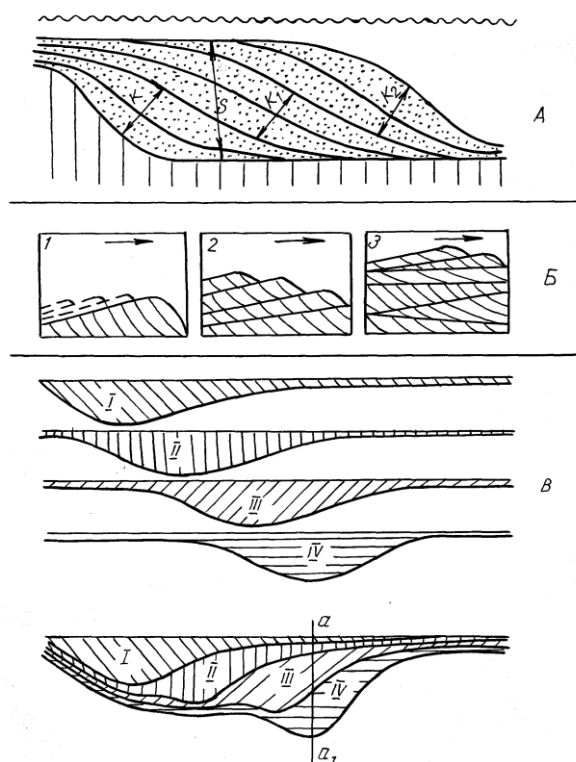


Рис. 2.4. Модели, иллюстрирующие процесс осадконакопления, и формирующиеся комплексы отложений:

А - схема соотношения между "геологической" или седиментологической мощностью ($k + k_1 + k_2$) и действительной, или наблюдаемой, мощностью (S) осадков (по Т. Чемберлену⁴¹);

Б - образование косослоистых серий в осадке: I - передвигание одного косослоистого песчаного вала; 2 - напользание косослоистых валов на оставшиеся части валов, идущих впереди; 3 – конечный результат - группа налегающих друг на друга косослоистых серий (по Л. Н. Ботвинкиной⁴²);

В - смещение во времени зон расположения максимальных мощностей (по Дж. Гиллули²⁷). В результате максимальные мощности разреза, просуммированные по отдельным этапам (I + II + III + IV), будут значительно больше, чем мощность всех отложений в зоне максимальной мощности разреза $a - a_1$. Соответственно, скорость осадконакопления, рассчитанная по линии максимальной мощности $a - a_1$, будет все больше занижаться для этапов III, II и I последовательности.

⁴¹ Chamberlin T. C. Diastrophism and the formative processes. VI Foreset beds and slope deposits. JG, 22, 1914.

⁴² Ботвинкина Л. Н. Слоистость осадочных пород. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 542 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 59).

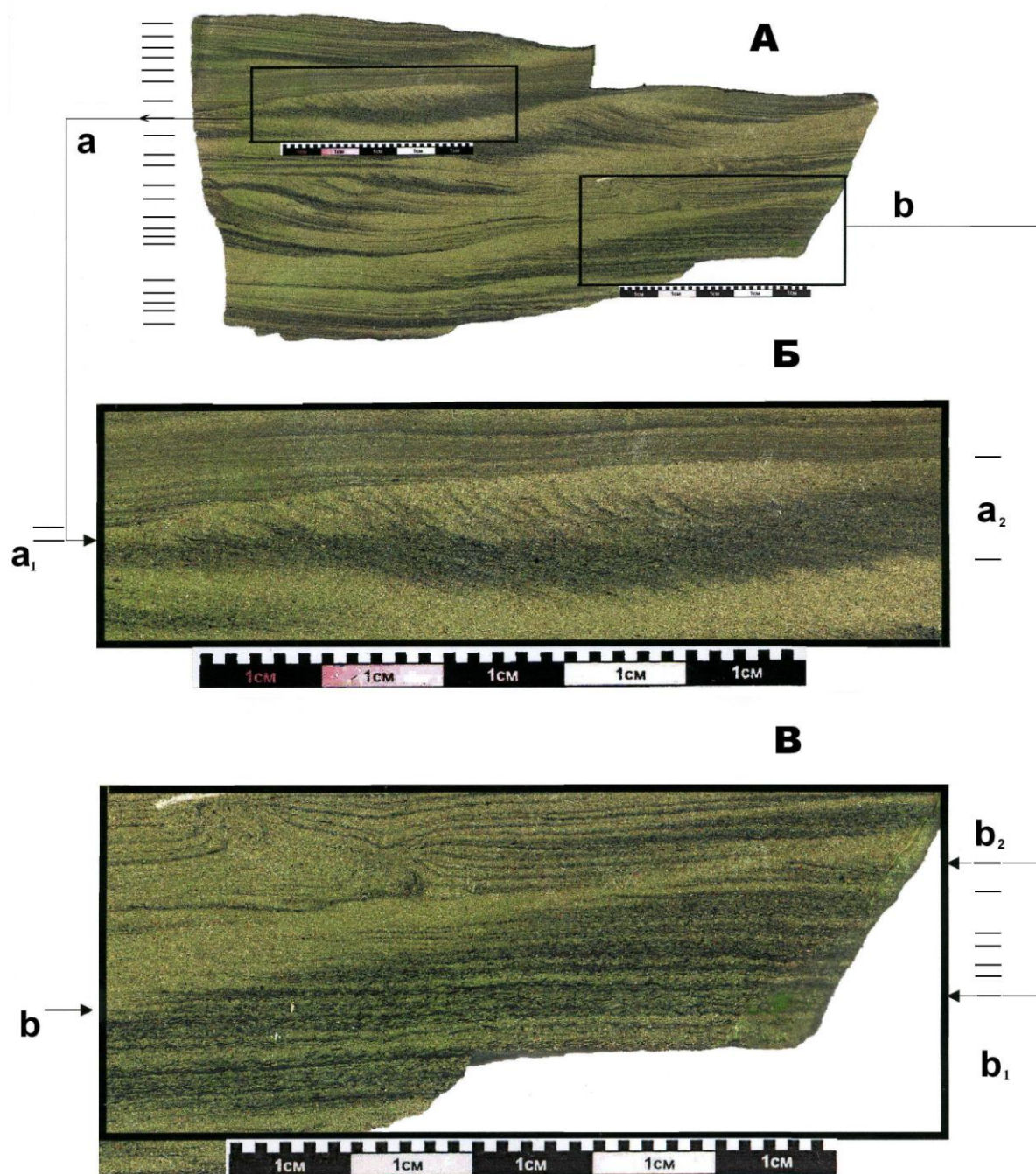


Рис. 2.5. Крупнозернистый алевролит со сложной пологокосо волнистой слоистостью, подчеркнутую тонким растительным детритом. Коркинская свита Челябинского бурого угольного бассейна (верхний триас):

А - общий вид образца: слева - пачки слойков (серии), накопление каждой из которых соответствует одному году (см. текст); Б - фрагмент, показывающий последовательное накопление слоев для интервала «а₁» - «а₂» в течение нескольких самостоятельных этапов (лет); В - фрагмент с датировкой комплексов слойков в интервале «b₁» - «b₂», «выпавших» из разреза на левой части образца вследствие внутреннего перемыва

В целом можно (естественно, принимая предложенные позиции) говорить о накоплении отложений, наблюдаемых в образце, суммарной мощностью 8 см, в течение примерно 40 лет, то есть скорость накопления осадков составляла около 2 мм в год, или 2 000 Б. Эта цифра хорошо соответствует значениям, характерным для современного осадконакопления на континентах (см. рис. 2.1). Главным же выводом из приведенных конкретных данных следует, что при непрекращающемся в целом непрерывном процессе осадконакопления в погребенное состояние переходит, т. е. *закрепляется* в разрезе только *часть* осадков (см. 3-ю интерлюдию). В данном случае это определяется *внутренними* (по отношению к системе осадконакопления) факторами. «Работая» в двух вариантах, как это описано для образца (см. рис. 2.5, А), они могут соответствовать модели I (см. рис. 2.4, А): это верхний интервал фрагмента образца «а» т. е. продвижению слоев; или модели II (см. рис. 2.4, Б): это нижняя часть фрагмента «b», т. е. смещение слоев и последующий межслоевой размыв. Естественно, возможно и их сочетание. В целом уже на уровне *гранулоседиментогенеза* перечисленное может дать двукратное и более сокращение измеряемой мощности по сравнению с первично накопившимся осадком.

Стратоседиментогенез

Для общей характеристики того, что скорость осадконакопления зависит и от времени, охваченного наблюдениями, приведем интересные данные (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Зависимость между продолжительностью периода наблюдений и вычисленным значением скорости седиментации на примере ваттов северной части ФРГ²²

Скорость седиментации		Период, охваченный наблюдениями
см/ 1000 лет	мм/ 1 000 лет (Б)	
220	2200	1 900 лет
1150	11500	4 года
$1,45 \cdot 10^5$	$1,45 \cdot 10^6$	8 дней
$2,1 \cdot 10^9$ (слой песка)	$2,1 \cdot 10^{10}$	Несколько секунд (эксперимент)

Подчеркнем удивительное сходство приведенной цифры в 2200 Б для достаточно длительного периода наблюдений (см. табл. 2.1) с результатом, полученным по рассмотренному выше образцу, имеющим принципиально сходный генезис с отложениями, для которых проводились наблюдения.

С. И. Романовским²³ общая формула, по которой следует оценивать скорости осадконакопления, представлена в виде

$$v = \frac{H}{(T - T^*)\rho k}, \quad (1)$$

где k - коэффициент, учитывающий сокращение первоначальных мощностей слоев, - это своего рода осредненная мера уплотнения осадочной толщи; H - макси-

мальная мощность отложений в границах выделенного стратиграфического подразделения; T - временная продолжительность этого подразделения; T^* - суммарное время перерывов в осадконакоплении; ρ - мера, учитывающая интенсивность межслоевых размывов в процессе формирования слоистой толщи. Им же показано, что лучше пользоваться упрощенной формулой

$$\nu = \frac{H}{T\rho}, \quad (2)$$

которая вносит лишь систематическую ошибку (всегда в сторону занижения), чем опираться на статистические величины T^* и k , приводящие к принципиально не устранимому «шуму» в расчетах.

Анализ вероятности сохранения слоя в разрезе, определяемый коэффициентом ρ , выполнен А. Н. Колмогоровым.⁴³ Подробный разбор такой модели слоенакопления с оценкой вероятности сохранения (закрепления) слоев в разрезе проведен С. И. Романовским.²³ Нас, прежде всего, интересует аспект сохранения системы седиментации в состоянии равновесия (соответствующего перерыву в седиментации) или же в режиме постоянного осадконакопления. Воспользуемся формулой из более поздней работы С. И. Романовского²⁴:

$$T = \frac{nh_p}{\nu}, \quad (3)$$

где h_p - глубина размыва осадков под действием активной гидродинамики; n - частота таких размывов.

В этом случае при $nh_p \approx \nu T$ может быть практически сколь угодно велико. Например, если $h_p = 0,01$ м, $n = 100$, а $\nu = 1 \text{ м} / 10^6 \text{ лет}$, то $T = 10^6 \text{ лет}$, т. е. в течение 1 млн лет осадконакопление отсутствует, и граница между слоями будет иметь стратиграфический смысл. Собственно литологическими, или седиментационными, границы будут при соблюдении соотношения $nh_p < \nu$:

$$\frac{nh_p}{\nu} < 1.$$

Проверим применимость приведенных выше формул, используя сведения, изложенные выше. Так, для конкретного образца, показанного на рисунке 2, показатели будут следующими: $T = 40$ лет, $n = 4$, $h = 20$ мм, $\nu = 2$ мм/год. Подставив эти значения в формулу (3), получим:

$$40 = \frac{4 \cdot 20}{2},$$

тем самым подтвердив концептуальную правильность формулы.

Циклоседиментогенез и проверка представлений

Дж. Бирбауэром⁴⁴ процессы формирования комплексов слоев удачно разделены на *автоциклические* и *аллоциклические*. Первые наиболее детально разобраны на примере аллювиальных отложений. В данном случае система седимен-

⁴³ Колмогоров А. Н. Решение одной задачи из теории вероятностей, связанной с вопросом о механизме слоеобразования // Докл. АН СССР, 1949. Т. 65. № 6. С. 793-796.

⁴⁴ Beerbower J. R. Cyclothems and cyclic depositional mechanisms in alluvial plain sedimentation // Kansas, Geol. Surv., Bull., 1964. V. 169 (1). P. 31-42.

тации удивительно подобна осцилляционной структуре колебаний тока.⁴⁵ В условиях равномерного прогибания области осадконакопления (а «внутри» одного этапа развития речной долины возможно и без такового) образуется простая *цикличность* даже при отсутствии каких-либо других, «возмущающих», факторов. Примеров такой цикличности бесконечно много. На рис. 2.6 приводится один из них, имеющий отчетливо модельный характер.

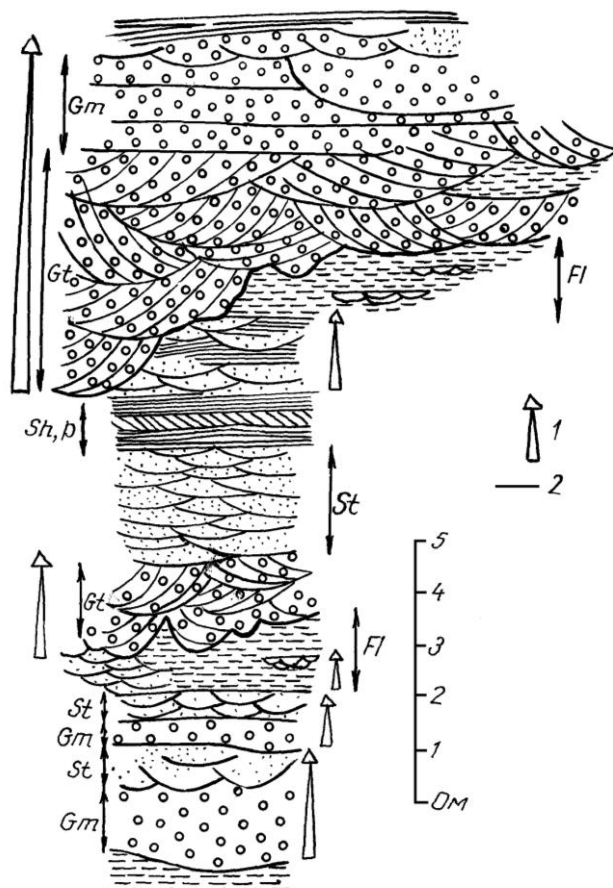


Рис. 2.6. Внутреннее строение русловых песчаных тел, интерпретируемых как отложения песчаной разветвленной реки, и их эрозионные взаимоотношения³⁹:

1 - уменьшение размера зерен;
2 - эрозионная поверхность; G – гравий; S – песок; F - алеврит;
слоистость: *m* - массивная, *i* - косая корытообразная (троговая), *p* - косая плоскопараллельная, *t* - мульдобразная (табулярная) в гравелитах и песчаниках, *h* - линзовидноволнистая (лингоидная), горизонтальная

Автоциклическими процессами контролируется цикличность самого низкого порядка – в угленосных толщах эти элементарные литоциклы (I порядка), или ЭЛЦ, которые обычно имеют мощность 5–15 м, а в других отложениях, особенно двухчленного чередования, их мощность существенно меньше (первые метры). Фактически - это перстративная фаза аллювиальной аккумуляции, в ставшем классическим понимании Е. В. Шанцера⁴⁶, что полностью соответствует моделям, показанным на рис. 2.4, А, Б. Приняв сокращение мощности при перемыке отложений (аналогично для разобранный выше образца) в 3–5 раз, скорость осадконакопления будет составлять в этом случае 300–700 Б (относительно «начальной» 2 000 Б: см. выше).

Если принять (предельно усредненно) мощность ЭЛЦ равной 10 м, а скорость - 500 Б, то получится, что он должен был накапливаться в течение 20 тыс. лет. Без особых комментариев укажем, что именно с астрономической периодичностью в 21 тыс. лет (соответствующей циклам прецессии пунктов рав-

⁴⁵ Седиментология / Пер. с польск. М.: Недра, 1980. 646 с.

⁴⁶ Шанцер Е. В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. М.: Наука, 1966. 239 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 161).

ноденствия) во многих работах и связывается проявление геологической цикличности низких порядков (в том числе и прежде всего - в угленосных толщах).

Подставив в формулу (3) значения известных показателей, характерных для формирования элементарных литоциклов, или ЭЛЦ (см. выше), получим:

$$20 \text{ тыс. лет} = \frac{nh_p}{0,5 \text{ м / тыс. лет}}.$$

В этом случае произведение nh_p должно соответствовать 10, что может означать следующее: или допускается один полный размыв ЭЛЦ средней мощностью 10 м, или же может проявиться два размыва на $\frac{1}{2}$ мощности ЭЛЦ ($n = 2$, $m = 5$ м), и т. д. Все это вполне соответствует представлениям об автоциклических процессах, разобранных выше.

Следующий уровень организации определяется *внешними, аллоциклическими* по отношению к системе седиментации факторами.⁴⁴ К ним отнесены в первую очередь региональные тектонические движения, вызывающие изменения в балансе энергетики осадочного процесса. Для аллювиальных отложений - это изменение угла наклона поверхности, изменения в питающей провинции, величины расхода воды и т. п. Если автоцикличность лучшим образом проявляется в поперечном разрезе речных долин, то аллоцикличность контролируется в продольном протяжении (констративный аллювий Е. В. Шанцера⁴⁶) и прослеживается на большом пространстве, в том числе за пределами седиментационного бассейна. Этому уровню соответствуют и достаточно масштабные межслоевые перерывы в виде переотложения осадков (по сути соответствующие диастемам Баррелла). Характер их проявления хорошо виден в верхней части рис. 2.6, где грубозернистыми пачками наполовину и даже больше срезаются низезалегающие слои.

Определим, какие должны быть скорость осадконакопления и частота размывов при соблюдении условия:

$$\frac{nh_p}{v} < 1$$

для значительных интервалов времени, например 5 млн лет. Если сохранить $h_p = 10$ м, то при $v = 500$ м/млн лет n должно быть < 250 , а при $v = 50$ м/млн лет $n < 25$. Именно последние цифры опять же удачно соответствуют конкретно наблюдаемым показателям для полнокомпенсированных угленосных толщ. Так, скорость осадконакопления (точнее – темпы закрепления) для большинства раннемезозойских угленосных формаций составляет именно 30-70, в среднем 50 Б, а примерно соответствующие ярусам свиты мощностью 300-500 м имеют, как правило, по 25-30 ЭЛЦ. Тем самым режим седиментации как минимум удерживается на границе «седиментационного равновесия», исключая крупные стратиграфические несогласия.

Теперь обратимся к формуле (2) и попробуем рассчитать скорость осадконакопления для значительных временных интервалов осадконакопления. Пусть $H = 350$ м, а $T = 5$ млн лет (показатели, характерные для большинства раннемезозойских угленосных формаций). Тогда без учета внутрислоевых перерывов ρ скорость осадконакопления будет равна 70 м/млн лет. Если ρ , рассчитанная из модели флишевого слоенакопления, принимается за $0,7^{23}$, то $v = 100$ м/млн лет (что, кстати, соответствует граничной скорости лавинной седиментации). Если же рассчитать ρ путем деления условной единицы времени на количество допускаемых размывов ($n = 25$: см. выше), то

$$v = \frac{350}{5 \cdot 0,04} = 1750 \text{ м/млн лет.}$$

Как видим, при достаточно высокой условности расчетов эта цифра удивительно близка к полученному иными способами значению оптимальной скорости осадконакопления около 2000 Б.

Перерывы: конденсированное время

Сделаем попытку соотнести выполненные рассуждения с явлениями перерывов (диастем), общие представления о которых приведены в 3-й интерлюдии. Для этого используем классификацию перерывов, предложенную И. А. Вылцаном⁴⁷, которая приведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Схема классификации внутри- и межслоевых перерывов и их основные диагностические признаки (по И. А. Вылцану⁴⁷, с дополнениями и изменениями)

Порядок (уровень) скрытого перерыва – пробела (П)		Критерии распознавания в слоистых толщах	Кодированная запись	Причины возникновения	Режим седиментогенеза (см. рис. 1.2)
Первый (П ^I)	Диастемальный внутри-слоевой (d ₁)	Поверхности наслоения ясные, ровные, обычно соответствуют серийным швам. Внутри слоя <i>a</i>	$\left. \begin{matrix} d_1 \\ d_1 \\ d_1 \end{matrix} \right\} a$	Прерывистый характер поступления материала; короткопериодические изменения погодно-климатических условий	Грануло-седиментогенез
	Диастемальный меж-слоевой (d ₂)	Поверхности напластования обычно четкие, отделяющие один породный слой (<i>a</i>) от другого (<i>b</i>)	$a - d_2 - b - d_2 \dots$	Практически те же, но имеющие большую длительность и более четкий характер в морфологии наслоения	Страто-седиментогенез
Второй (П ^{II}) («ритмичный»)		Поверхности контактов обычно резкие, прямые, иногда извилистые. Между простыми породно-слоевыми ассоциациями (<i>ab</i> или <i>abv</i>)	$ab - П^{II} - abv - П^{II} - \dots$	Изменения климата и тектонические пульсации	Цикло-седиментогенез
Третий (П ^{III}) («циклитовый»)		Контакты чаще резкие, неровные; в том числе с размывом комплексов подстилающих слоев – литоциклов (ЛЦ)	$ЛЦ - П^{III} - ЛЦ - П^{III} - \dots$	Колебательные тектонические движения субстрата бассейна осадконакопления	

Последовательно приведем примеры проявления перерывов в конкретных образцах керна из поисковых и разведочных скважин, пробуренных по различным терригенным толщам юрского возраста.

⁴⁷ Вылцан И. А. Фации и формации осадочных пород. Томск: Изд-во ТГУ, 2002. 484 с.

Внутрислоевые диастемы (d_1) нами описаны для образца, изображенного на рис. 2.5, с определением их длительности (см. выше): это верхние границы интервалов $a_1 - a_2$ и $b_1 - b_2$. По сути, диастемальны и все границы интервалов, выделенных для коркинского образца (см. этюд 1). Отличия же внутрислоевых и межслоевых диастем достаточно хорошо проявляются при рассмотрении сканированного изображения образцов на рис. 2.7 и 2.8.

Рис. 2.7. Тонкозернистый среднесортированный песчаник, в средней части образца с примесью и прослоем алевритового материала. В нижней части образца первичная косоволнистая слоистость нарушена послойными взмучиваниями. В верхней – ритмичная смена мелкой косолинзовидной слоистости на тонкую пологоволнистую.

Четкий контакт с рифельной поверхностью соответствует межслоевой диастеме (d_2). Внутри нижнего и верхнего самостоятельных слоев границы внутрислоевых перерывов, соответствующих серийным швам, являются внутрислоевыми диастемами (d_1)

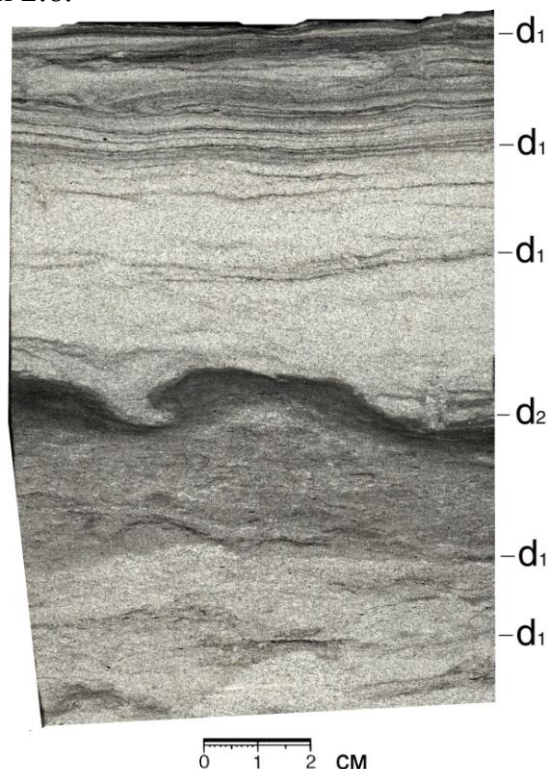
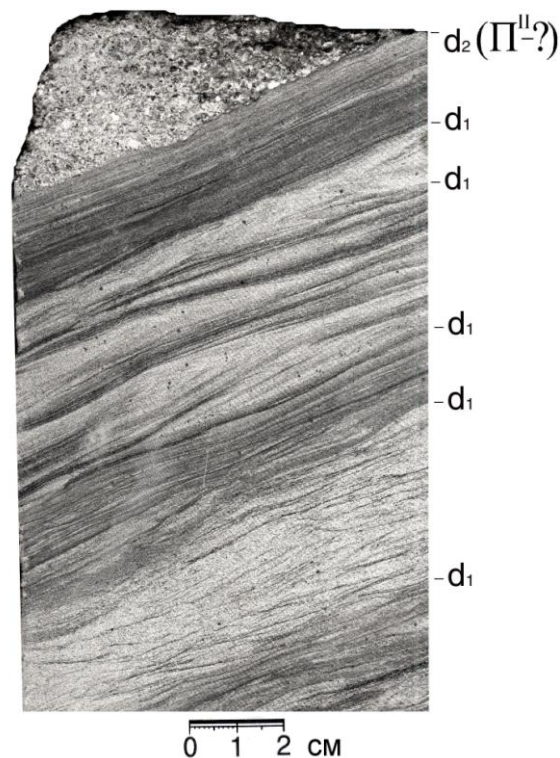


Рис. 2.8. Переслаивание крупнозернистого алевролита и тонкозернистого песчаника с толщиной слоев 1,5-4 мм. В алевритовых прослоях тонкая пологоволнистая, в песчаных – сложная линзовидноволнистая (внизу) слоистость. Показаны пять внутрислоевых диастем (d_1), каждая из которых имеет длительность межсезонье (предположительно около полугода).

В верхней части образца резкое налегание мелко-среднезернистого песчаника, со следами размыва. Межслоевая диастема (d_2); не исключено, что это перерыв II порядка (Π^{II})



Изображение *межслоевой* диастемы для тонкозернистых отложений приведено на рис. 2.9.

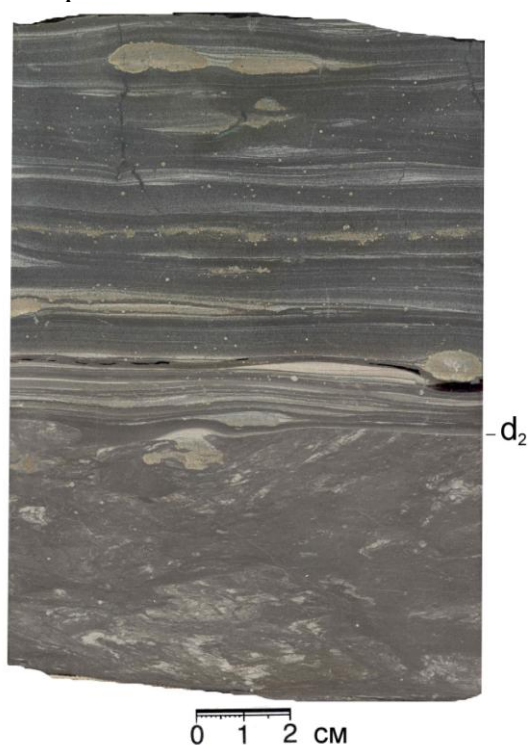


Рис. 2.9. Межслоевая диастема (d_2), отчетливо выделяемая по разной текстуре в мелкозернистом алевролите. Внизу – пятнистая текстура, сформированная в результате взмучивания. Вверху – тонкая пологоволнистая слоистость, с катунами и линзами чуть более грубого состава (светлое).

Контакт между слоями неровный, извилистый: запечатанная рябь волнения. Длительность перерыва составляет как минимум несколько лет

Совместное проявление диастем и *перерыва II порядка* (Π^{II}) представлено на рис. 2.10.

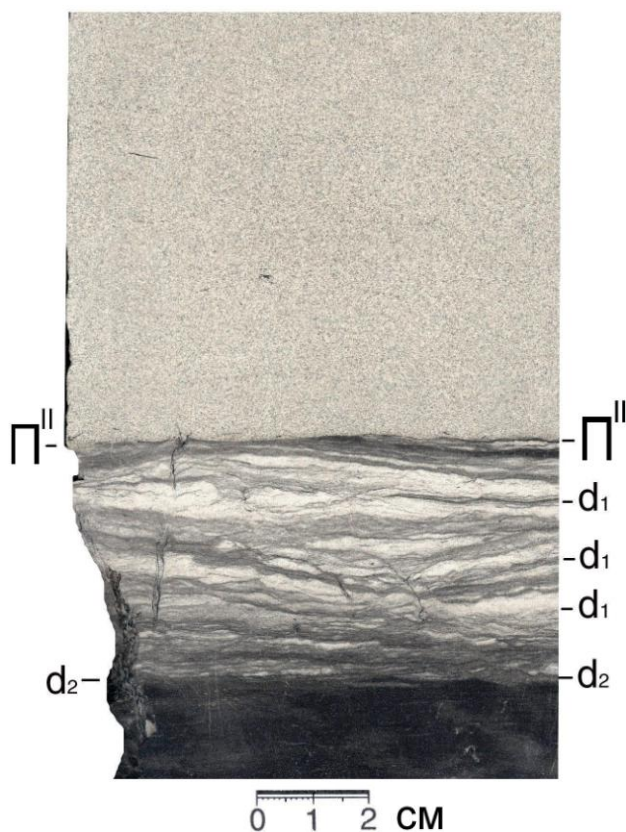


Рис. 2.10. В образце четко выделяется три слоя. Нижний представлен однородным слабоуглистым мелкозернистым алевролитом. На нем с перерывом (межслоевая диастема d_2) залегает второй слой толщиной 4 см, представленный в основной массе крупнозернистым алевролитом. Сложная пологолинзовидная слоистость нарушена послойными взмучиваниями. По серийным швам выделяются три кратковременные (до года) внутрислоевые диастемы (d_1), подчеркивающиеся корневыми остатками и следами деятельности илоедов.

Верхняя половина образца (третий слой) сложена хорошо сортированным почти массивным тонко-мелкозернистым песчаником. Он с ровным отчетливо эрозийным контактом залегает на предыдущем слое; глубина размыва на площади образца составляет 4 мм. Граница характеризует перерыв II порядка (Π^{II}), с длительностью в несколько лет (срезание нескольких серий слойков и характер верхней части корневого остатка в левой части контакта)

Перерывы III порядка (Π^{III}) в разных вариантах представлены на рис. 2.11.

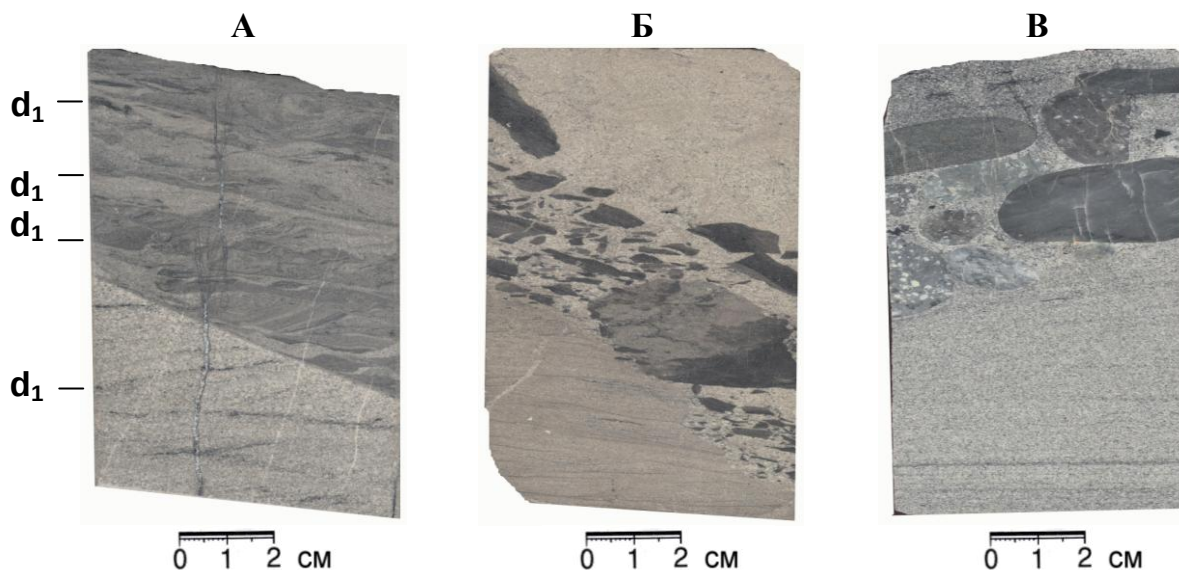


Рис. 2.11. Перерывы III порядка (Π^{III}), проявляющиеся в резком срезании верхними слоями нижних, при значительных угловых несогласиях, которые четко наблюдаются даже в образцах керна

А – контакт сложнослоистого тонкозернистого песчаника – крупнозернистого алевролита с косослоистым среднесортированным мелко-среднезернистым песчаником. Плоскость контакта ровная, угол к слойкам срезанной серии 40° ; серийному шву – 25° . Показаны внутрислоевые диастемы (d_1).

Б – контакт тонкозернистого среднесортированного массивного песчаника (верх) с еще более тонким песчаником (на грани с крупнозернистым хорошо сортированным алевролитом, имеющим очень тонкую косоволнистую слабосрезанную слоистость). Контакт неровный, эрозионный, под углом 40° . Интервал выше контакта толщиной 4 см содержит значительное количество остроугольных, неокатанных обломков алевролитов очень близкого переноса.

В – контакт двух слоев близкого по размерности мелкозернистого песчаника (верхний немного крупнее). В нижнем слое мелкая косая слабосрезанная слоистость, в верхнем много хорошо окатанных (4 балла) галек близкого размера (5-15-25 мм), «плавающих» в песчаном матриксе. Контакт аккумулятивный, с вдавливанием галек в нижний (слаболитифицированный ?) слой, под углом около 15° .

Конечно, длительность перерывов для всех приведенных примеров мы оценить не можем. Отметим лишь, что она, скорее всего, не столь велика – наверное, даже не сотни (а уж тем более не тысячи) лет. Об этом свидетельствуют косвенные признаки, на которые мы частично указали в описании. Для образца А – это супердинамичная текстура верхнего слоя: она формировалась при «налегании» на образовавшийся крутой склон эродированного нижнего песчаника. Для образца Б – это неокатанность алевроитовых обломков, почти *in situ* перенесенных вниз под действием силы тяжести (своеобразный дебрит). Наконец, для образца В аккумулятивность контакта подчеркивается энергетически «удобным» положением «плавающих» галек при непосредственном соприкосновении с нижним слоем.

Отдельно здесь будет уместным высказать одно соображение, дополняющее общий контекст рассуждений. Оно сводится к тому, что верхний слой, даже при значительном перерыве в седиментации, *далеко не всегда бывает более грубозернистым, чем нижний* (особо см. рис. 2.11, А). Кроме того, даже если наблюдается «классический» вариант с более грубым составом верхнего слоя, это еще не свидетельствует об *эрозии*: контакт вполне может быть *аккумулятивным* (рис. 2.11, В). На первый взгляд, это несколько противоречит представлениям о глубине перерывов (см. табл. 2.2). Однако большее значение имеет *их частота*, что присуще, естественно, мелким диастемам и что разобрано выше.

В подтверждение данному тезису приведем изображения еще двух контактов. Это уровень, который мы не показали в табл. 2.2, поскольку он имеет принципиально иное значение. На рис. 2.12 и 2.13 приводятся *стратиграфические* контакты, характеризующие перерывы в *миллионы лет*.



Рис. 2.12. Аккумулятивное налегание хорошо сортированного тонкозернистого песчаника (макрофация открытого мелководья озера) на слабодезинтегрированные породы фундамента. Толщина зоны интенсивной физической дезинтеграции 2-3 см.

Западно-Сибирский осадочный мегабассейн, Шаимский нефтегазоносный район. Даниловское месторождение, скв. 10570, глубина 1830 м.

Песчаник: тюменская свита (J_2 , аален-байос); фундамент – палеозойские породы (предположительно С – Р). Стратиграфический перерыв не менее 100 млн лет



Рис. 2.13. Эрозионный контакт разномерного песчаника, с обилием окатанных галек гравийной размерности (аллювий временных горных потоков) с почти неизменными породами фундамента. Слабую дезинтеграцию подчеркивает неглубокая трещина в левой части образца.

Западно-Сибирский осадочный мегабассейн, Шаимский нефтегазоносный район. Толумское месторождение, скв. 10517, глубина 1779 м.

Песчаник: вогулгинская пачка (J_{2-3} , келловей-оксфорд); фундамент – нижний триас (?). Стратиграфический перерыв 80-90 (?) млн лет



Для более глубокого понимания происходящих процессов привлечем разобранный в работе³⁴ механизм формирования *конденсированных* слоев, содержащих, тем не менее, фауну из обширных стратиграфических горизонтов. Процесс их образования изображен на рис. 2.14.

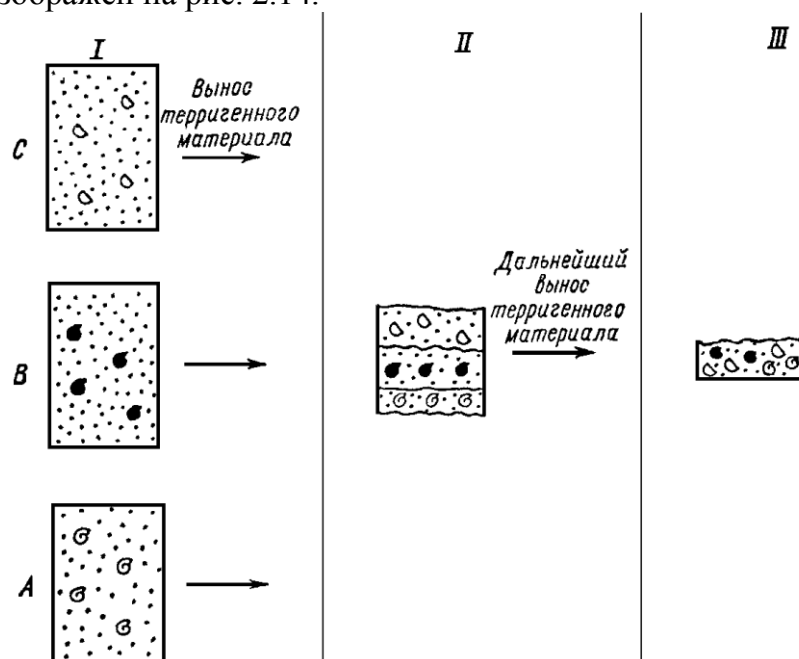


Рис. 2.14. Схема формирования конденсированных слоев³⁴

Суть механизма заключается в постоянном выносе матрикса (в данном случае песчаного), при накоплении *in situ* крупных остатков (раковин, стяжений и др.): это показано для этапа II. В крайнем случае (этап III) весь грубый материал скопился в одном месте, будучи к тому же и перемешанным. Понятно, что в случае II стратификация оставшегося материала возможна, хотя и затруднительна. В случае же III, скорее всего, можно только зафиксировать достаточно крупный размыв, с весьма затруднительной его датировкой.

Используя этот пример, предложим рассматривать описанные выше перерывы, как *конденсированное время*. Начиная с диаграммы Дж. Баррелла (см. рис. 2.3) и заканчивая классификацией перерывов И. А. Вылцана (см. табл. 2.2), мы, вслед за многими исследователями, рассуждали о преобладающем значении перерывов во время формирования толщ по отношению к закрепившимся в геологической летописи осадкам. Для случая II, изображенного на рис. 2.14, это время можно примерно подсчитать. Для мелких диастем мы попробовали это сделать, как, например, для образца, изображенного на рис. 2.5. Однако в подавляющем большинстве случаев определить, хотя бы и приближенно, *время фантомов*, которыми являются перерывы любого рода, а особенно II^{II} и II^{III} (см. табл. 2.2), пока не представляется возможным.

Остается добавить, что для стратиграфии затронутые вопросы особенно важны и злободневны. Поскольку данная тематика уже выходит за рамки представленной работы, ограничимся цитатой из работы активно занимающегося дан-

ной проблемой Д. П. Найдина (аннотация к статье⁴⁸). «Под *перерывом* в стратиграфии понимается поверхность контакта двух слоев, образующаяся при выпадении из стратиграфической последовательности разделяющей их пачки слоев. Явные и скрытые перерывы исключительно широко развиты в конкретных разрезах стратосферы (осадочной оболочке планеты), в результате чего возникают *гиатусы* – соответствующие перерывам выпадающие из стратиграфической последовательности интервалы».

В заключение по этому можно сделать следующие выводы.

1. Скорость накопления терригенных осадков во внутриконтинентальных условиях не изменялась существенно на протяжении геологического времени и составляла (в среднем и очень приближенно) около 2 мм / год, или 2000 Б.

2. Скорость осадконакопления, «снимаемая» с геологических разрезов полнокомпенсированных терригенных угленосных толщ, колеблется в пределах 10-130 Б, в среднем составляя величину порядка 50-70 Б. Такое несоответствие цифрам, указанным выше, объясняется тем, что «геологическая» скорость соответствует только *закрепленным* в геологической истории осадкам и характеризует скорость приращения осадков или темп осадочного породообразования.

3. Такое закрепление, в соответствии с механизмом слоеобразования, происходит в условиях проявления многократных внутри- и межслоевых перерывов, генерируемых внутри автономно развивающейся системы осадконакопления. Они соответствуют диастемам Дж. Баррелла и описаны моделями слоенакопления Дж. Баррелла и А. Н. Колмогорова.

4. Перерывы более высокого порядка, определяемые неполнотой стратиграфического разреза (между комплексами пород), в терригенных толщах проявляются при наложении *внешних* причин по отношению к системе осадконакопления (прежде всего тектонических). Ими определяются длительные промежутки без накопления материала – гиатусы, которые в целом менее характерны для полнокомпенсированных терригенных толщ.

5. Отсутствие накопившихся (приращенных) осадков соответствует *конденсированному* в этих фантомах геологическому времени, которое на порядок и больше превышает то время, которое фиксируют наблюдаемые, закрепленные в геологической летописи отложения.

⁴⁸ Найдин Д. П. Перерывы и гиатусы в стратиграфии // Изв. Вузов. Геология и разведка. 2001. № 5. С. 5-9.

Этюд 3. МЫСЛИТЬ ЦИКЛАМИ

Приоритет в целенаправленном изучении цикличности осадочных толщ в отечественной литологии по праву принадлежит выдающемуся геологу-угольщику Юрию Аполлоновичу Жемчужникову (1885-1957). Уже в 1935 г. он выдвинул изучение цикличности как метод изучения осадочных пород. На I Всесоюзном угольном совещании (1944 г.) им определено: «Изучать все литологические и палеонтологические изменения внутри цикла в зависимости от положения в цикле и от цикла к циклу, сравнивать циклы между собой, уметь увидеть в изменении циклов поступательный ход развития, *мыслить циклами* – вот элементы нового методического подхода».⁴⁹ Если на данном совещании литологи разделились на «циклистов» и «антициклистов», то ко II Всесоюзному угольному совещанию (1955 г.) цикличность в строении угленосных толщ уже практически не оспаривалась. После же I Всесоюзной конференции по цикличности (Новосибирск, 1975 г.) отрицать наличие таковой для осадочных толщ, по сути, стало бессмысленным.

Интерлюдия 1. Некоторые общие представления

История изучения цикличности в осадочных (и не только) толщах, а также основные направления исследований достаточно подробно рассмотрены во многих работах, в том числе специальной монографии⁵⁰. В последнее десятилетие наметился очередной виток повышенного внимания к цикличности – теперь уже многих процессов (в биологии, медицине, истории, социальной сфере etc.). Такое явление можно только приветствовать. Однако поиск «всюдности» цикличности и циклов кое-где приводит к «лозунговости», скорее способной дискредитировать идею, нежели способствовать ее развитию. Без удовольствия, и, скорее, в пример тому, как *не надо* пропагандировать и без того развивающееся направление, приведем развернутую цитату из некоего «Манифеста».*

«На знаменах Великой научной революции – ЦИКЛЫ
Манифест циклической науки России и стран СНГ

.....

История науки знает две глобальные научные революции. Первая была связана с созданием механики в 16-17 веках, вторая – с открытием сложной структуры атома в конце 19 и начале 20 веков. Мы, ученые-циклисты России и стран СНГ, утверждаем - наступает эпоха новой Великой научной революции, на знаменах которой начертаны циклы.

⁴⁹ Жемчужников Ю. А. Цикличность строения угленосных толщ, периодичность осадконакопления и методы их изучения // Тр. ИГН АН СССР, 1947. Вып. 90. Угольн. сер., № 2. С. 7-18.

⁵⁰ Ботвинкина Л. Н., Алексеев В. П. Цикличность осадочных толщ и методика ее изучения. Свердловск: Изд-во Уральского ун-та, 1991. 336 с.

* Может быть, у автора предлагаемой книги испорчено сознание, но почему-то приходит на ум до боли знакомое: «Призрак бродит по Европе...». Впрочем, не желая умалить вклад ставропольцев и их лидера Ю. Н. Соколова в дело пропаганды «всепроникающей» цикличности, автор просит считать включение данного фрагмента *рекламой*, для чего приводит сайт организаторов регулярно проводимых конференций: www.stavedy.ru.

Циклы для фундаментальной науки выступают не только как простой и надежный и эффективный метод познания, но и как основа ее кардинального реформирования. Именно эти задачи для нас являются ближайшими и основными.

Циклы не только существенным образом изменяют всю науку, но и повлияют на жизнь человечества. Свою жизнь люди будут строить строго по законам циклов, а это означает, что они будут жить в гармонии со всей природой. Мы твердо уверены в том, что это время совсем близко.

Мы, ученые-циклисты России и стран СНГ, призываем всех, кто не заражен опасными бациллами догматизма и ортодоксальности, встать под наши знамена и плодотворно потрудиться на благо настоящего и будущего поколений».

*Манифест обсужден и принят на VI Международной конференции «Циклы природы и общества»
(г. Ставрополь, 12-14 октября 1998 г.).*

Не вставая под чьи-либо «знамена», попробуем примерно охарактеризовать направления цикличности в виде нестрогой иерархической классификации (рис. 3.1). Одной из главных целей приведенной схемы является показ места цикличности в угленосных толщах. С одной стороны, ее значение достаточно невелико, поскольку в сложении осадочной оболочки Земли доля угленосных толщ составляет менее 1 %. С другой стороны, в геологической практике не найдется полного аналога такого яркого *целевого* выделения обширной отрасли знания, как угольная геология, определяемая по объекту изучения – полезному ископаемому (которое, кстати, само как таковое занимает лишь первые проценты от объема исследуемых объектов). Объясняется это рядом причин: 1) собственно наличием угольных пластов, являющихся одним из уникальных явлений природы с четко установленным генезисом; 2) широким спектром вмещающих, основных по объему толщ глинисто-терригенных пород; 3) высокой степенью единства состава и, особенно, строения угленосных *формаций*, позволяющих легко выделять их среди объектов иного генезиса; 4) космополитностью угленосных толщ внутриконтинентальных блоков по отношению к истории геологического развития последних.



Рис. 3.1. Направления в изучении цикличности

Благодаря перечисленным признакам, во многом именно на материале угленосных отложений прошли периоды становления такие обширные направления геологического знания, как стратиграфия, тектоника (фиксистская) и литология. Особо отметим роль угленосных толщ в создании методики изучения генезиса осадочных толщ (литолого-фациальный анализ) и закономерностей их строения (учение о цикличности). Последнее связано с возможностью применения основных принципов системного анализа, в частности, понятия об уровнях организации вещества.

Интерлюдия 2. Цикличность и уровни организации геологических объектов

Стремление охватить единой классификацией все уровни периодичности в геологических телах – от миллиметровых слойков до планетарных оболочек – естественно для многих работ. Дальше всего здесь продвинулся С. Л. Афанасьев. Совершенствуя свою единую многопорядковую классификацию цикличности в течение 30 лет, к настоящему времени он пришел к выделению 33 классов циклитов – от коккициклитов взмахов крыльев колибри и частоты ударов ног в чечетке (33-й и 32-й классы) до мегакомплекса земной оболочки длительностью 4,37 млрд лет.⁵¹

Такое стремление, однако, находится в принципиальном противоречии с основными положениями *системного* анализа. Цикличность полигенетична, и по-разному проявляется для разных *уровней организации* материи (в нашем случае – геологических тел). В табл. 3.1 приводятся краткие, обобщенные представления об иерархии последних.

Таблица 3.1

Ранговая шкала геологических тел (по О. А. Вотаху⁵², с дополнениями)

Уровни организации		Объекты: структурные единицы; геологические тела	Эмерджентное свойство (свойство целого, не сводимое к сумме свойств слагающих элементов)
Группа	Ранг		
Минерально-петрографическая	1	Молекулы	
	2	Минералы	
	3	Породы; слои ≈ пласты; литоритмы (ритмиты)	
Структурно-формационная	4	Наборы пород: литоциклы (циклиты)	Устойчивое сочетание минералов; простая повторяемость ограниченного набора слойков и слоев
	5	Формации	Направленность смены типов пород и их комплексов
	6	Формационные комплексы; осадочные бассейны	Единство геотектонических условий и палеогеографической обстановки

⁵¹ Афанасьев С. Л. Суперкомплекс, 3 мегакомплекса, 9 макрокомплексов и 33 комплекса природных циклов и ритмов // Циклы: Мат-лы Четвертой межд. конф. Ч. 3. Ставрополь, 2002. С. 128-155.

⁵² Вотах О. А. Структура вещества Земли. Новосибирск: Наука, 1991. 224 с.

Из данных, приведенных в табл. 3.1, непреложно следует вывод о наличии *самостоятельного* – циклического, или надгорнопородного – уровня организации геологических тел. В предыдущих этюдах он рассматривался как циклоседиментогенез. Данный уровень органично заполняет «промежуток» между слоем и осадочной формацией, различие в мощностях которых может достигать величины 10^3 и более, м. Наиболее полно такой подход изложен видным российским литологом В. Н. Швановым, определившим строение как самостоятельную субстанцию осадочных формаций.⁵³

Интерлюдия 3. Структурно-геометрический и генетический (фациальный) подходы к изучению цикличности

При изучении цикличности (как и для геологии в целом) достаточно отчетливо проявляется два подхода, в работах некоторых исследователей даже противопоставляемых друг другу. *Структурный* (варианты: структурно-геометрический, системно-структурный) подход предопределяет в качестве ведущего, а часто и единственного признака размерность слагающих породу частиц (для терригенных отложений) или петрографический состав. Тем самым во главу угла ставится *объективность*, или проверяемость последующих построений. *Генетический* подход в осадочной геологии неизбежно сводится к фациальному анализу (в разных модификациях), что базируется на реконструкции геологических (т. е. в полном смысле – не проверяемых натурно) процессах. Не вдаваясь в незаконченную дискуссию, определим, что необходим их разумный синтез: к данному вопросу мы особо подойдем в 5-м этюде.

Преимущественно на материале *угленосных* толщ (см. 1-ю интерлюдия) разработаны, в основном в 50-е годы XX в., несколько методов, включающих одним из главных элементов изучение цикличности: фациально-циклический, фациально-геотектонический, фациально-фазовый, литолого-формационный, фациально-динамический анализы. Сущность первых трех разобрана в работе⁵⁴, где разумно предложено *комплексировать* преимущества различных методик. После этого периода в качестве самостоятельной методики изучения осадочных толщ предложена только одна – системно-слоевых ассоциаций Ю. Н. Карогодина⁵⁵. К ней мы еще будем обращаться отдельно – особенно также в пятом этюде.

Автор полностью разделяет принципы *фациально-циклического* анализа, который разработан Ю. А. Жемчужниковым, Л. Н. Ботвинкиной, В. С. Яблоковым и др. на материале среднего карбона Донецкого бассейна.⁵⁶ Его сущность заключается в поэтапном выполнении следующих исследований (с постоянной «обратной» проверкой как исходных данных, так и предыдущих построений и выводов):

⁵³ Шванов В. Н. Структурно-вещественный анализ осадочных формаций (начала литомографии). СПб.: Недра, 1992. 230 с.

⁵⁴ Методы формационного анализа угленосных толщ. М.: Недра, 1975. 200 с.

⁵⁵ Карогодин Ю. Н. Седиментационная цикличность. М.: Недра, 1980. 242 с.

⁵⁶ Строение и условия накопления основных угленосных свит и угольных пластов среднего карбона Донецкого бассейна / Ю. А. Жемчужников, В. С. Яблоков, Л. И. Боголюбова, Л. Н. Ботвинкина, А. П. Феофилова, М. И. Ритенберг, П. П. Тимофеев, З. В. Тимофеева. М.: Изд-во АН СССР. Ч. 1, 1959. 331 с.; ч. 2, 1960. 346 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 15).

- установление по комплексу признаков (с приматом текстурных показателей, определяющих динамику среды) генезиса слоя, т. е. *фацции*, как обстановки осадконакопления, овеществленной в породе;

- выделение на колонках скважин комплексов закономерно сменяющих друг друга слоев - *литоциклов*, границы которых определяются экстремумами фациальной кривой (смены трансгрессивной ветви на регрессивную);

- *корреляция* литоциклов разных порядков на литолого-фациальных и геолого-геофизических разрезах;

- построение палеогеографических карт, блок-диаграмм и геолого-генетических *моделей* требуемой детальности.

В данном и последующем этюдах значимость и разрешающая способность метода будет показана на конкретных примерах. Отметим, что наиболее удачной реализацией методики для конкретного региона до сих пор является работа участника «донецкого» коллектива П. П. Тимофеева по Южной Сибири.⁵⁷

Завершая интерлюдии, особо отметим, что последующее изложение материала будет выполнено почти исключительно на авторских данных, методика получения которых опубликована в учебном пособии.⁵⁸ Коллективом литологов СГИ-УГГГА-УГГУ под руководством автора на единой фациально-циклической основе в течение 30 лет изучаются терригенные отложения раннемезозойской эпохи торфо(угле)накопления (T_3-J_2). Наиболее детальные работы проводились в Алдано-Чульманском районе Южно-Якутского бассейна, восточной (Приишимской) части Тургайского бассейна, Улугхемском бассейне, Северо-Сосьвинском и Серовском районах восточного склона Урала. По каждому из перечисленных объектов изучены десятки тысяч метров скважин, проанализированы тысячи проб, построены десятки разрезов, карт и др. Кроме того, небольшие по объему работы выполнены на Буланашском (восточный склон Урала), Приозерном и Святогоровском (западная часть Тургайского бассейна), Шубаркольском (Центральный Казахстан), Абанском (Канско-Ачинский бассейн) месторождениях и в Майкюбенском бассейне.

В процессе работ выработана четкая последовательность их выполнения, осуществляемая в пять этапов: установление состава и генезиса пород посредством выделения слоев и определения характеризующих их комплексов признаков – установление закономерностей в чередовании слоев (циклическости) – корреляция разрезов – палеогеографические реконструкции – общая оценка состава, строения и условий образования формаций или их частей, что в целом соответствует общим принципам литолого-фациальных – формационных исследований (см. выше). Для каждого из этих этапов, а также отдельно - по угольным пластам, являющимся, с одной стороны, составной частью изучаемых толщ, а с другой – имеющих принципиально иной (органогенный) состав, полученные

⁵⁷ Тимофеев П. П. Юрская угленосная формация Южной Сибири и условия ее образования. М.: Наука, 1970. 204 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 198).

⁵⁸ Алексеев В. П. Литолого-фациальный анализ: Учебно-методическое пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. 147 с.

сведения изложены в самостоятельной работе.⁵⁹

Полученные результаты *верифицированы* на керновом материале тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района Западно-Сибирского осадочно-мегабассейна. Именно этими данными, полученными начиная с 2002 г., мы в основном будем иллюстрировать основные этапы в изучении цикличности.

Фациальное расчленение отложений

Ю. А. Жемчужниковым⁴⁹ совершенно точно определено, что «цикличность без углубленного фациального анализа – лишь формальный, механический прием». Не вдаваясь в незавершенную дискуссию по поводу применения термина «фация», приведем принимаемое нами определение. *Фация* - это обстановка осадконакопления, овегцествленная в осадке или породе, или, иными словами, не только комплекс физико-географических условий среды осадконакопления, в результате которых сформировались осадки, но и сами осадки, обладающие определенным сочетанием первичных признаков (Жемчужников и др.⁵⁶). В двух словах, фация – это «условия + осадок» или по Г. Ф. Крашенинникову, «осадок + условия». В иерархии геологических тел она отвечает горнопородному уровню (см. табл. 3.1).

Основная задача литолога при реконструкции древних обстановок осадконакопления, т. е. фациальном анализе, заключается в *сравнении* изученных пород с современными обстановками. Наша задача несколько облегчается тем, что среди рассматриваемых в работе сероцветных терригенных (угленосных) отложений имеют место не все из перечисленных областей: гумидный климат и отчетливая тектоническая дифференциация предполагают здесь наличие сравнительно узкого диапазона пролювиально-озерных, аллювиально-дельтовых и прибрежно-морских отложений. Несмотря на это, ее решение достаточно не просто. Судя по литературным ссылкам в работах самых разных авторов, как в научном, так и в практическом отношении непревзойденным здесь остается «Атлас...».⁶⁰ Значительная *детализация* фациального расчленения выполнена П. П. Тимофеевым.⁶¹ Большое значение для фациальных исследований имеют работы,^{62, 63} известные широкому кругу отечественных литологов, и на которые мы неоднократно ссылались в предыдущем этюде.

Нами на базе обширных исследований предложена единая фациальная схема расчленения внутриконтинентальных терригенных раннемезозойских отложений (табл. 3.2).

⁵⁹ Методика литолого-фациальных исследований угленосных отложений. Свердловск. 1986. 63 с. (Препринт / УНЦ АН СССР); Цикличность триас-юрских угленосных отложений азиатской части СССР. Свердловск. 1987, 55 с. (Препринт / УНЦ АН СССР); Методика корреляции угленосных отложений (на примере триас-юрских формаций азиатской части СССР). Свердловск, 1989. 59 с. (Препринт / УрО АН СССР); Палеогеография триас-юрских угленосных отложений азиатской части СССР. Свердловск, 1990. 62 с. (Препринт / УрО АН СССР); Внутриконтинентальные раннемезозойские угленосные формации азиатской части СССР. Свердловск, 1991. 70 с. (Препринт / УрО АН СССР); Угольные пласты триас-юрских отложений азиатской части СНГ. Екатеринбург, 1992. 73 с. (Препринт/ УрО АН).

⁶⁰ Атлас литогенетических типов угленосных отложений среднего карбона Донецкого бассейна / Л. Н. Ботвинкина, Ю. А. Жемчужников, П. П. Тимофеев, А. П. Феофилова, В. С. Яблоков. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 368 с.

⁶¹ Тимофеев П. П. Геология и фации юрской угленосной формации Южной Сибири. М.: Наука, 1969. 556 с. (Труды ГИН АН СССР. Вып. 197).

⁶² Обстановки осадконакопления и фации / Пер. с англ.; Под ред. Х. Г. Рединга. М.: Мир, 1990. Т. 1. 352 с; т. 2. 384 с.

⁶³ Рейнек Г.-Э., Сингх И. Б. Обстановки терригенного осадконакопления / Пер. с англ. М.: Недра, 1981. 439 с.

Таблица 3.2

Схема фациального расчленения внутриконтинентальных раннемезозойских отложений

Группа	Подгруппа	Макрофашия		Фашия		Обозначения
		название	индекс	название	индекс	
Бассейновая *		Отложений наиболее удаленной от побережья части бассейна	БУ 	Глинисто-карбонатных осадков открытой части бассейна	БУК	
				Алеврито-глинистых осадков открытой части бассейна	БУГ	
				Песчано-алевритовых осадков открытой части бассейна	БУТ	
	Мелководно-бассейновая	Отложений открытого подвижного бассейнового мелководья	БМ 	Алеврито-песчаных осадков подвижного мелководья	БМП	
				Песчаных осадков сильноподвижного мелководья (аккумулятивные формы бары, косы, пересыпи)	БМБ	
				Переслаивание глинисто-алеврито-песчаных осадков подвижного прибрегового мелководья (малые аккумулятивные формы)	БММ	
		Отложений полуизолированного малоподвижного бассейнового мелководья	БП 	Песчано-алевритовых осадков малоподвижного мелководья	БПА	
				Алеврито-глинистых и карбонатных осадков малоподвижного мелководья	БПП	
				Алеврито-песчаных осадков малых аккумулятивных форм (косы, пересыпи)	БПК	
				Глинисто-алевритовых осадков приливно-отливной зоны (ватты)	БПВ	
				Глинисто-алевритовых осадков приморских озер	БПО	
		Отложений подводной части дельты	БД 	Алеврито-песчаных осадков передовой части дельты	БДА	
				Песчаных осадков конусов выноса рек	БДД	
				Гравийно-песчаных осадков центральных частей конусов выноса	БДЦ	
				Гравийно-песчаных (пудинговых) осадков оснований конусов выноса рек	БДП	
		Отложений заливно-лагунного побережья	БЗ 	Алеврито-глинистых и карбонатных осадков центральных частей заливов и лагун	БЗГ	
				Песчано-алевритовых осадков прибрежных частей заливов	БЗА	
				Глинисто-алевритовых осадков полуизолированных частей побережья заливов и лагун	БЗП	
Континентальная		Отложений мелких прибрежных водотоков	КС 	Гравийно-песчаных осадков русел мелких прибрежных водотоков	КСР	
				Глинистых и песчано-алевритовых осадков поймы мелких прибрежных водотоков	КСП	

Окончание таблицы 3.2

Группа	Подгруппа	Макрофашия		Фашия		Обозначения
		название	индекс	название	индекс	
Континентальная	Аллювиальная	Русловых отложений речных долин	АР 	Песчаных осадков приустьевых частей равнинных рек	АРД	
				Гравийно-песчаных осадков русла крупных равнинных рек	АРР	
				Песчано-гравийных и галечниковых осадков русла горных рек	АРГ	
				Алеврито-песчаных осадков русла малых рек и протоков крупных равнинных рек	АРП	
		Пойменных отложений речных долин	АП 	Алеврито-песчаных осадков приустьевой части поймы и ее паводковых вод	АПП	
				Глинистых и песчано-алевритовых осадков слабопроточной части поймы	АПС	
				Глинисто-алевритовых осадков застойных и зарастающих стариц и вторичных водоемов поймы	АПВ	
	Озерная	Отложений открытых озерных водоемов	ОВ 	Глинисто-алевритовых осадков сравнительно глубоководных частей крупных озер	ОВГ	
				Алеврито-песчаных осадков открытого подвижного озерного мелководья	ОВМ	
				Песчаных осадков конусов выноса рек в озера	ОВД	
				Песчаных и глинисто-алевритовых осадков полуизолированного малоподвижного мелководья крупных озер	ОВП	
				Глинистых и песчано-алевритовых осадков небольших озер	ОВН	
		Отложений застойных и заболачивающихся озер	ОЗ 	Песчано-алевритовых слабоуглистых осадков проточных участков зарастающих озер	ОЗП	
				Глинисто-алевритовых слабоуглистых осадков застойных и слабопроточных участков зарастающих озер	ОЗО	
				Глинистых осадков заиляющихся участков застойных озер	ОЗЗ	
				Углистых глинисто-алевритовых осадков заболачивающихся озер и заиляющихся участков торфяных болот	ОЗУ	
		Отложений торфяных болот и сапропелевых озер	Т 	Подлежат самостоятельному рассмотрению		
		Пролувиальных отложений	КП 	Песчано-алеврито-глинистых осадков шлейфов конусов выноса	КПШ	
				Песчано-алеврито-глинистых осадков конусов выноса в озера	КПО	
				Песчано-гравийных и галечниковых осадков потоков конусов выноса	КПП	
		Делювиальных отложений	КД 	Песчано-алеврито-глинистых осадков подножий склонов	КДП	
				Щебенчатых осадков верховьев склонов	КДС	

* Под бассейном понимается обширный пресноводный внутриконтинентальный водоем с выровненным дном и глубинами до первых десятков метров

Наследуя схему донецкого Атласа⁶⁰ и повторяя основные принципы классификации П. П. Тимофеева для Южной Сибири,⁶¹ предложенная схема не дублирует их, отличаясь своей спецификой. Наложение же ее на конкретный материал позволяет «высветить» характерные для каждой изучаемой территории и конкретного горизонта особенности и сосредоточиться на их детализации. К примеру, при изучении отложений тюменской свиты мы выделили несколько новых фаций, которые ранее не были установлены в других регионах.

Определение генезиса породы (слоя), т. е. установление фации, производится по комплексу диагностических признаков. К основным относятся размерность частиц, сортированность, текстура (слоистость), количество и степень сохранности растительного материала (см. табл. 1.2). Важным параметром является соотношение (парагенезис) со смежными обстановками. При определенном опыте диагностика фаций не представляет затруднений, особенно при наличии Атласов и специальных определительских таблиц.^{58, 60}

Литоциклы и их выделение на колонках скважин

В терминологии, связанной с характеристиками повторяемости элементов разреза (слоев), до сих пор нет единства. Одно из различий связано с употреблением терминов «ритм» (гр. *rhythmos* - равномерное чередование чего-либо) и «цикл» (гр. *kuklos* — колесо, лат. *circulus* - круг, *circularis* - движение по кругу). В последнем случае понятие «цикл» следует сравнивать не с замкнутым пространством, а с витком спирали, отражающей общую эволюцию процесса. Для отличия вещественных проявлений осадочного процесса от собственно временных, т. е. для комплексов пород, предложены десятки различных терминов, из которых наиболее употребительным стал *циклит* (в зарубежной литературе часто встречается понятие «*циклотема*» - *cyclothem*). Л. Н. Ботвинкиной в 1978 г. предложен термин «*литоцикл*» (*ЛЦ*), обладающий рядом преимуществ: 1) он прост в употреблении и краток по написанию; 2) коррелируется со словами, где корень – общее понятие, а «лит» – приставка, указывающая на связь с породами (литология, литофация, литогенетический тип и др.); 3) коррелируется с такими словами, где *цикл* является основой слова, а приставка указывает, в каком аспекте он рассматривается (литоцикл, биоцикл, хроноцикл и т. д.); 4) легко сочетается с приставками, обозначающими порядок (ранг) цикла (мегалитоцикл, макролитоцикл и т. д.); 5) состоит из привычных слов, давно вошедших в русский язык и в геологическую терминологию; 6) легко поддается переводу на иностранные языки.⁵⁰

В то же время термин «литоцикл» следует употреблять лишь в тех случаях, когда необходимо подчеркнуть именно то, что речь идет о составном элементе разреза (а не о процессе), а из контекста это почему-либо неясно (или недостаточно ясно). В иных случаях можно оставлять всем привычный и понятный термин «цикл» (или «седиментационный цикл»), уже прочно вошедший в многочисленные публикации и у нас, и за рубежом.

В настоящее время в литературе, как указано выше, часто употребляется термин «циклит», выдвинутый С. Л. Афанасьевым. Последний практически анало-

гичен применяемому в настоящей работе «литоциклу» (к его недостатку относится то, что окончание «-лит» обычно присуще названию породы, но не группе слоев).

Приведем основные определения и положения.⁵⁰

1. *Полный литоцикл* - это комплекс различных отложений, генетически связанных направленностью изменения их признаков сначала в одном, а затем и противоположном направлении; эти комплексы повторяются в циклически построенном разрезе, но неоднозначно, так как смежные циклы имеют не только черты сходства, но и черты различия, обусловленные общей эволюцией осадконакопления; литоциклы выдерживаются в пространстве и могут быть прослежены по площади, определяемой особенностями формирования, а также порядком цикла.

2. В более краткой формулировке *литоциклом* называется полифациальный комплекс отложений, отражающих непрерывную смену регрессивных условий осадконакопления трансгрессивными, а под *циклическостью* понимается многократное закономерное чередование в разрезе таких полифациальных комплексов отложений.⁵⁶

3. *Началом* литоцикла наиболее правильным и целесообразным следует считать *поворотный момент от трансгрессивного развития фаций к регрессивному*, т. е. начало регрессии.

Наконец, особо укажем, что для равномерного, тонкого чередования двух-трех типов пород целесообразно употребление термина «литоритм». Его не следует смешивать с понятием «ритмит» (по В. Н. Шванову,⁵³ – ламинит), характеризующим особый тип породы (см. табл. 3.1).⁶⁴

На вопросе о том, с чего начинать цикл (литоцикл, циклит), следует остановиться подробнее. Как следует из изложенного выше, этим понятием характеризуется некоторый комплекс (парагенез) слоев, которые связаны друг с другом *теснее*, чем со смежными комплексами (парагенезами)⁵⁰. Вполне естественно, что выделение этих комплексов производится (наиболее удобно, правильно производить) по *направленности* изменения какого-то признака (набора признаков). Опять-таки естественно, что в качестве такого признака (параметра) для терригенных толщ практически всегда принимается средний размер слагающих породу частиц, то есть гранулометрический состав. Сразу отметим, что при резкой смене гранулометрических типов, что выражается резкими же контактами комплексов слоев, вопрос может решаться как бы и «сам по себе». Однако зададимся тривиальным вопросом: что делать, как выделять циклы при *постепенном* изменении гранулометрического состава? А именно последнее имеет место во многих и очень многих «монотонных» терригенных толщах, слагаемых различными и часто весьма контрастными гранулометрическими типами пород.

В модельном виде общий подход к выделению циклов удачно отражен С. И. Романовским (рис. 3.2). Первая из трех выделенных им групп циклов (*а*) отвечает дискретному (во времени) процессу осадконакопления. Такие циклы почти всегда начинаются более грубозернистыми породами, и их границы действительно могут определяться «автоматически». Вторая группа (см. рис. 3.2, *б*) характеризует непрерывный процесс осадконакопления, с асимметричными (чаще

⁶⁴ Ботвинкина Л. Н. Ритмит – особый текстурный тип породы смешанного состава // Литология и полезные ископаемые. 1966. № 5. С. 3-16.

двучленными) циклами. В принципе, это литоритмы, детально описанные в работе⁵⁰. Их границы обычно также резкие, при четком отделении пары слоевых элементов, с постепенным внутренним переходом, от соседних пар. Наконец, наиболее сложна процедура выделения циклов при непрерывном развитии процесса осадконакопления, наилучшим образом отражаемым синусоидальной кривой (см. рис. 3.2, в).

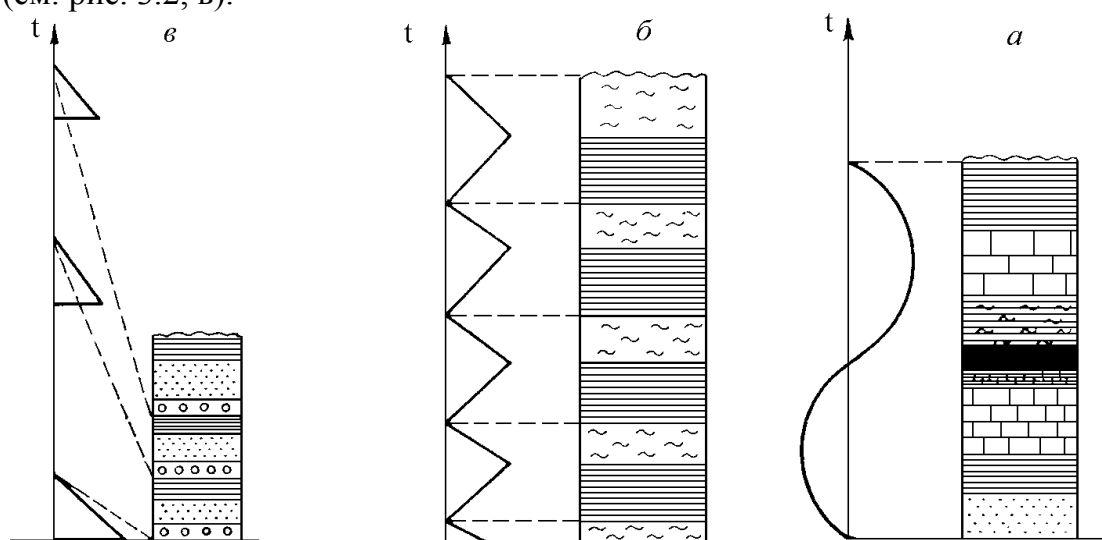


Рис. 3.2. Соотношения между временными характеристиками циклоседиментогенеза и циклическим строением разрезов⁶⁵

Констатируя важность вопроса о начале цикла в последнем случае, С. И. Романовский указывает, что он решается «...в зависимости от трактовки режима и механизма циклогенеза применительно к конкретному виду отложений» и далее: «...не важно, с какой именно породы начинать многослой, лишь бы было сохранено единообразие для всех сопоставляемых разрезов». Здесь же он констатирует: «...вопрос: с чего начинать угленосный цикл? – не принципиален...»⁶⁵, с. 50).

На то, что этот вопрос именно *принципиален*, Л. Н. Ботвинкина обратила внимание еще 50 лет назад. В специальной статье⁶⁶ она убедительно показала, что для угленосных толщ «...наиболее правильно считать началом циклов седиментации смену трансгрессивного ряда осадков регрессивным рядом...», для чего следует находить в разрезах «...вещественное выражение переломного момента в развитии процесса осадконакопления...». В более кратком изложении этот вопрос разобран в работе⁵⁰ (с. 145-148), где приведен рисунок из работы Э. С. Белта⁶⁷. Повторим его, поскольку в обширной литературе последних десятилетий нами не встречено подобное модельное – одновременно простое и исчерпывающее – объяснение различных подходов к выделению циклов. На рис. 3.3 приведены три варианта выделения циклотем (циклов, циклитов, литоциклов), которые базируются на разных точках отсчета для их начала. Вариант I (т. н. «американская» школа) основывается на наличии размывов в основании циклов. Однако отсутствие тако-

⁶⁵ Романовский С. И. Динамические режимы осадконакопления. Циклогенез. Л.: Недра, 1985. 263 с.

⁶⁶ Ботвинкина Л. Н. О начале циклов осадконакопления в угленосных толщах // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1954. № 3. С. 120-132.

⁶⁷ Белт Э. С. Характер циклотем каменноугольного возраста Шотландии и их палеофациальное значение // Дельты – модели для изучения / Пер. с англ. М.: Недра, 1979. С. 237-268.

вых (интервал между циклотемами A_2 и A_5) приводит к возникновению вопросов при выделении необходимой границы, что и показано на рис. 3.3. Геологи «европейской» школы (у нас наиболее ярко это выражено в работах Г. А. Иванова⁶⁸), принимающие за границу циклов почву или кровлю (как на рис. 3.3) угольного пласта, при его отсутствии теряют в интервале E_5 один цикл. Наконец, выделение циклов так, как это показано в колонке III («дельтовая» школа), лучшим образом отвечает нашей позиции. Отличие лишь в том, что мы считаем глинистые отложения с остатками раковин моллюсков часто более мористыми, чем ракушняковые известняки, налегающие непосредственно на угольный пласт и формирующиеся в самой прибереговой части моря. Поэтому на литологической колонке, приведенной Э. Белтом, мы считаем более правильным глинистые отложения с остатками морской фауны отнести к трансгрессивному ряду фаций и, соответственно, границу литоциклов проводить между этими отложениями и последующими (между условными знаками 2 и 3). Именно это положение границ показано стрелками на рис. 3.3.

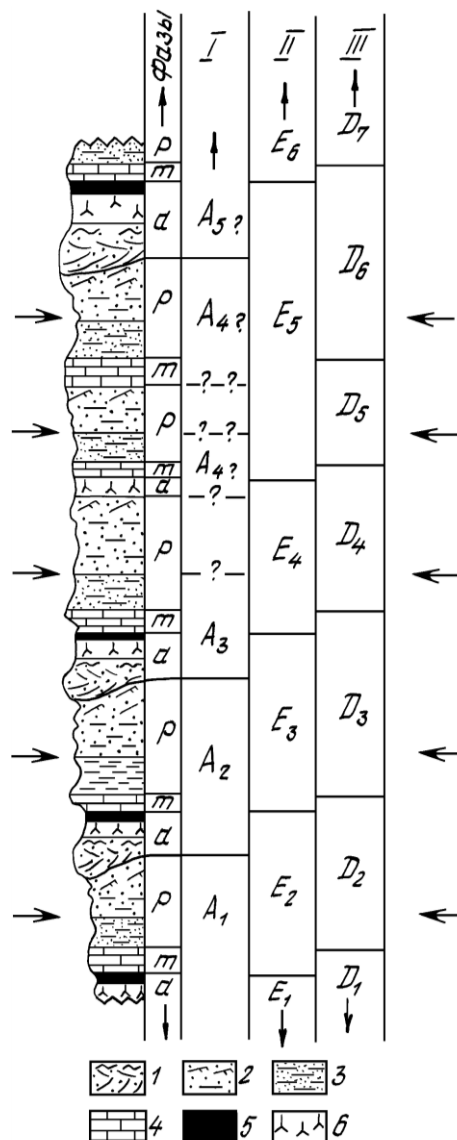


Рис. 3.3. Различные методы установления границ циклотем⁶⁷:

I – американская школа; II – европейская школа; III – дельтовая школа; фазы циклов: *m* – трансгрессивная, *p* – роста, *a* – агградации: 1 – русловый песчаник; 2 – отложения с увеличением размера фракций вверх по разрезу; 3 – глина с остатками раковин моллюсков; 4 – известняк-ракушечник; 5 – каменный уголь; 6 – аргиллиты с остатками корневой системы растений.

Стрелками слева и справа показаны границы циклотем в нашем понимании (см. текст)

⁶⁸ Иванов Г. А. Угленосные формации. Л.: Наука, 1967. 407 с.

С учетом изложенного мы с неизбежностью приходим к необходимости установления цикличности, исходя из закономерностей смены пород разного генезиса. Чисто «структурный» подход, основывающийся на анализе одного (хотя и очень важного) признака – гранулометрического состава пород – мало состоятелен для полнопостроенных полифациальных толщ (см. рис. 3.2, в). Особенно ярко это проявляется при изучении нефтегазоносных отложений тюменской свиты Западной Сибири. С одной стороны, это типичный представитель раннемезозойской эпохи торфо(угле)накопления, хорошо изученной в окраинных частях Западно-Сибирской плиты и на окружающих ее территориях. С другой – невыдержанность разреза внутриконтинентальных толщ и особенно – полное преобладание бескернового бурения не позволяют уверенно коррелировать главный объект нефтегазовых поисковых и разведочных работ – песчаные коллекторы. Именно исходя из этих посылок, постараемся обосновать правомерность установления цикличности по смене трансгрессивного ряда осадков регрессивным, в рамках школы Ю. А. Жемчужникова, что на примере отложений тюменской свиты мы показали в ряде статей, в том числе⁶⁹.

Исходя из самого определения литоциклов как *комплекса* отложений, устанавливаемого по изменению *направленности* смены фаций, их выделение производится на колонках фаций. Данная процедура требует значительного опыта и навыков. Поэтому для большей наглядности и определенной *объективизации* нами предложено изображать фациальный состав в виде *фациальной кривой* (аналогично детально разработанной Г. А. Ивановым гранулометрической кривой для гранулометрического состава терригенных отложений).⁶⁸ Пример последней кривой, приводимой во всех основных работах по цикличности, приведен на рис. 3.4.

Принципиальная основа для построения фациальной кривой по сути заложена в схеме, которая предложена Л. Н. Ботвинкиной для пояснения взаимоотношений между фациями (рис. 3.5). Она представляет собой модель смены палеоландшафтов. Автор объективизировал ее в виде фациальной палетки, впервые предложенной в 1986 г., основанной на предлагаемой схеме фациального расчленения отложений (рис. 3.6).

Одна из нескольких сотен построенных нами колонок скважин приведена на рис. 3.7. На ней, слева направо, приведены следующие данные:

- параметры выделенных слоев, глубины которых скорректированы по данным ГИС (крайняя справа часть колонки);
- фациальный состав отложений, показанный знаками, соответствующими приведенным в табл. 3.2;
- размерность терригенных частиц в виде рельефной гранулометрической кривой условного логарифмического масштаба (см. табл. 1.1);
- обобщающая фациальная кривая, сглаживающая ломаную линию, которая отражает сведенный в линию палеоландшафт (для макрофаций отображенный на рис. 3.5);
- детальные фациальные кривые в двух видах: «Фации 1» - для прибрежно-бассейнового и «Фации-2» - аллювиально-озерного палеоландшафтов. Граница между ними показана извилистой линией.

⁶⁹ Алексеев В. П. Классический литолого-фациальный анализ как базовый метод при изучении состава, строения и условий формирования раннемезозойских отложений Западно-Сибирской плиты // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск, 2003. Т. 1. С. 145-150.

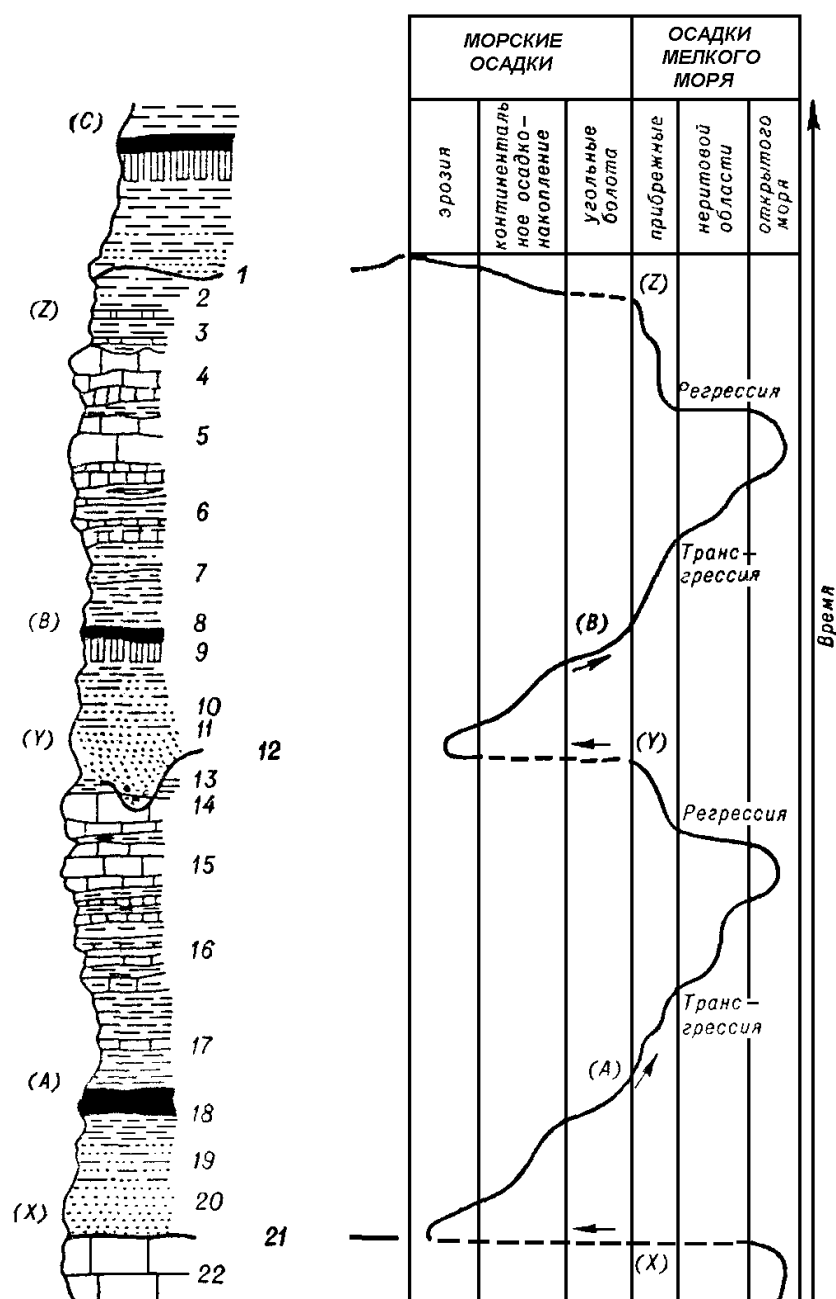


Рис. 3.4. Разрез пенсильванских отложений Канзаса, Мидконтинент. По Р. К. Муру (R. C. Moog, 1959): из работы П. Даффа и др.⁷⁰:

1 - поверхность несогласия; 2 - сланец солоноватоводный и неморской; 3 - сланец морской; 4 - известняк водорослевый с остатками прибрежных и солоноватоводных беспозвоночных; 5 - известняк с фауной открытых частей моря, в особенности фузулинид; 6 - известняк песчанистый и глинистый с фауной беспозвоночных неритовой области; 7 - сланец морской с фауной беспозвоночных литорали; 8 - каменный уголь; 9 - подугольная глина; 10 - сланец неморской, обычно песчанистый; 11 - песчаник неморской; 12 - поверхность несогласия; 13 - сланец морской; 14 - известняк водорослевый с раковинами прибрежных беспозвоночных; 15 - известняк с фауной открытых частей моря, в особенности фузулинид; 16 - известняк глинистый с фауной беспозвоночных неритовой области; 17 - сланец морской с фауной беспозвоночных литорали; 18 - каменный уголь; 19 - сланец неморской, песчанистый; 20 - песчаник неморской; 21 - поверхность несогласия; 22 - известняк с фузулинидами

⁷⁰ Дафф П., Халлам А., Уолтон Э. Цикличность осадконакопления / Пер. с англ. М.: Мир, 1971. 284 с.

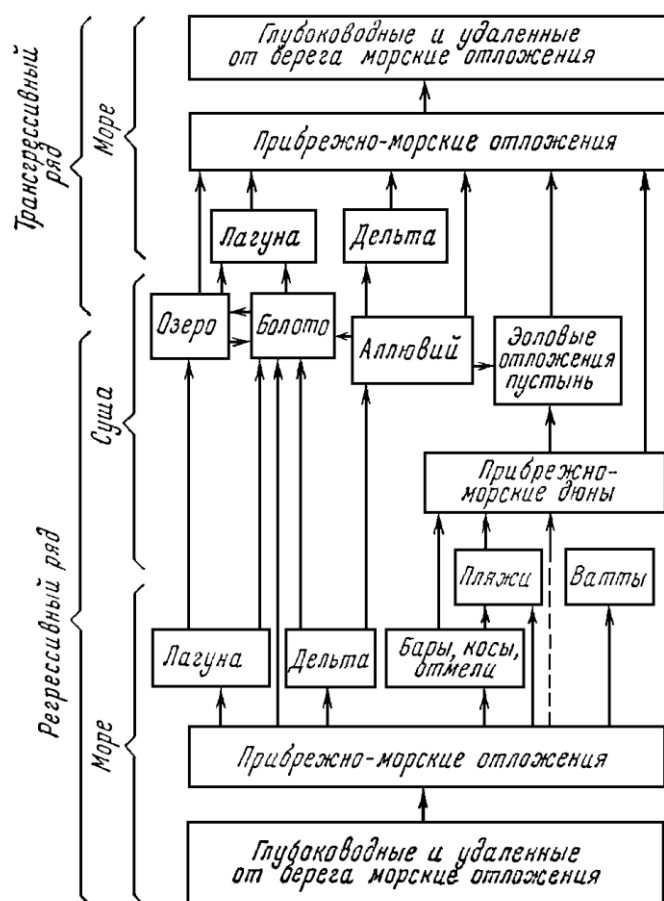


Рис. 3.5. Схема возможных переходов отложений различных фаций при регрессивном и трансгрессивном их развитии (По Л. Н. Ботвинкиной⁷¹)

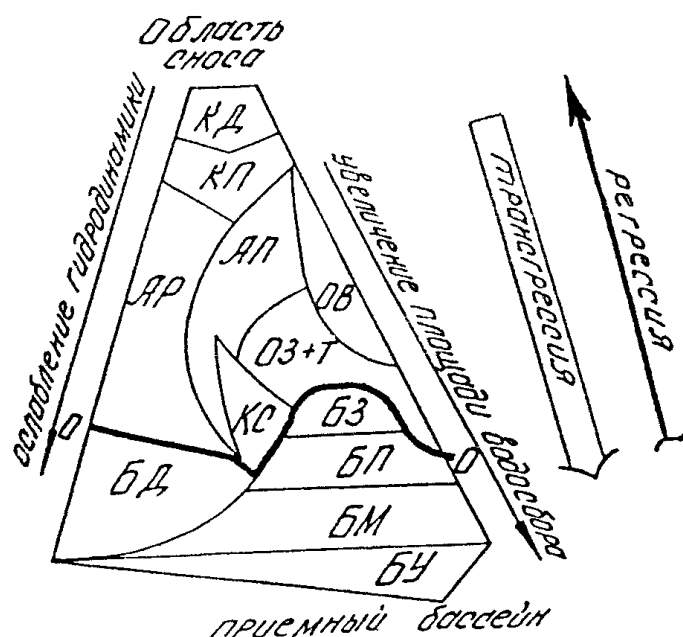


Рис. 3.6. Фациальная палетка (общий вид). Расшифровку буквенных обозначений макрофаций см. в табл. 3.2

⁷¹ Ботвинкина Л. Н. Слоистость осадочных пород. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 542 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 59).

По смене знака на фациальных кривых (изменению трансгрессивной направленности смены фаций на регрессивную) выделены литоциклы I (ЛЦ-I) и II (ЛЦ-II) порядков. Их границы приведены в соответствующих графах. На крайней справа отчетливо выделяются литоциклы самого низкого, I порядка или элементарные литоциклы (ЭЛЦ). Их мощность составляет 5-12, в среднем около 10 м. Смена природы выделяемых ЭЛЦ по разрезу скважины (регрессивной на трансгрессивную и наоборот) иллюстрирует правильность выделения ЛЦ-II, что служит проверкой правомерности выполненных построений.

Другой, более детальный вариант колонки показан на рис. 3.8. Здесь градулометрический состав показан в поле электрокаротажных кривых, а характер растительных остатков – в поле кривых радиоактивного каротажа. Отдельно приведена колонка текстур; выделены интервалы коллекторов.

Моделирование литоциклов

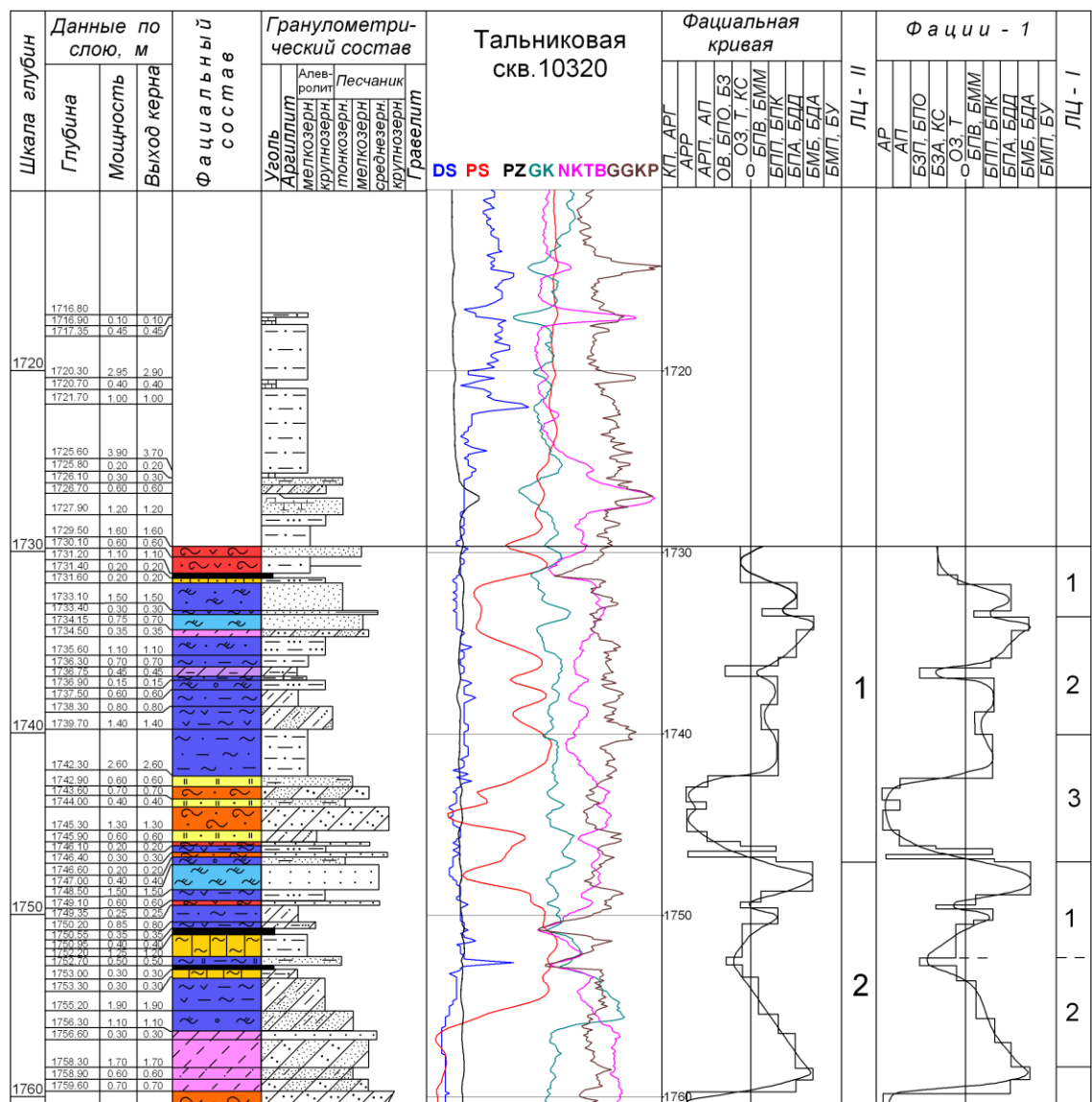
При изучении закономерностей осадконакопления весьма информативен аппарат *марковских* процессов, отражающих *эффект памяти*. Применительно к геологии он описан в ряде работ, в том числе в монографии.⁷² В табл. 3.3 приведена матрица вероятностных переходов между отложениями макрофаций для тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района Западной Сибири. Она получена из статистической оценки 309 взаимопереходов слоев по пяти скважинам, вскрывшим полный разрез свиты. Цифры в таблице показывают *вероятности* переходов. Так, отложения макрофации БМ в 90 % случаев из 100 будут сменяться макрофацией БП; последние в 16 случаев из 100 будут сменяться на БМ, а в 48 – ОЗ и т. д.

Таблица 3.3

Матрица вероятностей переходов для отложений тюменской свиты (расшифровку буквенных обозначений макрофаций см. в табл. 3.2)

Макро-фация	Колич. переходов	Макрофации									
		БМ	БП	БЗ	БД	КС	АР	АП	ОВ	ОЗ	Т
БМ	10		0,90		0,10						
БП	50	0,16		0,10	0,04	0,08	0,02	0,02		0,48	0,10
БЗ	11	0,09	0,46							0,18	0,37
БД	7	0,42	0,29				0,29				
КС	11		0,27					0,09		0,55	0,09
АР	29		0,10		0,07			0,52	0,10	0,21	
АП	26		0,08				0,38		0,15	0,35	0,04
ОВ	29		0,03				0,10	0,10		0,62	0,15
ОЗ	89		0,24	0,03		0,07	0,10	0,03	0,19		0,34
Т	47		0,10	0,09	0,05	0,06	0,10	0,04	0,06	0,50	

⁷² Харбух Дж., Бонэм-Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии / Пер. с англ. М.: Мир, 1974. 246 с.



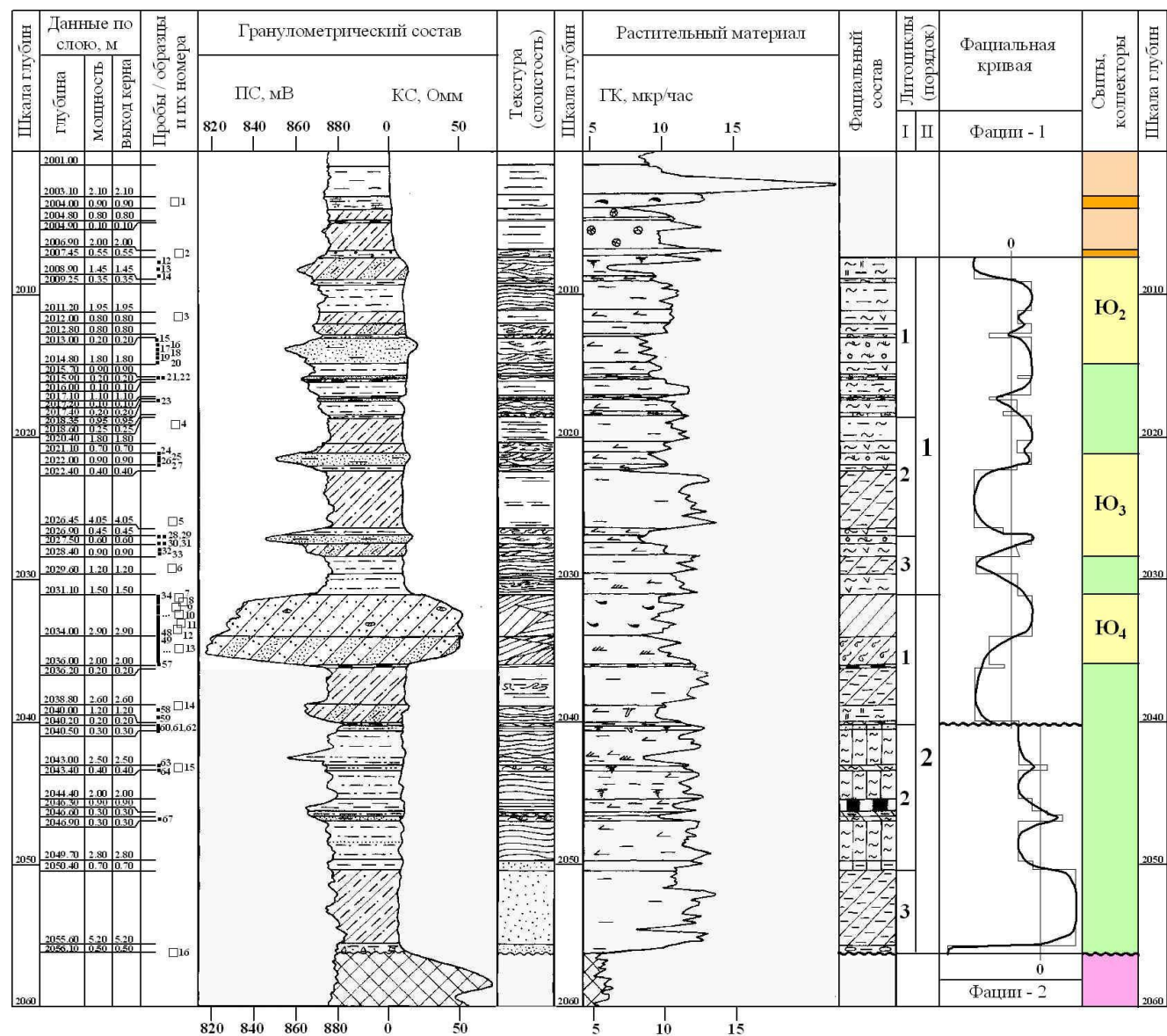
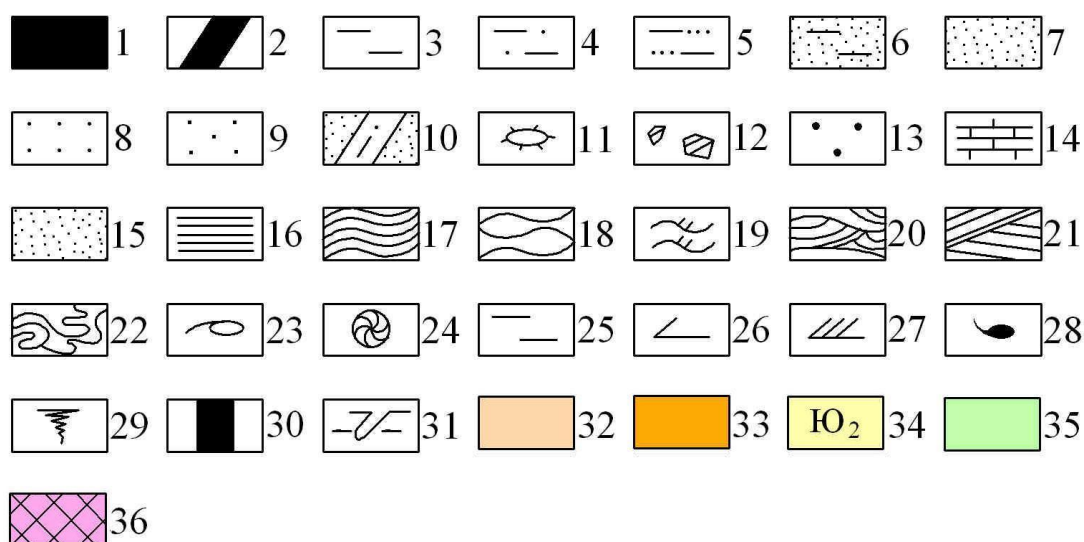


Рис. 3.8. Колонка по скважине 7987 (Сыморяхское месторождение, Шаимский нефтегазоносный район). Обозначения к рисунку на с. 63



Обозначения к рис. 3.8:

гранулометрический состав и другие признаки: 1 - уголь; 2 - углистые породы; 3 - аргиллит; 4 - мелко-, 5 - крупнозернистые алевролиты; 6 - тонко-, 7 - мелко-, 8 - средне- и 9 - крупнозернистые песчаники; 10 - переслаивание различных типов; 11 - конкреции; 12 - обломки и линзы иных пород; 13 - ооидная структура; 14 - известковистость;

текстура: 15 - массивная; слоистость: 16 - горизонтальная, 17 - пологоволнистая, 18 - линзовидноволнистая, 19 - косоволнистая прерывистая (флазерная), 20 - косоволнистая сплошная, 21 - косяя; 22 - взмучивания и оползания;

органические остатки: 23 - раковины; 24 - ростры белемнитов; 25 - тонкая органика; 26 - мелкий детрит; 27 - крупный детрит; 28 - обломки древесины; 29 - корневые остатки; 30 - повышенное содержание углистого материала; 31 - следы жизнедеятельности (ходы илоедов);

32 - даниловская свита; 33 - вогулкинская толща; 34 - коллекторы; 35 - нефтепродуктивные отложения тюменской свиты; 36 - породы фундамента (нерасчлененные)

На базе приведенной таблицы попытаемся построить циклические модели. Для этого выполним три этапа последовательных построений.

1. Уже при беглом просмотре взаимопереходов между макрофациями, которые представлены в табл. 3.3, легко обнаруживается серия простых сочетаний макрофаций с высокими значениями вероятностей *внутри* групп с единым механизмом осадконакопления: бассейновой, аллювиальной и озерно-болотной. Они сводятся к моделям, изображенным на рис. 3.9. Как следует из общих представлений (см. табл. 3.1), эта чередующаясь в основном представляет *ритмичность*.

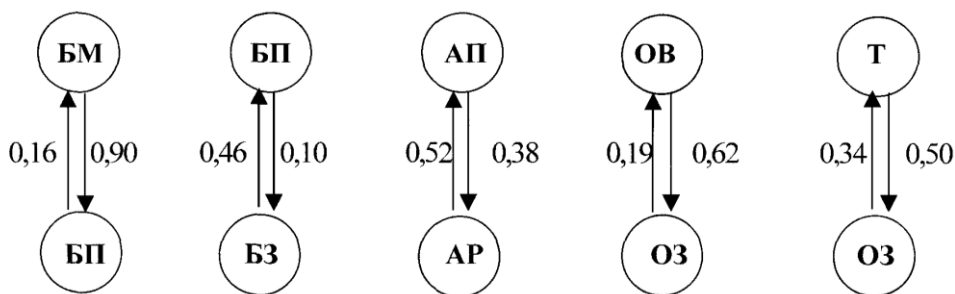


Рис. 3.9. Модели наиболее простых сочетаний макрофаций – *литоритмов*. Цифры около стрелок – вероятности переходов

2. За начало литоциклов нами принимается поворот от трансгрессивной ветви смены фаций к регрессивной (см. выше). Максимумы трансгрессии при этом, естественно, фиксируются формированием осадков в *приемных водоемах*: озере, заливе, бассейне (см. рис. 3.5, 3.6). Взяв их за исходные точки отсчета, построим модели *регрессивных* частей циклов (рис. 3.9).

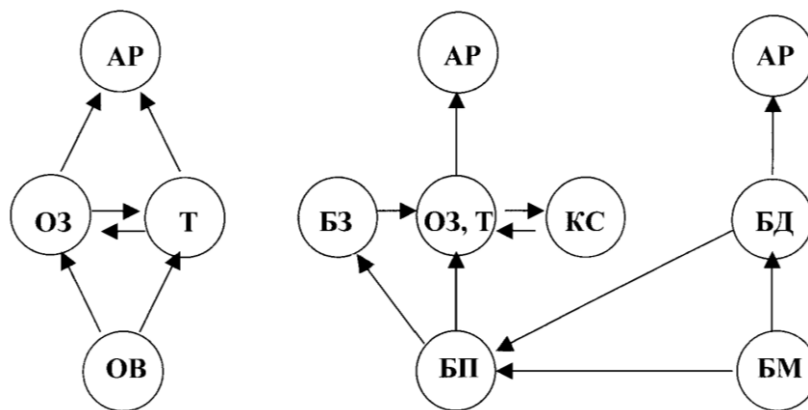


Рис. 3.10. Модели регрессивных частей литоциклов

Для озерно-аллювиального ландшафта цепочка переходов, как и следовало ожидать, достаточно проста и заканчивается макрофацией руслового аллювия (АР): левая часть рис. 3.10. Наиболее сложна цепочка переходов от прибрежно-бассейновых условий прибрегового мелководья (БП): центральная часть рис. 3.10. Наряду с переходом, аналогичным предыдущему (через заболоченно-озерные условия к русловым), намечается еще два варианта цепочек: 1) через макрофацию заливов (БЗ); 2) с «подключением» макрофации мелких прибрежных водотоков (КС), выступающих в роли индикатора того же максимума регрессивности. Наконец, крайняя справа на рис. 3.9 цепочка переходов от макрофации открытого подвижного бассейнового мелководья (БМ) к прибреговому мелководью (БП) и далее – по описанной выше схеме. Другим вариантом служит переход через макрофацию подводной части дельты (БД) в ту же макрофацию БП или напрямую в русловые отложения.

3. Цепочка переходов для *трансгрессивной* части литоциклов показана на рис. 3.11. Жирной линией здесь показан переход по наибольшим вероятностям. В целом он соответствует наиболее полно построенному асимметричному литоциклу $AP \rightarrow AP \rightarrow OЗ, T \rightarrow БП \rightarrow БМ$. В разрезах тюменской свиты он практически не встречается. Наиболее обычные варианты трансгрессивных частей выглядят следующим образом:

$AP \rightarrow AP \rightarrow OЗ, T \rightarrow ОВ$;
 $OЗ, T \rightarrow БП \rightarrow БМ$;
 $КС \rightarrow OЗ, T \rightarrow БЗ, БП$.

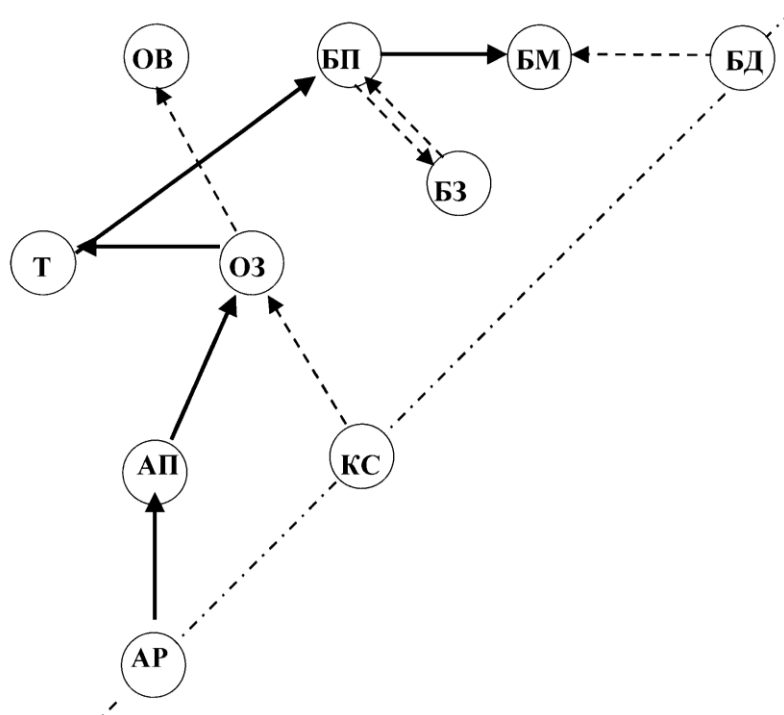


Рис. 3.11. Сводная модель трансгрессивной части литоциклов:

—————> цепочка переходов с наибольшей вероятностью;
 - - - - -> переходы с меньшей степенью вероятности;
 линия начальных потоковых условий седиментации

Суммируя приведенные сведения, представим сводные модели литоциклов I порядка в следующем виде (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Модели литоциклов

Ландшафт	Модель	Формула ⁷³
Озерно-аллювиальный	АР → АП → ОЗ, Т → ОВ	a b c d e ...
Прибрежно-бассейновый	БЗ → ОЗ, Т → КС → ОЗ, Т → БП	a b c b' d ...
Мелководно-бассейновый	БД → БП → ОЗ, Т → БП → БМ	a b c b' d ...

Примечание. Обозначение b' показывает, что данный элемент литоцикла сходен с элементом b, но не тождествен ему⁷³.

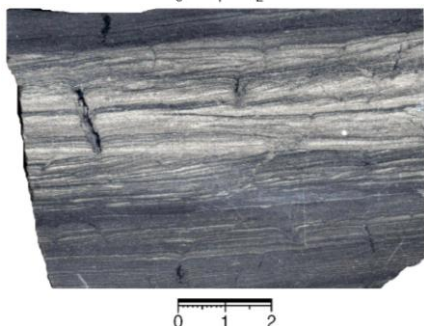
На рис. 3.12-3.14 приведено изображение моделей литоциклов, представленных в табл. 3.4, «в образцах». Для этого использован керн по одной скважине 23-Р, пробуренной на Западно-Тугровском месторождении Шаимского нефтегазоносного района (Западно-Сибирский осадочный мегабассейн). Отложения тюменской свиты, из которых отобраны образцы, вскрыты в интервале 2172,5 – 2303,9 м. Конкретная глубина отбора (привязка) каждого из них не приводится, поскольку это не имеет принципиального значения для существа иллюстрационного материала.

⁷³ Македонов А. В. Методы литофациального анализа и типизация осадков гумидных зон. Л.: Недра, 1985. 243 с.



Крупнозернистый алевролит, довольно хорошо сортированный, с примесью тонкозернистого песчаного материала и слоями темного мелкозернистого алевролита (до 7-10 % от общей толщины). В нижней части образца толстый (2 см) прослой мелкозернистого алевролита с тонкой ритмичной пологоволнистой слоистостью (3 серии). В целом слоистость пологолинзовидно-волнистая, со смещением на $\frac{1}{2}$ волны. Индекс ряби волнения менее 1:8. Большое количество мелких корневых остатков.

Макрофашия открытых озерных водоемов (ОВ), фашия песчаных и глинисто-алевритовых осадков полуизолированного малоподвижного мелководья крупных озер (ОВП).



Мелкозернистый алевролит, в верхней части слоя – крупнозернистый, достаточно хорошо сортированный алевролит (2 см толщиной), со слоями тонкого материала. Слоистость пологоволнистая, неравномерная. В левой части и по центру – следы жизнедеятельности (ходы пескожилов и ямки). Значительное количество рассеянной органики (преимущественно аттрит).

Макрофашия отложений застойных и заболачивающихся озер (ОЗ). Фашия глинисто-алевритовых слабоуглистых осадков застойных и слабопроточных участков зарастающих озер (ОЗО).



Переслаивание крупнозернистого алевролита и тонкозернистого песчаника – от тонких слоев до комплексов серий толщиной 6-8 см. Сортированность материала средняя. Слоистость сложная, от пологоволнистой до линзовидно- и косоволнистой, со взмучиваниями и перемычками. Помимо растительного детрита в нижней части образца – единичные фрагменты растительных остатков.

Макрофашия пойменных отложений речных долин (АП). Фашия алеврито-песчаных осадков прирусловой части поймы (АПП); в верхней части образца: до слабопроточной ее части (АПС).



Песчаник разнозернистый (преимущественно мелко-среднезернистый, с примесью крупнозернистого материала), плохо сортированный. Слоистость мелкая, косая, разнонаправленная, до сильно срезанной. Границы серийных швов подчеркнуты крупным детритом, нитевидными растительными остатками и уплотненными линзочками алевролитов.

Макрофашия русловых отложений речных долин (АР). Фашия гравийно-песчаных осадков русла крупных равнинных рек (АРР).

Рис. 3.12. Модель литоцикла I порядка (элементарного ЛЦ) для озерно-аллювиального ландшафта (см. табл. 3.4); на масштабных линейках - сантиметры

Верхняя часть образца: песчаник тонкозернистый, хорошо сортированный. Слоистость тонкая косоволнистая, от слабо до сильносрезанной (флазерная), подчеркнута тонким детритом. Макрофагия отложений полуизолированного малоподвижного бассейнового мелководья (БП). Фация песчаных осадков малых аккумулятивных форм (косы, пересыпи) (БПК).

Средняя часть образца: переслаивание двух типов, слагающих верхнюю и нижнюю части. Толстая линзовидная слоистость. Макрофагия БП. Фация тонкого переслаивания глинистых и алеврито-песчаных осадков прибреговой части (ватты, марши) (БПВ).

Нижняя часть образца: алевролит мелкозернистый, с нечеткой тонкой пологоволнистой слоистостью. Небольшое количество рассеянной органики. Макрофагия БП. Фация алеврито-глинистых осадков прибрежного малоподвижного мелководья (БПП).

Мелкозернистый алевролит (до аргиллита). Тонкая, слегка расплывчатая пологоволнистая слоистость, близкая к горизонтальной (ленточной). Значительное количество тонкой, равномерно рассеянной органики.

Макрофагия застойных и заболачивающихся озер (ОЗ). Фация глинисто-алевритовых слабоуглистых осадков застойных и слабопроточных участков зарастающих озер (ОЗО).

Динамичное переслаивание (1:1) мелко-крупнозернистого алевролита и тонкозернистого песчаника. Пологолинзовидная слоистость с интенсивными взмучиваниями. В алевритовых слоях довольно значительное содержание мелкого детрита. В отдельных интервалах – мелкие корневые остатки.

Макрофагия отложений мелких прибрежных водоемов (КС). Фация глинистых и песчано-алевритовых осадков поймы мелких прибрежных водотоков (КСП).

Мелкозернистый алевролит, схожий с описанным выше (второй образец сверху). Осветленные прослои (сезонная слоистость) характеризуются более высокой, чем для верхнего образца, динамикой.

Макрофагия ОЗ, фация глинистых осадков заиляющихся застойных озер (ОЗЗ),

Верхняя часть образца: алевролит крупнозернистый, с примесью тонкого песчаного материала, среднесортированный. Динамичная линзовидно(до косо-)волнистая слоистость со взмучиваниями. Макрофагия отложений заливно-лагунного побережья (БЗ). Фация песчано-алевритовых осадков прибрежных частей заливов (БЗА).

Нижняя часть образца: мелкозернистый алевролит хорошей садки. Расплывчатая пологоволнистая слоистость. Органики мало. Справа внизу – ход илоеда. Макрофагия БЗ. Фация глинисто-алевритовых осадков полуизолированных частей заливов и лагун (БЗП).

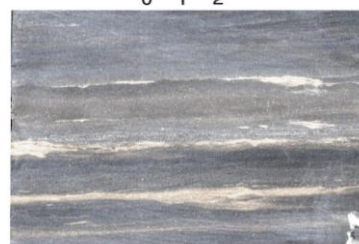
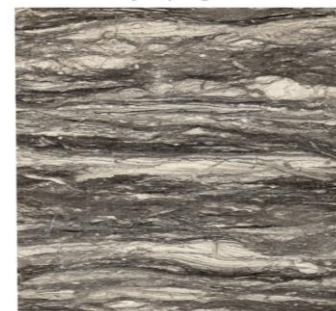
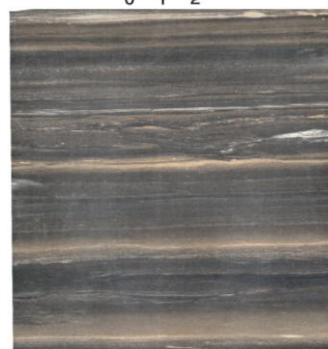
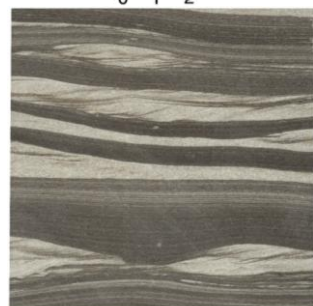


Рис. 3.13. Модель литоцикла I порядка (элементарного ЛЦ) для прибрежно-бассейнового ландшафта (см. табл. 3.4); на масштабных линейках - сантиметры



Песчаник тонко-мелкозернистый, хорошо сортированный. Мелкая слабосрезанная косоволнистая (до флазерной вилочкообразной) слоистость подчеркнута небольшими изменениями гранулометрического состава и детритом.

Макрофация отложений открытого подвижного бассейнового мелководья (БМ). Фация песчаных осадков сильноподвижного мелководья (аккумулятивные формы: бары, косы, пересыпи) (БМБ).



Толстое переслаивание (2:1) мелкозернистого алевролита и мелкозернистого песчаника. Сочетание пологоволнистой и линзовидноволнистой слоистости, с лингоидной рябью (внизу). В толстых песчаных слоях внутренняя тонкая косоволнистая слабосрезанная слоистость.

Макрофация БП, фаия ваттов БПВ: смотри среднюю часть верхнего образца на рис. 3.13.



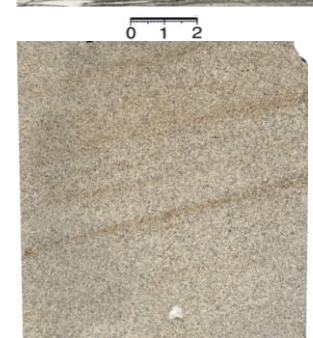
Верхняя часть образца: алевролит мелкозернистый, почти массивный, со значительным количеством рассеянной органики (до слабоуглистого). Макрофаия отложений застойных и заболачивающихся озер (ОЗ). Фаия глинисто-алевритовых слабоуглистых осадков застойных и слабопроточных озер (ОЗО).

Нижняя часть образца: песчаник тонкозернистый, средне-сортированный. Слоистость от мелкой косоволнистой до слабосрезанной косой. На контакте (средняя часть образца) 1,5 сантиметровый прослой с высокой динамикой (взмучивания, перемены). Здесь же корневой остаток. Макрофаия БП. Фаия глинисто-алевритовых и песчаных осадков приморских озер (БПО).



Крупнозернистый алевролит – мелкозернистый песчаник, с хорошей сортировкой. Тонкая и очень тонкая косоволнистая слоистость с четкими серийными швами, от вогнутой до выпуклой. В средней части образца локальные перемены. Немного тонкого детрита.

Макрофаия отложений полуизолированного малоподвижного бассейнового мелководья (БП). Фаия песчано-алевритовых осадков активной части малоподвижного мелководья (БПА).



Песчаник мелкозернистый, сортированность материала от средней до хорошей. Мелкая косая однонаправленная слабосрезанная слоистость, обусловленная незначительными изменениями гранулометрического состава.

Макрофаия отложений подводной части дельты (БД). Фаия песчаных осадков конусов выноса рек (БДД).

Рис. 3.14. Модель литоцикла I порядка (элементарного ЛЦ) для мелководно-бассейнового ландшафта (см. табл. 3.4); на масштабных линейках - сантиметры

Общие закономерности в строении внутриконтинентальных нижнемезозойских терригенных толщ

При изучении многих терригенных внутриконтинентальных (угленосных) осадочных толщ раннемезозойского возраста (T_3-J_2) мы установили, что многопорядковая цикличность в их строении характеризуется удивительной схожестью мощностей выделяемых комплексов слоев – литоциклов (циклитов), несмотря на весьма существенные различия в геотектонической и палеогеографической обстановках формирования отложений. Общая характеристика их приводится в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Характеристика литоциклов раннемезозойских угленосных формаций в общих чертах

Литоцикл (порядок)	Наиболее характерная мощность, м	Чем представлен	Причины возникновения
IV	350-600	Свитой	Аллоциклические
III	80-130	Горизонтом, как частью свиты; большой группой фациальных комплексов	Смешанные, с преобладанием аллоциклических
II	25-50	Устойчивой группой фациальных комплексов	Смешанные: могут различаться в разных частях и горизонтах формаций
I	+ 5-15	Фациальным комплексом	Большей частью автоциклические

Особо остановимся на графическом способе изображения материалов, имеющем существенно важное как описательное, так и генетическое значение. Из табл. 3.5 следует многопорядковость литоциклов, «вкладываемых» друг в друга. Такой графический подход можно широко использовать в разных целях, для наглядной «подачи» имеющейся информации. Развернутый пример приведен на рис. 3.15. На нем последовательным «вложением» показано строение угленосной толщи – от мегаформации («а») до одного из тысяч слагающих ее слоев («g»). Поясним эту информацию, которая отображает (в явном или скрытом виде) значительную часть понятий, используемых в осадочной геологии.

1. На колонках «а» и «b» показаны самые общие данные о строении толщи в целом («а») или крупной составляющей ее части – формации («b»). Конечно же, состав выделяемых частей может быть показан только предельно укрупненно или очень приблизительно, как это и сделано на рис. 3.15, а в принципе – может и не показываться вообще (например, на схемах стратиграфического расчленения толщи). Кроме того, в самом общем виде целый ряд терригенных (угленосных) толщ или их частей могут быть охарактеризованы как чередование достаточно однотипных слоев алевроитового и песчаного состава, с прослоями углей.

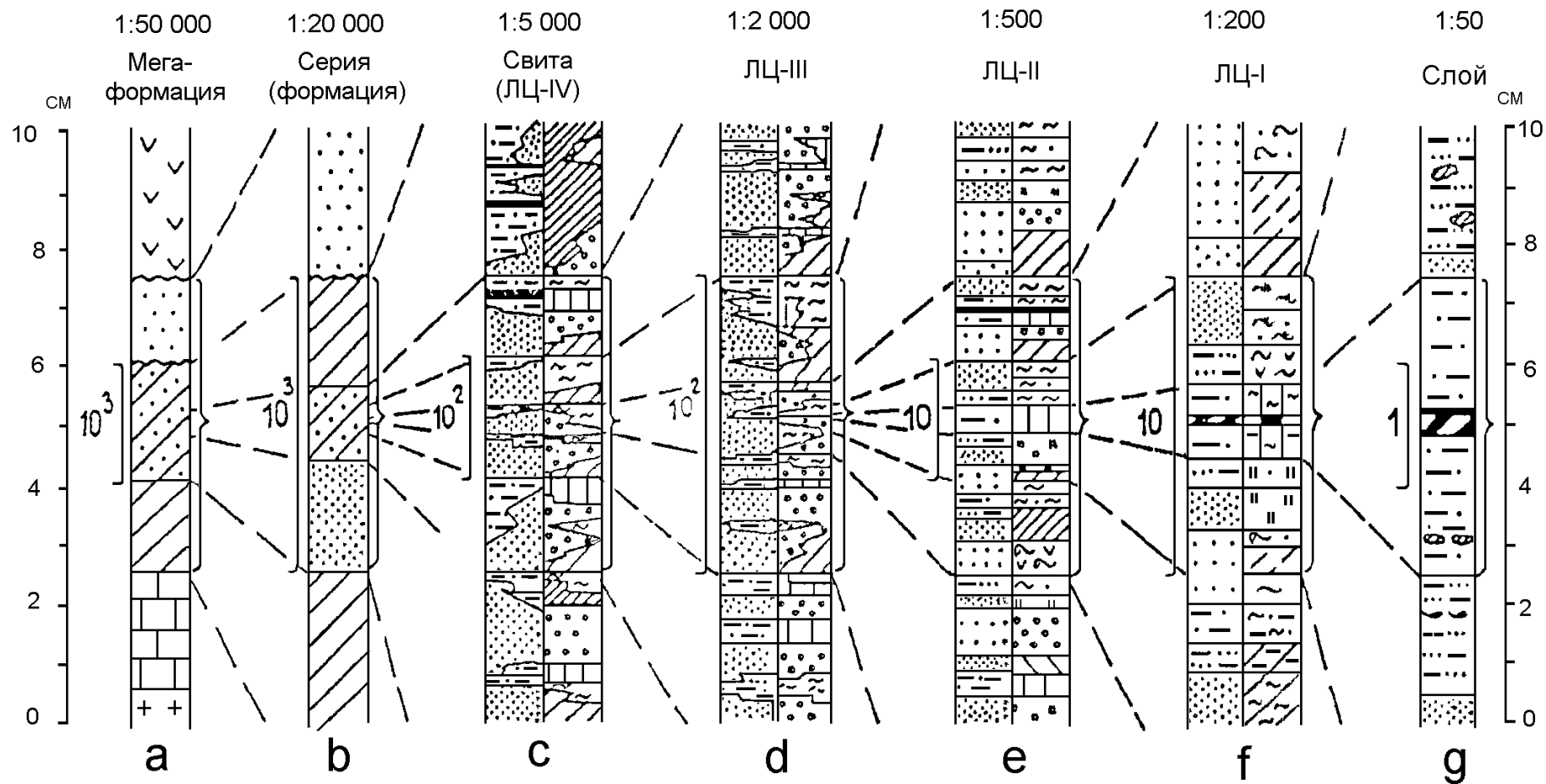


Рис. 3.15. Строение угленосных отложений.

Вверху – масштаб, ниже – характеристика интервалов, выделенных справа от колонок фигурными скобками.

Слева от колонок – длины интервалов, в метрах. Пояснения в тексте

2. На крайней справа колонке «g» можно показать довольно «мелкие» признаки небольших по мощности прослоев. Обычно такой масштаб (1:50) является наиболее детальным при изображении зарисовок, колонок строения угольных пластов или коллекторов и проч. (значительно реже используется масштаб 1:20). Кстати, этот же масштаб 1:50 соответствует и масштабу записи кривых детализационного каротажа. Отметим, что в принципе «вложение» более детальных фрагментов можно продолжить в правой части рис. 3.15. При масштабе $1:20 \div 1:5$ мы перейдем к изображению информации в виде детальных зарисовок стенок выработок и образцов; масштабе $1:2 \div 5:1$ – зарисовкам и фотографиям мезошлифов; еще более детальных масштабах – изображению соотношений зерен и т. д.

3. Показанные между этими крайними членами ряда – формацией и слоем колонки «с», «d», «е» и «f» изображены в двух вариантах: слева показан литологический (гранулометрический) состав отложений, а справа - их генезис. Для последующих рассуждений сделаем одно отступление. Общепринято, что высота знака на чертеже должна быть не менее 2 мм. С учетом этого в табл. 3.6 показано, какой минимальный по мощности интервал может быть изображен на каждой из колонок.

a, b		1		2		3		4		5		6		7				
c, d		8		9		10		11		12		13		14				
e, f, g		15		16		17		18		19		20						
e		21		22		23		24		25		26		27		28		29
f		30		31		32		33		34		35		36				
		37		38		39		40		41		42		43				
		44		45		46												

Обозначения к рис. 3.15 (слева указаны индексы колонок, к которым данная группа обозначений относится):

1 - изверженные, 2 - карбонатные, 3 - вулканогенные породы; угленосные отложения: 4 - преимущественно алевритовой, 5 - алевропесчаной. 6 - песчаной тонкозернистой и 7 - песчаной грубозернистой размерности;

литологические комплексы: 8 - тонкозернистый (аргиллиты, алевролиты). 9 - песчаный; фациальные комплексы: 10 - бассейновый, 11 - дельтовый, 12 - заливно-лагунный, 13 - озерный, 14 - аллювиальный;

породы: 15 - углистые, 16 - мелкозернистый и 17 - крупнозернистый алевролиты; 18 - мелкозернистый, 19 - среднезернистый и 20 - крупнозернистый песчаники;

макрофации отложений: 21 - открытого и 22 - прибрежного бассейнового мелководья, 23 - подводной части дельты, 24 - заливов, 25 - мелких прибрежных водотоков, 26 - поймы, 27 - русла, 28 - открытых и 29 - застойных водоёмов;

фации (генетическая составляющая): 30 - подвижного. 31 - малоподвижного; 32 - прибрежного и 33 - застойного бассейнового мелководья; 34 - основных и 35 - базальных частей конусов выноса рек: 36 - подвижного и 37 - слабоподвижного мелководья заливов; 38 - русел равнинных рек; 39 - проточной и 40 - слабопроточной поймы; 41 - слабопроточных, 42 - заиляющихся и 43 - заболачивающихся озёр;

44 - гальки пород и 45 - крупные растительные остатки (для колонки «g»); 46 – угли (торфяные болота) для колонок «с» – «g»

Таблица 3.6

**Минимальная мощность интервала, который может быть изображен
на соответствующей колонке**

Колонка	Масштаб	Мощность интервала, м	Чему он соответствует
«а»	1:50 000	100	III } II } I } Порядок литоциклов (комплексов слоев)
«b»	1:20 000	40	
«с»	1:5 000	10	
«d»	1:2 000	4	Слои разной мощности
«е»	1:500	1	
«f»	1:200	0,4	
«g»	1:50	0,1	Прослои

Вначале определим, на каких колонках может быть изображена полная информация, полученная в ходе документации выработок. Минимальная мощность слоя, подлежащего выделению и самостоятельному описанию, большинством руководств определена в 0,4 м. На практике средняя мощность слоя при «обычной» документации составляет 2-3 м, детальной – 1-1,5 м (очень редко наблюдаются однородные слои мощностью 5 и более метров). Исходя из сведений, приведенных в табл. 3.6, установим, что *все* выделяемые слои могут быть показаны на колонке «f» масштаба 1:200, соответствующего масштабу записи каротажных кривых. Уже на колонке «е» масштаба 1:500 все слои попросту не могут быть показаны, и поэтому они неизбежно будут здесь объединяться, либо (в особых случаях, например для угольных прослоев) будет искажаться их реальная мощность. Что же касается колонок «d» и «с», то информация на них может быть показана *только* при условии объединения слоев в различные комплексы (см. рис. 3.15). Те же соображения относятся и к колонкам фациального состава.

В табл. 3.7 приведены рекомендации общего характера для выполнения графических работ, иллюстрирующих строение изучаемых толщ.

Таблица 3.7

Рекомендуемое применение колонок различного масштаба

Колонка	Масштаб	Что изображается	Для чего используются
«а»	1:50 000 (1:25 000)	Серии, формации	Общие представления о строении толщи (стратиграфические колонки без детального «наполнения»)
«b»	1:20 000	Свиты, подформации	
«с»	1:5 000	Свиты, ЛЦ III порядка	Детальная стратиграфическая колонка; схематические разрезы
«d»	1:2 000	ЛЦ III, II порядков	Геологические разрезы с увязкой отдельных горизонтов
«е»	1:500	ЛЦ III, II порядков; реже слои (с обобщением)	Геологические разрезы разного характера в детальности
«f»	1:200	Слои	Детальные геологические разрезы, колонки скважин
«g»	1:50 (1:20)	Слои, прослои	Детальные колонки, зарисовки

Рекомендации по циклокорреляции

Корреляция разрезов осадочных толщ – один из ключевых вопросов их изучения. Эта задача предельно усложняется для сложнопостроенных и резко изменчивых внутриконтинентальных терригенных толщ, примером чему является тюменская свита Западно-Сибирского осадочного мегабассейна. Границы комплексов слоев, т. е. литоциклов различных порядков, достаточно надежно прослеживаются по латерали. Естественно, чем выше порядок литоцикла, тем лучше и на больших расстояниях он может быть прослежен: это непосредственно вытекает из изложенных выше сведений. В табл. 3.8 определено, литоциклы каких порядков и с какой степенью детальности могут и должны быть установлены на различных стадиях нефтегазоразведочных работ. Тем самым, продолжая идеи Ю. А. Жемчужникова, мы можем утверждать: разведку надо вести, исходя из циклов и опираясь на них.

Таблица 3.8

Выделение литоциклов на различных стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ (применительно к юрским отложениям Западно-Сибирского осадочного мегабассейна)

Этап	Стадия	Установление цикличности (порядок литоциклов см. в табл. 3.6)		
		в общих чертах	достоверно	детально
Региональный	Прогноз нефтегазоносности	IV (III)	–	–
	Оценка зон нефтегазоносности	III	IV	–
Поисково-оценочный	Выявление объектов поискового бурения	II	III	III, IV
	Подготовка объектов к поисковому бурению	II	II, III	III
	Поиск и оценка месторождений (залежей)	I	II (I)	II
Разведочный	Разведки и пробной эксплуатации	–	–	I

В качестве иллюстрации изложенного приведем конкретный пример. На рис. 3.16, в левой его части, показано расположение пяти скважин, пробуренных на Шушминском месторождении Шаимского нефтегазоносного района. По ним изучен керн отложений тюменской свиты, с выделением литоциклов (пример подобной колонки на соседнем, Тальниковом месторождении приведен на рис. 3.7). Сопоставление выделенных на колонках литоциклов дало следующие результаты. По положению тюменской свиты в разрезе четко обособились две группы скважин. Для скв. 10525 и 101683, расположенных восточнее, характерно более глубокое залегание свиты: по кровле на 40-55 м ниже, чем в скв. 10521, 10438 и 10186, составляющих вторую группу. Этим же скважинам, особенно 10525, присуща и повышенная мощность свиты, до 83,6 м в последней. Геологически данный факт легко объясняется первоначальным вовлечением в процессы седиментации отдельных блоков фундамента (а не всей территории целиком), что отмечено кружком с цифрой 1.

Сходная ситуация имеет место и по профилю скв. 10521-10438-10186, где тюменская свита в целом расположена существенно выше по разрезу (см. выше), а её контакт с породами фундамента приподнят по сравнению с двумя другими скважинами на 50-100 м. Относительная разница в отметках кровли и подошвы тюменской свиты на 10-50 м, по-видимому, связана с более поздним вовлечением в седиментацию в целом более *западных* по отношению к профилю А-Б участков. Неровности фундамента помечены кружком 2.

Наиболее выдержан по мощности и устойчив на площади ЛЦ-2. В скв. 10438 и 10683 его средняя и нижняя части представлены уверенно выделенным заливовым комплексом пород. Прежде всего по этой причине, не *противоречащей* увязке по данным ГИС, нами выполнена корреляция, показанная на рис. 3.16. Из неё следует, что отложения ЛЦ-1 в скв. 10186 резко сокращены по мощности в результате их *срезания* более молодыми (кружок 3 на рис. 3.16). Именно эта модель находит хорошее подтверждение более высоким гипсометрическим положением тюменской свиты в данной скважине. Разница по гипсометрии составляет 6,1 м со скв.10521 и 15,9 м со скв.10438, в среднем – 11,0 м. Разница же мощности ЛЦ-1 по скв. 10186 (3,6 м) и её среднего значения по четырём другим скважинам (15,0 м) составляет 11,4 м. Такое схождение можно истолковывать как подтверждение предлагаемой модели.

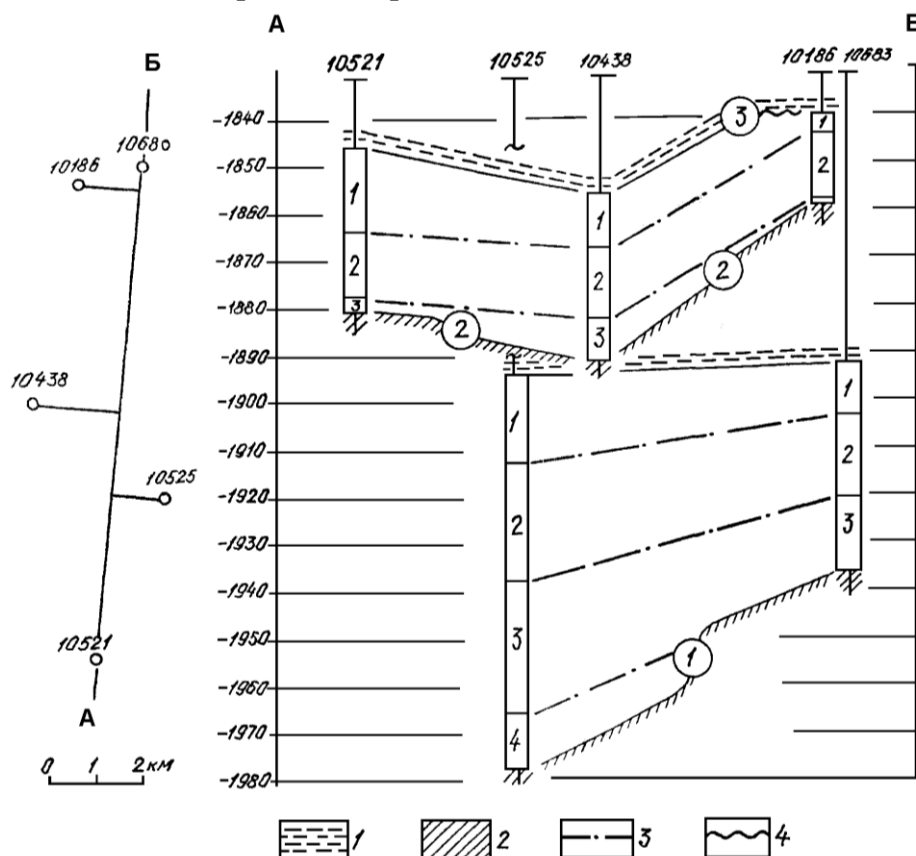


Рис. 3.16. Корреляция отложений тюменской свиты по изученным скважинам (расположение скважин в левой части рисунка):

1 - отложения даниловской свиты; 2 - доюрский фундамент; 3 - границы литоциклов II порядка, номера которых указаны в колонках; 4 — предполагаемое срезание верхней части тюменской свиты. Цифрами в кружках отмечены особые случаи, описанные в тексте

В качестве *заключения* (финального аккорда) к этюду отметим следующее. В настоящее время идет процесс формирования междисциплинарного научного направления – *синергетики*. Разговор об основах и понятиях, используемых при изучении сложных систем любой природы, мы поведем в заключительном, 6-м этюде. Здесь же уместно отметить, что в рамках постоянно действующего научного семинара «Самоорганизация устойчивых целостностей в природе и обществе» очередной, пятый по счету, посвящен проблеме «Фракталы и циклы развития систем».* Тем самым подчеркивается, что фрактальность (делимость) геологических (в нашем случае) тел и явления цикличности связаны теснейшим образом.

Фракталами в 1975 г. Б. Мандельбротом названы самоподобные структуры дробной делимости.⁷⁴ Наиболее примечательным оказалось, что фрактальное моделирование представляет собой хороший инструмент для изучения скрытого порядка в динамике неупорядоченных (хаотических) систем. Тем самым, выделяя «порядок из хаоса», мы действуем согласно концепции Ю. А. Жемчужникова, увидевшего организованность (цикличность) в представляемом до того беспорядочном чередовании осадочных слоев.

Возвращаясь к первой интерлюдии, поневоле задумаешься: а может быть составители «Манифеста циклической науки» правы? В любом случае такие фундаментальные и всеобъемлющие издания, как Атлас⁷⁵, будоражат умы и заставляют творчески осмысливать многообразие проявлений цикличности в самых разных аспектах.

* Сайт <http://lpu.r.tsu.ru>

⁷⁴ Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Ин-т компьютерных исследований, 2002. 656 с.

⁷⁵ Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 2. М.: Науч. мир, 1998. 430 с. Т. 3. М.: Янус-К, 2002. 672 с.

Этюд 4. СКОЛЬЗЯЩИЕ КОЛЛЕКТОРЫ

Интерес к расшифровке механизма слоенакопления, приводящего к формированию сложнопостроенных терригенных осадочных толщ, не ослабевает на протяжении всего периода их активного геологического изучения, то есть как минимум последних полутора столетий. Многие стороны этого процесса рассмотрены уже во второй половине XIX – начале XX в. в работах Н. А. Головкинского, А. А. Иностранцева, И. Вальтера, Дж. Баррелла и других исследователей. Однако, несмотря на кажущуюся простоту и принципиальную воспроизводимость, полного и исчерпывающего объяснения процессы осадконакопления пока еще не получили. Частично это будет видно из предлагаемых интерлюдий.

Интерлюдия 1. Механизмы слоеобразования и режимы осадконакопления (общие представления)

Детальный анализ механизма образования различных уровней слоистой текстуры осадочных толщ (см. рис. 1.2 и 3-ю интерлюдия к 1-му этюду в целом) позволил выдающемуся геологу и в том числе литологу Николаю Брониславовичу Вассоевичу (1902-1981) в конце 1940-х гг. выделить среди генетического многообразия слоистости два ведущих типа.⁷⁶ Согласно его взглядам, образование слоев осадочного материала на дне морского водоема происходит вследствие взаимосвязанности двух, на первый взгляд противоположных, явлений. Первое – это отложения синхронных, но литологически изменчивых по латерали образований: *мутационный* тип слоистости. Второе – отложения асинхронные, изменяющие свой возраст по отношению к береговой линии водоема: *миграционный* тип.

Развивая эти представления, С. И. Романовский, применительно к закономерностям в строении толщ, предложил рассматривать три класса циклогенеза: миграционный, мутационный и смешанный – миграционно-мутационный (рис. 4.1),⁷⁷ с выделением отдельных режимов по направленности смены слоев внутри их комплексов – *циклов*. Для внутриконтинентальных терригенных толщ три режима миграционного класса, а также хроногенный и флювиальный, по сути разобраны нами в предыдущем, 3-м этюде.

Выделенные режимы характеризуют конкретные, единичные циклы. При рассмотрении же общей направленности в смене крупных комплексов пород С. И. Романовским предложено различать *сублационный* (лат. *sublatio* – опускание) и *демиссионный* (лат. *demissio* – опускание) типы разрезов. В первом случае речь идет о повышении базиса эрозии, а во втором – его относительном понижении, т. е. об общей регрессивности и трансгрессивности, проявляющейся в смене циклов различной природы и различного состава. Небезынтересно, что именно такой подход лежит в основе сиквенс-стратиграфии.⁷⁸

⁷⁶ Литология и нефтегазоносность / Н. Б. Вассоевич. Избранные труды. М.: Наука, 1990. 264 с.

⁷⁷ Романовский С. И. Динамические режимы осадконакопления. Циклогенез. Л.: Недра, 1985. 263 с.

⁷⁸ Дополнения к Стратиграфическому кодексу России. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 112 с.



Рис. 4.1. Классификация режимов образования элементарных седиментационных циклов⁷⁷

Интерлюдия 2. Закон Головкинского

К мысли об отсутствии все и вся секущих мифических изохронных плоскостей начинают приходить даже ортодоксальные стратиграфы, о чем свидетельствует введение в Дополнения к Стратиграфическому кодексу России⁷⁸ раздела по сиквенс-стратиграфическим подразделениям. Однако при этом не всегда и не всеми принимается (вспоминается?), что в основе любых суждений о возрастных изменениях одинаковых (квазиоднородных) геологических тел должен лежать закон Н. А. Головкинского (1868 г.) «переоткрытый» И. Вальтером (1893-1894).

И. П. Шараповым, глубоко проанализировавшим с позиций строгой логики основные геологические понятия, принципы и суждения, закон Головкинского-Вальтера сформулирован следующим образом. «Фациальные разновидности осадочной породы любого бассейна седиментации сменяются по стратиграфической вертикали в том же порядке, как и по горизонтали» (⁷⁹, с. 97). Относясь к *предметным* законам, имеющим в основе конкретные реалии (геологические тела), он освещает *процессы*, происходившие с ними в течение какого-то промежутка времени.

Закон Головкинского и непреложно следующее из него *возрастное скольжение литологических границ* детально разобраны во многих работах, среди которых особенно укажем на монографии И. А. Вылцана⁸⁰, В. И. Попова и В. Ю. Запрометова⁸¹, С. И. Романовского⁸². Последний абсолютно точно отметил, что «не диахронность, а изохронность границ свит с миграционным типом слоистости

⁷⁹ Шарапов И. П. Метатегология: Некоторые проблемы. М.: Наука, 1989. 208 с.

⁸⁰ Вылцан И. А. Осадочные формации Горного Алтая. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1974. 189 с.

⁸¹ Попов В. И., Запрометов В. Ю. Генетическое учение о геологических формациях. М.: Недра, 1985. 457 с.

⁸² Романовский С. И. Николай Алексеевич Головкинский (1834-1897). Л.: Наука, 1979. 192 с.

является исключением, да и то чисто практически, пока нет методов, которые были бы в состоянии поймать градиент скольжения» (⁸³, с. 205).

Общее представление о законе Головкинского дает модель, представленная на рис. 4.2. Из нее, в частности, следует, что, несмотря на скольжение литологически однородных (точнее, квазиоднородных) слоев, границы их комплексов, фиксируемых точками поворота (т. е. литоциклов – см. этюд 3), являются изохронными (в пределах точности рассуждений).

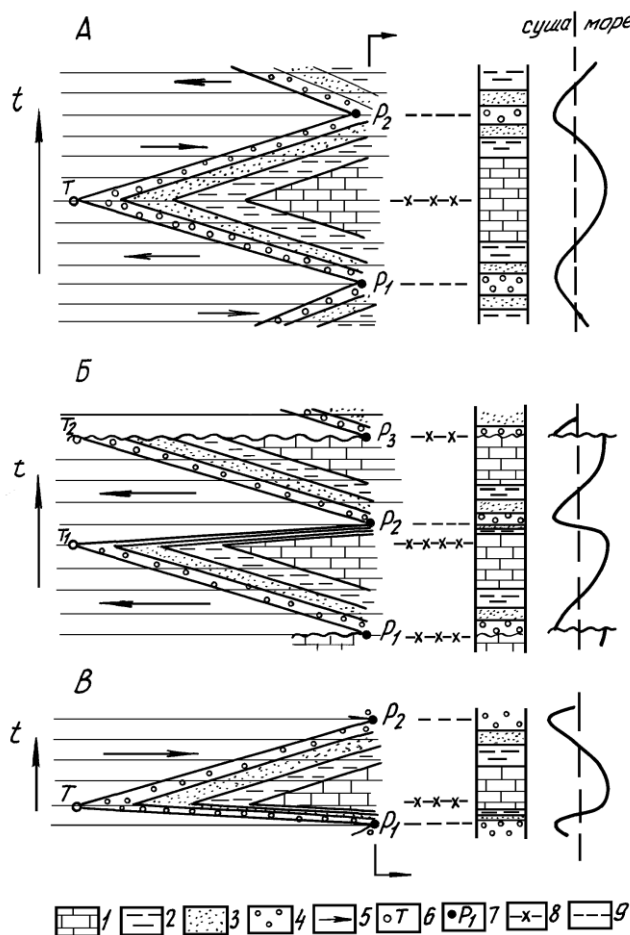


Рис. 4.2. «Скольжение» слоев одинакового литологического состава по времени:

А – при достаточно равномерных колебательных движениях; Б – при преобладании погружения, с резкими поднятиями; В – при смещении источника сноса.

Режимы (для миграционного класса: см. рис. 4.1): А – трансгрессивно-регрессивный, Б – трансгрессивный, В – регрессивный.

Обозначения: 1 – известняк; 2 – алевролит, аргиллит; 3 – песчаник; 4 – гравелит; 5 – перемещение береговой линии; 6 – поворот от трансгрессии к регрессии; 7 – поворот регрессии к трансгрессии; 8 – положение в разрезе максимальной трансгрессии; 9 – то же, для регрессии

Всеобъемлемость закона о скольжении литологических границ можно показать в модельном виде. На рис. 4.3 приведены три примера, относящихся к принципиально разным уровням организации геологических тел. Это конкретный образец керна (рис. 4.3, А), классический разрез дельты (рис. 4.3, Б) и модель неокомского клиноформного комплекса Западно-Сибирского осадочного мегабассейна (рис. 4.3, В). Несмотря на гигантский диапазон в размерах изображенных геологических тел, налицо их сущностное сходство. Объединяет все эти примеры S-образное строение (нередко для клиноформ употребляется свободное понятие «сигмоидная форма»), непреложно следующее из общего правила скольжения во времени достаточно однородных слоев, слоев и их комплексов.

Из приведенных на рис. 4.3. примеров неизбежно следует весьма важное положение о признании наличия и высокой значимости *перерывов* в осадконакоплении, что рассмотрено в этюде 2. Создатель фациально-динамического анализа осадоч-

⁸³ Романовский С. И. Физическая седиментология Л.: Недра, 1988. 240 с.

ных толщ В. И. Попов среди основных литологических законов выделил закон Вальтера-Усова: «...постепенная миграция горизонтальных фациальных зон по поверхности Земли временами сменяется внезапным их перемещением, вследствие чего в разрезе непрерывно и зонально откладывающихся осадков возникают перерывы горизонтальной и вертикальной их последовательности»⁽⁸¹⁾, с. 67). Нетрудно заметить его особенно четкую реализацию на рис. 4.3, Б.

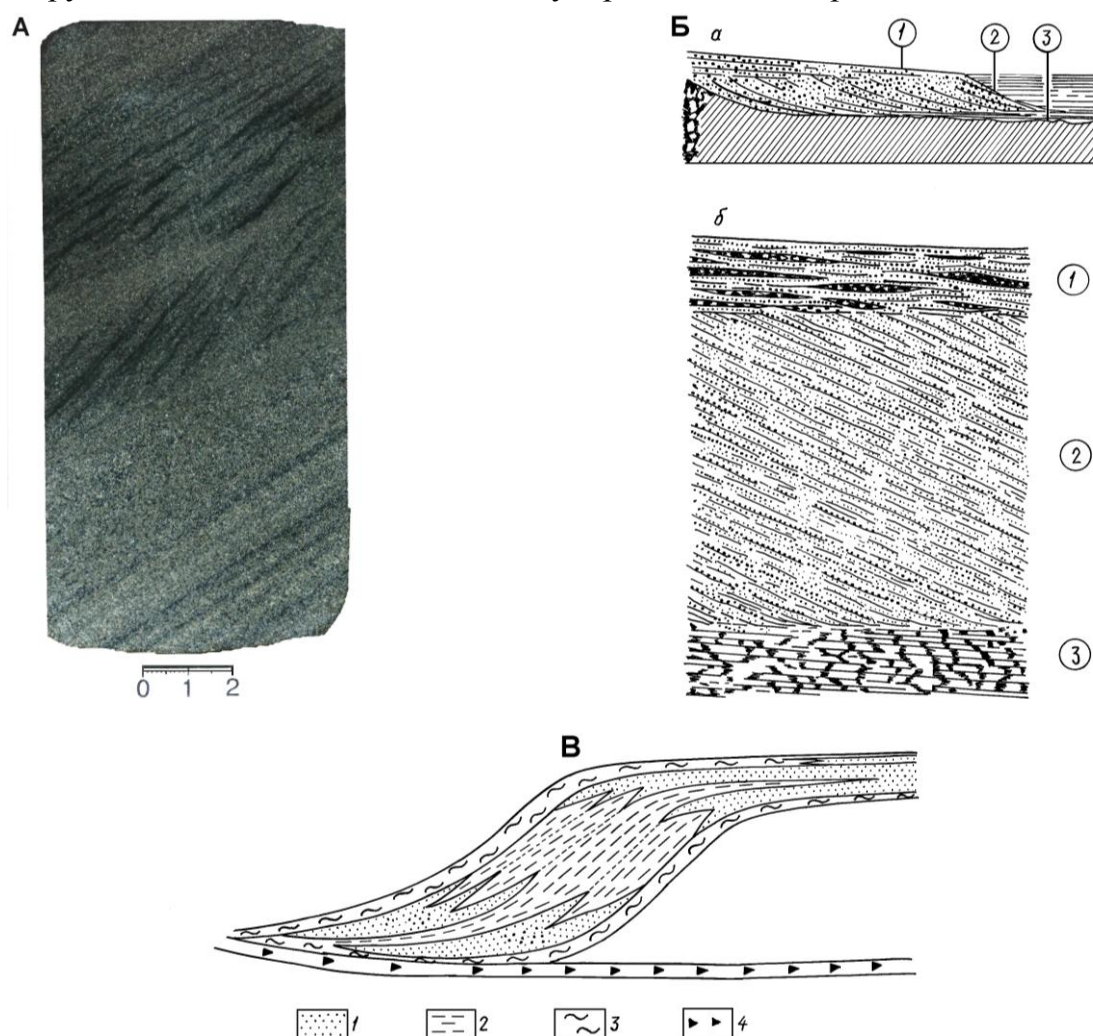


Рис. 4.3. Примеры процессов миграционной седиментации:

А – Косослоистые серии с S-образными слойками в сериях крупной косои однонаправленной слоистости. Нерюнгринская свита (J_3), Южно-Якутский каменноугольный бассейн.

Б – Плейстоценовая дельта гилбертова типа в озере Бонневил: а – разрез, б – вертикальная фациальная последовательность, образовавшаяся в результате продвижения. По Г. К. Гилберту (Gilbert, 1885) и Дж. Барреллу (Barrell, 1912, 1914): из⁸⁴

1 – поверхностный слой – преимущественно горизонтально залегающие гравелиты; 2 – передовой слой – слои песка и гравия, наклоненные под углом 10-15°; 3 – донный слой – слабо наклоненные тонкозернистые осадки.

В – Принципиальная схема строения клиноформ неокского комплекса Западной Сибири:⁸⁵

1 – песчано-алевритовые отложения; 2 – глинистые отложения; 3 – региональные глинистые пачки; 4 – битуминозные отложения баженовской свиты

⁸⁴ Обстановки осадконакопления и фации / Пер. с англ.; под ред. Х. Г. Рединга. М.: Мир, 1990. Т. 1. 352 с.; т. 2. 384 с.

⁸⁵ Северное Приобье Западной Сибири. Геология и нефтегазоносность неокма (системно-литологический подход) / Ю. Н. Карогодин, В. А. Казаненков, С. А. Рыльков, С. В. Ершов. Новосибирск: Изд-во СО АН, филиал «Гео», 2000. 200 с.

Интерлюдия 3. Зубчатость слоевых границ

Сам Н. А. Головкинский в своей знаменательной работе⁸⁶ отмечал: «... береговые линии постоянно изменяют площадь своего распространения, то вытягиваясь в открытое море, в область известняка, то отступая к берегу. Это обуславливает неравномерную зубчатость слоя, зубцы эти чрезвычайно острые вытянутые, являются в виде тонких прослоек, перемежающихся с породой смежного слоя». Такая картина следует из авторского показа механизма осадконакопления на шести последовательных детальном схемах (рис. 4.4).

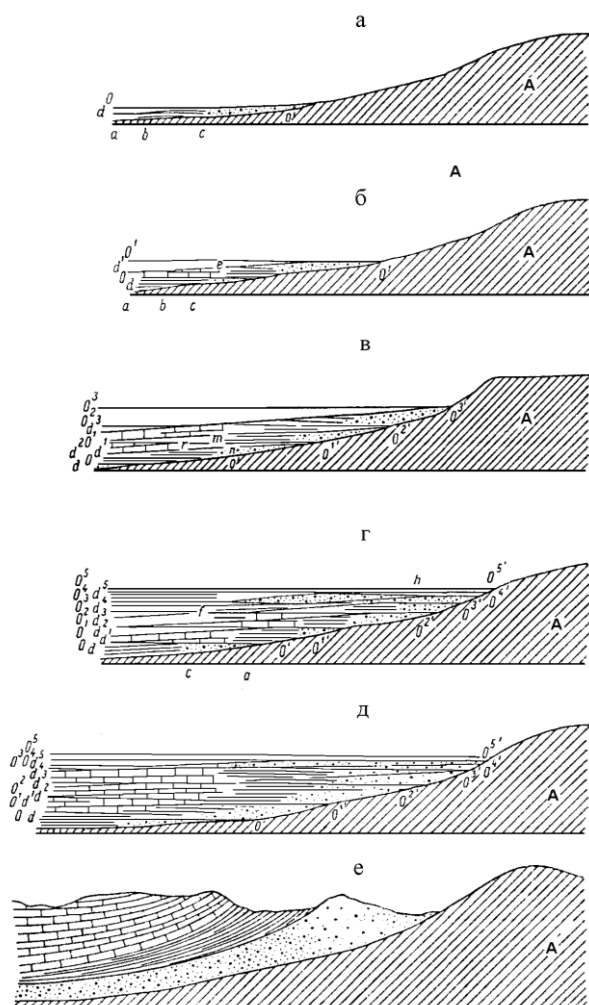


Рис. 4.4. Шесть стадий формирования миграционной слоистости (по Н. А. Головкинскому, 1868; из работы С. И. Романовского⁸²)

ведется сверху вниз, то граница – нижняя. Тем самым в характеристику границы вкладывается понимание процессов, происходивших до или после ее формирования. 2. Границы слоевых элементов на уровне седиментогенеза и отчасти –

Зубчатость переходов фациальных зон, приводящую к неоднородности границ различных слоев низких порядков, охарактеризовал И. А. Вылцан⁸⁰, с учетом трехуровневой структуры строения осадочных толщ. Им же точно отмечена полифациальность слоев, которая с трудом устанавливается при их прослеживании «по-настоящему», т. е. на значительных расстояниях. Действительно, при дискретных наблюдениях слоев, протягивающихся на километры и десятки километров (особенно при изучении глубокозалегающих слоев исключительно по керну скважин) проследить латеральные изменения несоизмеримо труднее, чем оценить взаимоотношения с подстилающими и перекрывающими отложениями в каждой конкретной толще.

В табл. 4.1 приводится попытка охарактеризовать границы слоев для основных режимов осадконакопления, с учетом представлений, изложенных в 1-м и 2-м этюдах. Добавим к ней несколько пояснений. 1. Выделение «нижней» и «верхней» границ слоевых единиц (в принципе-то граница одна!) исходит из того, как мы оцениваем эти границы. Если слоевая единица рассматривается снизу вверх, то граница – верхняя. Если же ее оценка

⁸⁶ Головкинский Н. А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна. СПб., 1868. То же: «Материалы для геологии России». СПб., 1869. Т. 1. 143 с. (ссылка по С. И. Романовскому⁸²).

стратоседиментогенеза часто генетически обусловлены *дефицитом* фракций, о чем шла речь в 1-й интерлюдии 1-го этюда. 3. Вопросы, связанные с *длительностью* перерывов (диастем), частично разобраны в этюде 2.

Таблица 4.1

Характеристика границ основных слоевых единиц для рассматриваемых обстановок

Тип седиментогенеза (см. рис. 1.2)	Слоевая единица – СЕ (см. рис. 1.2, 1.3)	Режим седиментации (см. рис. 4.1)	Положение границы по отношению к СЕ	Характер границы (контакт)	Причины, обусловившие наличие границы (см. также табл. 2.2)
Грануло-седиментогенез	Слоек, серия слойков (группа серий)	Мутационный, хроногенный	Нижняя	Четкий	Сезонные, климатические изменения
			Верхняя	Четкий или постепенный	То же
		Миграционный	Нижняя	Резкий (в т. ч. «подбривание голов» у серий слойков)	Локальная эрозия (скрытый перерыв) – диастемы с малой длительностью
			Верхняя	Обычно постепенный	Автономные процессы внутри системы седиментации. Могут быть скрытые перерывы
Стратоседиментогенез	Слой	Мутационный, хроногенный	Нижняя	Четкий, резкий	Изменения климата, режима седиментации. Наличие диастем, в т. ч. значительной длительности
			Верхняя	Как постепенный, так и четкий	То же; диастемы вполне вероятны
		Миграционный, флювиальный	Нижняя	Резкий, часто эрозионный	Как внутри системы, так и наложенные. Почти всегда диастемы
			Верхняя	Часто переход «через переслаивание» - зубчатость	Изменение режима седиментации, сопровождающееся мелкими диастемами
Цикло-седиментогенез	Элементарный литоцикл I порядка	Флювиальный	Нижняя	Резкая, эрозионная	Миграция русел: тектонические причины. Всегда перерыв
			Верхняя	Обычно пульсационная	Скачкообразная смена режима, обилие диастем
		Миграционный	Нижняя	Обычно «зубчатый»	Возрастное скольжение, фиксирующееся перерывом
			Верхняя	То же	То же

Завершив интерлюдии, перейдем к изложению собственно авторских позиций, во многом имеющих модельный характер, а также их проверке на фактическом материале.

Место полезного ископаемого в литоцикле

Хотя работы по изучению геологического строения любой по размерам территории можно и нужно рассматривать в качестве самостоятельного научного процесса, их главной целью без сомнений является обнаружение и оценка местоположения того или иного *полезного ископаемого*. В осадочных толщах последние почти всегда имеют пластовую форму, что само по себе определяет высокую значимость представлений о цикличности для исследований на всех стадиях поисково-разведочного процесса.

Вопрос о *месте* полезного ископаемого в цикле в общем виде рассмотрен в работе⁸⁷. Основные положения сделанного разбора сводятся к следующим позициям.

1. Каждое полезное ископаемое занимает свое определенное место в седиментационном цикле.

2. Различные полезные ископаемые, формирующиеся в разнообразных условиях палеогеографии, климата, тектоники и гидродинамики, тяготеют в общем к более или менее одинаковому положению в литоциклах.

3. Большинство полезных ископаемых в основном приурочивается к области «верхнего» перегиба циклической кривой – к концу регрессивной фазы или к началу трансгрессивной, реже – к «нижнему» перегибу, т. е. к конечной фазе трансгрессии.

Прослеживание литоциклов в пределах месторождения и сопоставление циклического строения разных месторождений позволяет точно проследить и заключенное в них полезное ископаемое. Корреляция ЛЦ позволяет выделить также места, где наиболее вероятно встретить полезное ископаемое, т. е. прогнозировать его наличие. В зависимости от типа ЛЦ можно говорить о тех или иных качественных показателях заключенного в нем полезного ископаемого. Но для этого необходимо знать его предысторию, а также последующее его развитие. Это наиболее осуществимо, если ЛЦ начинать с начала регрессии, чтобы полезное ископаемое было в его середине (на этом мы останавливались выше).

При разведочных работах, если на каком-либо участке или в разведочной скважине полезное ископаемое не обнаружено, то знание места, которое оно должно занимать в литоцикле, поможет определить причину этого отсутствия методом фациально-циклического анализа.

Как следует из приведенных данных, *удобное* положение полезного ископаемого в середине литоцикла косвенно подтверждает правильность выделения таковых по смене трансгрессивной ветви смены пород на регрессивную (это подробно описано в 3-м этюде).

Поясним изложенное на примере угленосных толщ и угольных пластов. В принципе, отражая цикличность в виде синусоидальной кривой, аппроксимирую-

⁸⁷ Ботвинкина Л. Н., Алексеев В. П. Цикличность осадочных пород и методика ее изучения. Свердловск: Изд-во Уральск. ун-та, 1991. 336 с.

щей механизм чередуемости различных слоев, за границу циклов можно принимать любую ее точку, хотя наилучшим образом отражают эти границы, естественно, *экстремумы* (см. этюд 2). Поскольку таких экстремумов два: начала регрессии и начало трансгрессии, в отечественной угольной геологии уже 50 лет существует два подхода: принятие за начало цикла угольного пласта (школа Г. А. Иванова) и начало регрессивного ряда фаций (школа Ю. А. Жемчужникова) – в последнем случае угольный пласт расположен в средней части цикла. Именно такой подход предпочтителен (кроме других соображений) и тем, что полезное ископаемое (не только уголь) рассматривается в неразрывной связи с предшествующими и последующими процессами осадконакопления, т. е. в историко-геологическом аспекте. Это существенно облегчает корреляцию разрезов и определение места и положения полезного ископаемого. Такое положение хорошо просматривается на основных материалах, иллюстрирующих выделение литоциклов, которые помещены в 3-м этюде: см. рис. 3.7 (колонка скв. 10320, вскрывшей ряд угольных пластов) и табл. 3.4 (модели литоциклов).

Положение коллекторов в литоциклах

Вопросы, связанные с корреляцией угольных пластов, как составных частей комплексов слоев, по сути, заложены уже в работах Л. И. Лутугина и на сегодняшний день положительно решены во многих угольных бассейнах (см. выше). Значительно сложнее обстоит дело с прослеживанием *песчаных горизонтов*, во многих толщах являющихся основными *коллекторами* нефтегазовых флюидов – прежде всего, исходя из их существенно меньшей генетической выдержанности, а также значительного фациального разнообразия.

Не претендуя в данной публикации на детальный анализ проблемы, обозначим некоторые варианты изменения состава литоциклов в предельно сжатом, *модельном* виде (рис. 4.5). На нем, снизу вверх, изображены четыре литоцикла I порядка (I, II, III, IV), которые по общему изменению фациального состава группируются в два литоцикла II порядка (А, Б). В целом изображенный разрез соответствует литоциклу III порядка (подчеркнем условность приведенного примера).

Первый (снизу) литоцикл I порядка (ЛЦ-I) является неполным (урезанным), дискретным во времени и сложен аллювиальными отложениями (варианты: пролювиально-озерными, аллювиально-озерными и т. п.). В его основании обычно залегают грубозернистые отложения, горизонты которых часто хорошо коррелируются на обширных территориях.

Залегающий выше ЛЦ-II в левой части рисунка расположен ближе к области сноса и аналогичен предыдущему ЛЦ-I. В правой же его части, относящейся к области приемного водоема, аллювиальные отложения замещаются дельтовыми, а завершается этот литоцикл, имеющий здесь уже полное строение, отложениями бассейнового мелководья. Песчаный горизонт (коллектор) 2 в нижней части ЛЦ-II обычно также хорошо прослеживается на значительных площадях.

Оставив описание горизонта 3 для следующего раздела, перейдем к верхней половине разреза. Здесь верхняя часть ЛЦ-III и нижняя ЛЦ-IV представлены песчаным горизонтом (коллектором) 4, причем граница ЛЦ расположена «внут-

ри» коллектора. Естественно, положение песчаных слоев также может (и даже должно) «скользить» относительно границ ЛЦ, в силу своей диахронности. Опре-

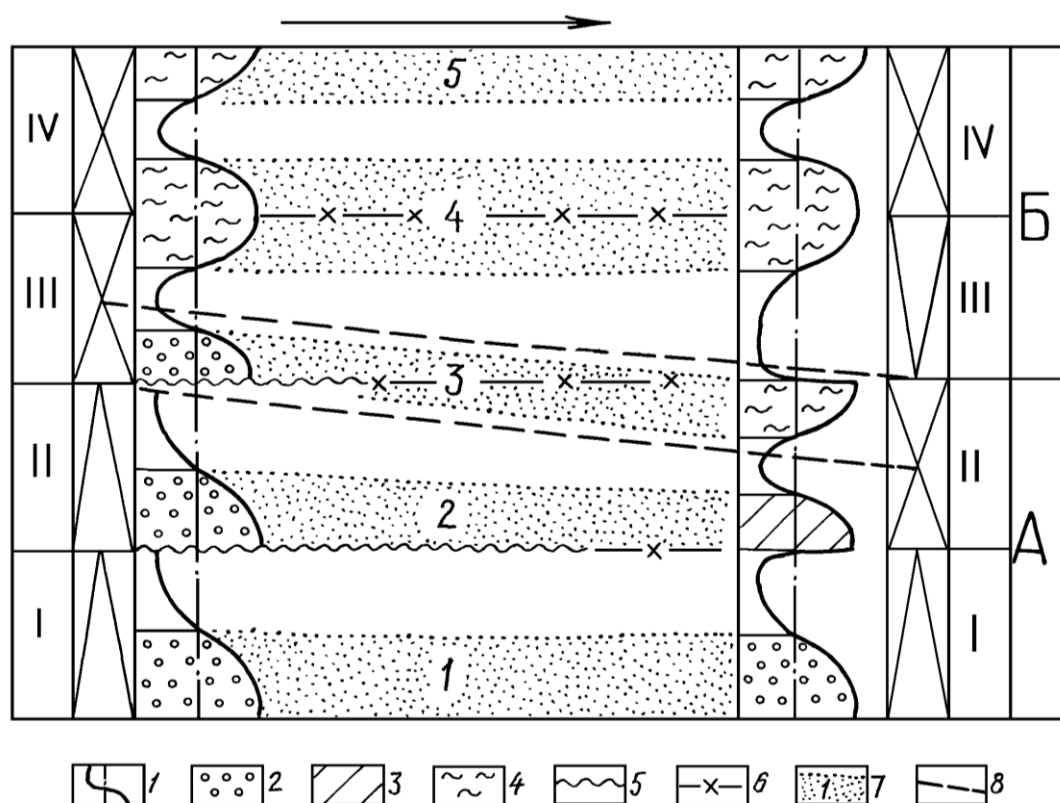


Рис. 4.5. Изменения в составе литоциклов (генерализованная модель для внутриконтинентальных терригенных отложений):

1 – обобщающая гранулометрическая кривая и линия, отделяющая песчаники (справа); генезис отложений (обобщенно): 2 – аллювиальные русловые, 3 – подводнодельтовые, 4 – мелководно-бассейновые (баровые и открытой части водоема); 5 – эрозионный контакт; 6 – границы литоциклов; 7 – песчаные горизонты (коллекторы) и их номера; 8 – инверсия циклита (пояснения в тексте). Стрелка вверху указывает на направление сноса материала

делить это скольжение на небольших площадях можно только при детальной корреляции отложений, с использованием литолого-фациального анализа. Наконец, самый верхний ЛЦ-IV сформирован в условиях отчетливо регрессивно-трансгрессивного миграционного режима, с формированием песчаного горизонта (коллектора) 5 в фазу максимальной трансгрессии.

Из изложенного следует важный в практическом отношении вывод. При изменении фациального состава отложений положение коллекторов в ЛЦ может *полярно* изменяться, что и отображено на предложенной модели. Приурочиваясь к нижней части обычно неполных, урезанных аллювиальных ЛЦ, в мелководно-бассейновых (баровых) ЛЦ коллекторы размещаются в их верхней части. В принципе это положение изложено в работе⁸⁵, где четко указано на двойную приуроченность песчаных тел в разрезе неокома Северного Приобья Западной Сибири (см. также рис. 4.3, В). Основная их локализация присуща верхним частям «клиноциклитов», а дополнительная – базальным основаниям.

Скольжение коллекторов и инверсия «циклитов»

Граница между ЛЦ-II и ЛЦ-III (см. рис. 4.5), являющаяся и границей литоциклов более высокого, II порядка (ЛЦ-А и ЛЦ-Б), фиксирует существенную смену условий осадконакопления. Особенно важно диахронное *скольжение* песчаного горизонта (коллектора) 3 относительно изохронной границы литоциклов. Не исключено, что мы впервые показываем именно такую принципиальную возможность полного «перехода» коллектора из одного литоцикла в другой.

На том же рис. 4.5 выделенные на генетической основе (по изменению фациального состава) литоциклы охарактеризованы и в известной «треугольной» системе Ю. Н. Карогодина⁸⁸. Оставляя оценку этого подхода для следующего этюда, определим, что в условиях абсолютного преобладания бескернового бурения в нефтяной геологии «лучше это, чем ничего». В условных разрезах на рис. 4.5, как в левой, так и в правой колонках выделяется по 6 треугольников, характеризующих направленность изменения гранулометрического состава (проциклит – от грубого к тонкому, рециклит – от тонкого к грубому). В обеих колонках именно третий треугольник снизу, включающий коллектор 3, *меняет* свой характер: с проциклита в левой колонке на рециклит в правой. Такое явление трансформации – *инверсии* – для одних и тех же горизонтов нижней и средней юры Западной Сибири в элегантном модельном виде охарактеризовано А. Л. Бейзелем⁸⁹. Главным содержанием модели инверсии цикллитов ему представляется «... преобразование аллювиальных проциклитов в морские рециклиты за счет действия берега как барьерной зоны». На рис. 4.6 приводится возможный принципиальный вариант соотношения песчаных и глинистых ниже-среднеюрских толщ Западной Сибири, основанный на модели инверсии региональных цикллитов в береговой барьерной зоне. При этом мы полностью солидарны с А. Л. Бейзелем в следующем (приведем развернутую цитату из его работы⁸⁹): «... возникает вопрос – какова ... судьба тонкодисперсной составляющей массы осадков первой стадии цикла (представленной аллювиальными песчаниками. – В. А.)? Ясно, что в начальной стадии не может сноситься только грубозернистый материал, он обязательно сопровождается илисто-глинистым шлейфом. Тонкие осадки в этот период могут отлагаться только в самом конце латерального ряда, но в то же время, согласно приведенной установке о барьерной береговой зоне, они не должны выходить за пределы аллювиальной системы и попадать сразу в море. В результате устьевые зоны рек, дельты и авандельты оказываются «заваленными» илистым материалом. Перерабатывающая способность морских процессов не успевает усвоить его полностью... В результате, на первой стадии осадочного цикла мы имеем следующую картину: когда в континентальных условиях формируется базальный песчаный пласт, в морском бассейне идет накопление глинистой толщи (разрядка наша. – В. А.)».

В «обратном» режиме идет формирование отложений «конечной» стадии цикла. Когда в континентальных условиях идет накопление озерно-болотных

⁸⁸ Карогодин Ю. Н. Седиментационная цикличность. М.: Недра, 1980. 242 с.

⁸⁹ Бейзель А. Л. Роль берега как барьерной зоны при формировании осадочной цикличности // Проблемы геологии и географии Сибири. Вестник ТГУ. 2003. № 3 (1). С. 36-38.

(при гумидном климате) осадков, в зоне мелкого шельфа формируются «отмытые» от глинистой фракции пески. В итоге глинисто-углистым континентальным отложениям отвечает песчаное осадконакопление приемного (морского) бассейна.

Перечисленное изображено на рис. 4.6, показывающем принципиальную модель инверсии характера циклитов относительно береговой, «барьерной» зоны.

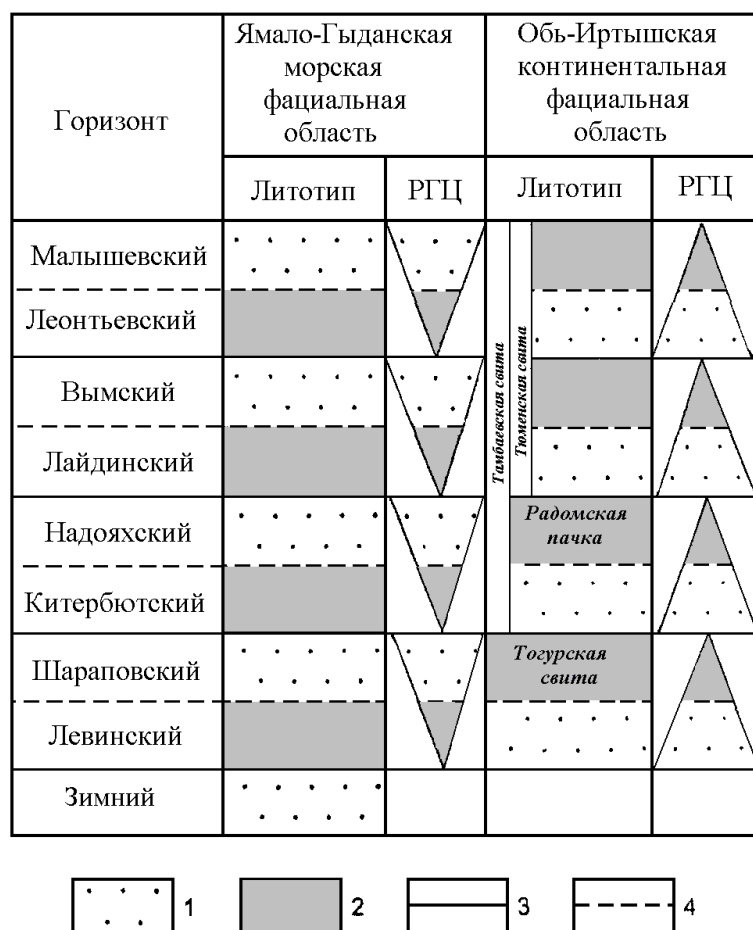


Рис. 4.6. Принципиальная возможная схема соотношения песчаных и глинистых толщ на уровне региональных стратиграфических горизонтов в нижней и средней юре Западной Сибири (по А. Л. Бейзелю⁸⁹):

1 — преимущественно песчаные толщи; 2 — преимущественно глинистые толщи; 3 — границы региональных циклитов; 4 — «скользящие» границы. РГЦ — региональные циклиты

Из приведенных данных неопровержимо следует правомерность высказанных в предыдущем, 3-м этюде положений: при расчленении, корреляции и *стратификации* толщ главным, ведущим признаком должны являться не те или иные слои, пачки, горизонты, выделяемые по размерности слагающего их материала (от коллекторов до «литологически однородных» свит). Основным анализируемым свойством должна быть *направленность* изменения параметров толщи, устанавливаемая выделением литоциклов разного порядка. Высокая разрешающая способность цикло(ритмо)стратиграфического подхода к расчленению практически «немых» обычно сложнопостроенных терригенных толщ показана в большом количестве работ, начиная со сводки⁹⁰. По меньшей мере для Западной Сибири этот вопрос не только созрел, но уже перезрел.

В несколько более детальном, расширенном варианте скольжение коллекторов относительно границ литоциклов изображено на блок-диаграмме модель-

⁹⁰ Ритмостратиграфические, циклостратиграфические и литостратиграфические подразделения / В. И. Попов и др. Ташкент: ФАН, 1979. 112 с.

ного характера (рис. 4.7). На колонках четырех скважин показан гранулометрический и фациальный состав отложений, как бы в более крупном плане «разворачивающий» те модельные характеристики, которые были отражены на рис. 4.5. Как видно, литоциклы в точках (скважинах) 1 и 2 имеют неполный, урезанный вид, что специально подчеркнуто в скв. 2 показом отсутствия осадконакопления в части между линиями перерывов (вариант: размыв накопившихся отложений). По линии скв. 3 – 4 наблюдается скольжение песчаных горизонтов относительно границ литоциклов. Однако сама граница ЛЦ песчаных горизонтов не пересекает, находясь «внутри» них (так же, как и для линии скв. 1 – 3). Переход песчаных горизонтов из одного ЛЦ в другой, сопровождающийся инверсией характера ЛЦ, наблюдается для линии скв. 2 – 4 (граница ЛЦ «б» и «в»). Дополнительно к перечисленному покажем относительную легкость корреляции угольных пластов, что следует из рис. 4.5. Объясняется это их положением в центральных частях литоциклов, а главное – преимущественно изохронным формированием, о чем шла речь выше (см 3-ю интерлюдия к 1-му этюду).

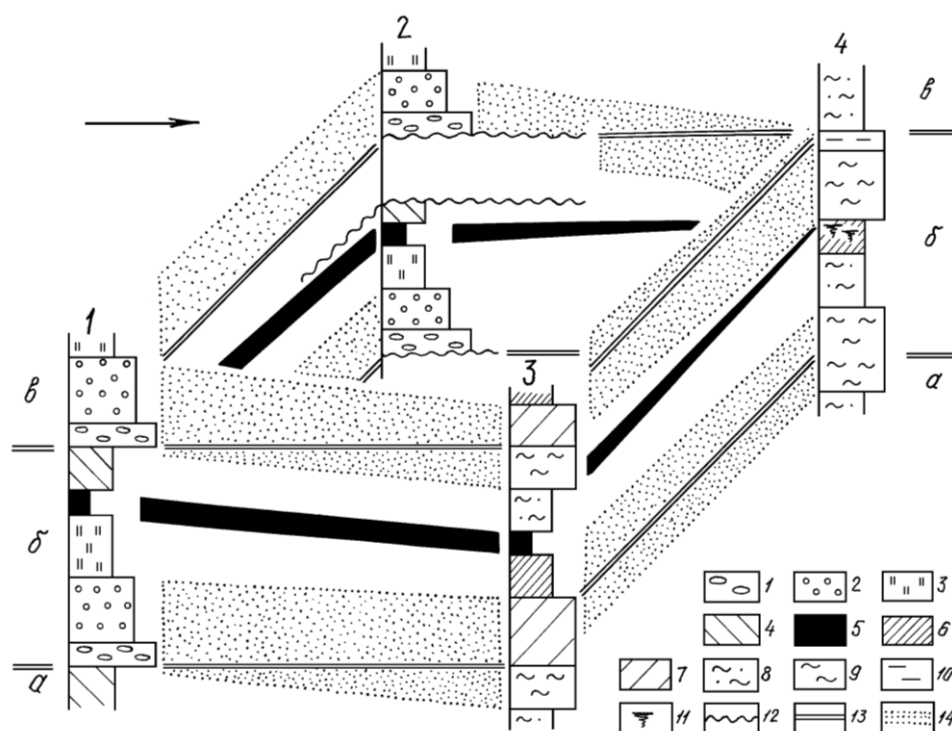


Рис. 4.7. Скольжение песчаных горизонтов относительно границ литоциклов (принципиальная модель):

1-10 – фациальный состав отложений: 1 – пролювиальные, 2 – аллювиальные русловые, 3 – аллювиальные пойменные, 4 – озерные, 5 – болотные (уголь), 6 – заливов и лагун, 7 – подводнодельтовые, 8 – малоподвижного и 9 – открытого бассейнового мелководья, 10 – морских течений и открытой части бассейна; 11 – подпочва угольного пласта; 12 – границы перерывов в седиментации; 13 – границы литоциклов; 14 – песчаные горизонты (коллекторы).

Стрелкой показано основное направление сноса; 1-4 – номера скважин; а, б, в – литоциклы

Наконец, максимально упрощенные варианты строения литоциклов и их соотношений показаны на рис. 4.8. Как видно, вариант увязки моделей 2 и 3 полностью соответствует модели, предложенной А. Л. Бейзелем (см. рис. 4.6).

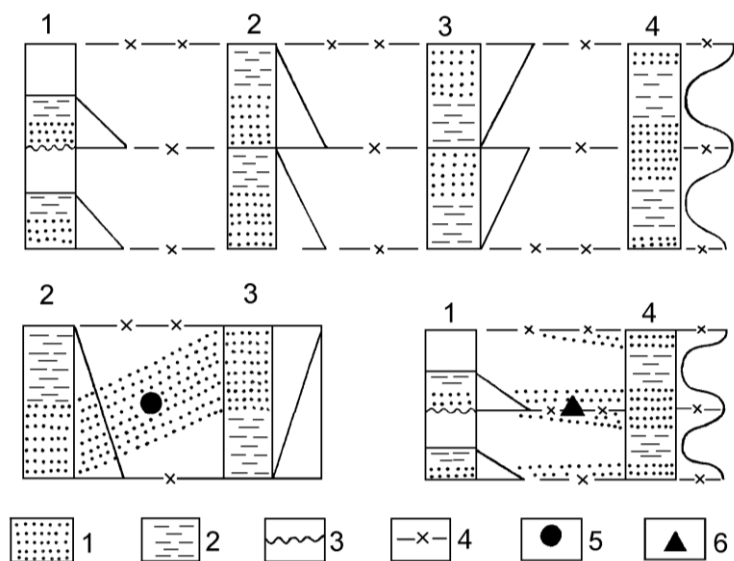


Рис. 4.8. Литоциклы (ЛЦ) в терригенных толщах с миграционным режимом осадконакопления. Вверху – принципиальные модели ЛЦ: 1 – неполные (урезанные), флювиального облика; 2, 3 – асимметричные, направленно изменяющиеся: 2 – от грубых отложений к тонким, 3 – от тонких к грубым (соответственно проциклиты и рециклиты Ю.Н. Карогодина⁸⁸); 4 – полнопостроенные, обычно прибрежно-бассейновые. Внизу – положение песчаных горизонтов (ПГ) в случаях значительных изменений в составе и направленности изменений отложений, слагающих ЛЦ. Справа от колонок – направленность изменения гранулометрического состава:

1 – песчаные горизонты (ПГ); 2 – тонкозернистые породы; 3 – перерывы; 4 – границы литоциклов; 5 – точка инверсии; 6 – точка трансляции ПГ в другой литоцикл

Сопоставляя рис. 4.5 – 4.8, можно наметить местоположение *зубцов*, о которых шла речь в 3-й интерлюдии. Для рис. 4.5 это *граница литоциклов II и III, секущая коллектор 3*; на рис. 4.7 наиболее вероятно зубчатое вклинивание слоев на границах литоциклов, протягиваемых между скв. 1-3 и 2-4 (вкост береговой линии). На рис. 4.6 максимальной зубчатостью должны характеризоваться *все* точки инверсии, расположенные между изображенными РГЦ. Наконец, на рис. 4.8 – это точки инверсии и трансляции (между моделями 2 и 3, 1 и 4).

Проверка предлагаемых моделей нами проведена на достаточно обширном материале по тюменской свите Шаимского нефтегазоносного района Западно-Сибирского осадочного мегабассейна. При общей мощности отложений свиты, достигающей 130 м, она имеет исключительно терригенный состав и сложное строение. Общее представление об этом дает колонка скв. 10320 (см. рис. 3.7).

Хорошо коррелируемые песчаные горизонты (ПГ) в нижних частях аллювиальных и аллювиально (пролювиально)-озерных ЛЦ характерны для коллектора Ю₆ и коллектора Ю₄ в западной части Шаимского НГР (модели 1, 2 на рис. 4.8). Также уверенно коррелируемые ПГ в верхних частях ЛЦ с прибрежно-бассейновым (баровым) генезисом песчаников (модели 3, 4 на рис. 4.8) присущи коллектору Ю₂ и отчасти Ю₃. Инверсия коллектора ЛЦ, характерная для сопоставления моделей 2 и 3 (см. рис. 4.8), наблюдается при их корреляции на значительных

расстояниях. В тюменской свите Шаимского НГР она присуща ее средней части, в условиях трансгрессии приемного водоема с северо-востока на юго-запад. В соответствии с моделью изменяется положение в разрезе коллектора Ю₅, смещающегося к нижней части ЛЦ второго порядка, в котором он расположен (по схеме А. Л. Бейзеля: см. рис. 4.6). Особый случай представлен трансляцией ПГ из одного ЛЦ в другой (модели 1-4 на рис. 4.8). Такой вариант прослежен нами на примере коллектора Ю₃ на Тальниковом и Сыморьяхском месторождениях Шаимского НГР.

Соотношение границ коллекторов и литоциклов показано на профиле скважин (рис. 4.9), где представлено строение верхней части тюменской свиты (литоциклы II порядка ЛЦ-1 и ЛЦ-2, вскрытые четырьмя скважинами на Тальниковом месторождении Шаимского нефтегазоносного района). В верхнем ЛЦ-1 по направленности изменения фаций выделяется три литоцикла 1-го порядка (1, 2, 3). При изменяющихся толщине и составе они прослеживаются между скважинами. В ЛЦ-2 также уверенно выделяется три (1, 2, 3), а в нижней части намечается 4-й литоциклы 1-го порядка.

В скв. 6785 на глубине 1763 м вскрыт палеозойский фундамент. Между ним и нижней границей ЛЦ-2 вскрыт интервал, соответствующий верхней части третьего литоцикла II-го порядка – ЛЦ-3. Именно этим горизонтом, т. е. верхней частью ЛЦ-3, и ограничен приведенный на рис. 4.9 разрез. Состав и строение нижней части тюменской свиты можно наблюдать на полной колонке скв. 10320 (см. рис. 3.6).

На представленном корреляционном разрезе хорошо видна приуроченность «аллювиального» коллектора Ю₄ к нижней части ЛЦ-2 в целом и, при его расщеплении, - к нижним частям соответствующих ЭЛЦ (от скв. 6819 – к скв. 6785 и 10320). Приуроченность «бассейновых» коллекторов к верхней части ЛЦ на данном чертеже не видна, по причине малой их распространенности: ее можно видеть на колонке скв. 7987 (см. рис. 3.8): коллектор Ю₂. Что же касается скольжения коллекторов (относительно границ литоциклов) и их инверсии, вплоть до перехода в другой ЛЦ, примеров тому на рис. 4.9 достаточно много. Особенно яркие – это трансляция коллектора Ю₂ в соседний ЭЛЦ между скв. 10657 и 10320; скольжение границы ЛЦ второго порядка «внутри» коллектора Ю₃ между теми же скважинами; изменение положения коллекторов Ю₂ и Ю₃ между скв. 10320 и 6785.

Значительное удаление скважин не позволяет детально охарактеризовать зубчатость границ коллекторов. Но их внутреннее сложное строение, с тяготением зон переслаивания к точкам инверсии и трансляции определяется во многих случаях достаточно надежно. Например, это разделяющие алевроитовые прослои в нижней части ЛЦ-1 внутри коллектора Ю₃ (скв. 10657-10320); расщепление того же коллектора Ю₃ в направлении на восток, к скв. 6819; сложное строение коллектора Ю₂ в своей нижней части по скв. 6785.

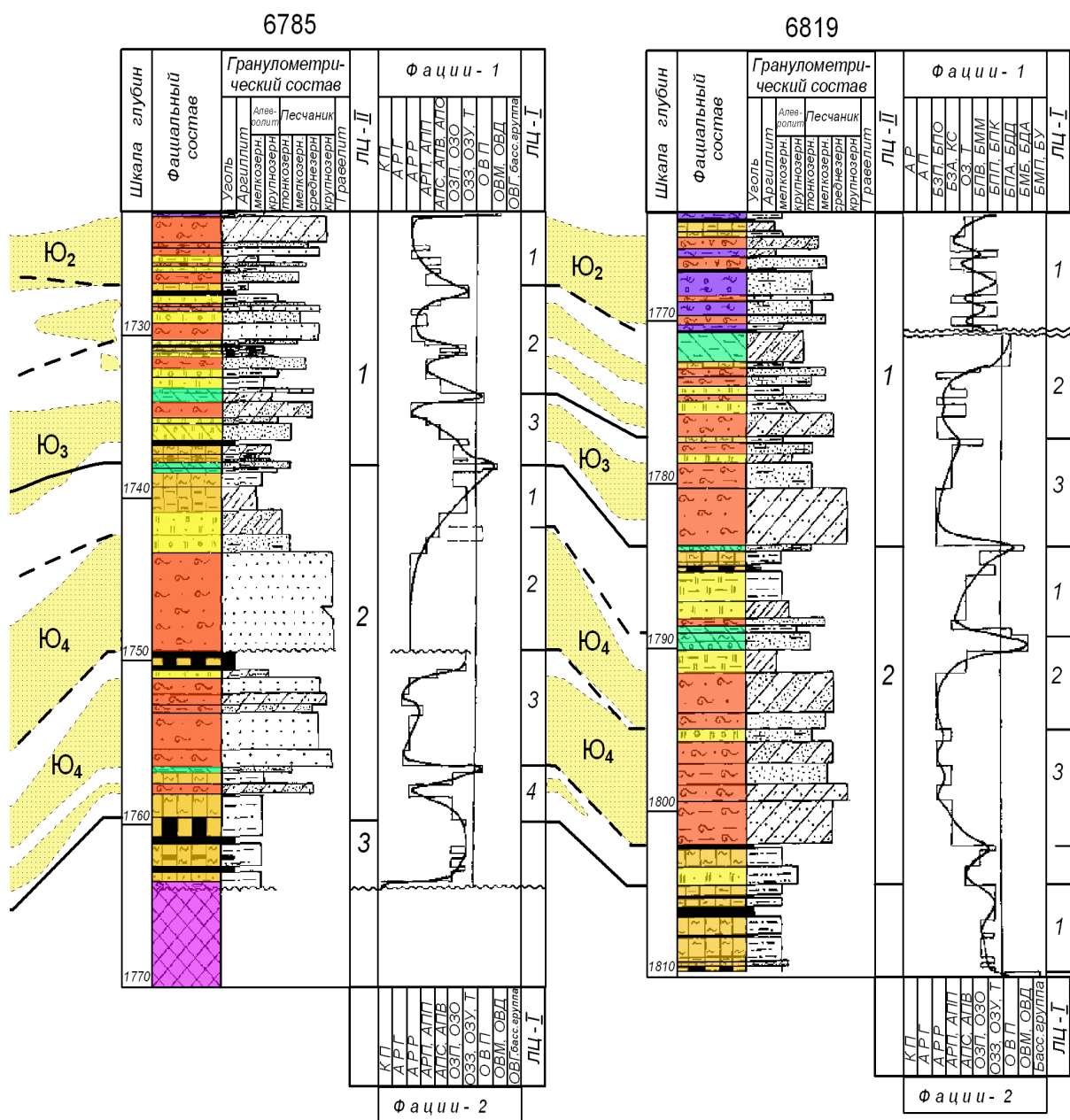


Рис. 4.9. Корреляционный разрез по линии скважин, положение которых показано в нижней левой части рисунка. Тальниковое месторождение, Шаимский нефтегазоносный район Западно-Сибирского осадочного мегабассейна.

Обозначения соответствуют таковым для колонки скв. 10320 (см. рис. 3.6). Между скважинами прослежены границы литоциклов и коллекторы (Ю₂, Ю₃, Ю₄)

В заключение по этому синтезируем ряд позиций, изложенных (в том числе) и в предыдущих этюдах. Для этого используем предельно схематизированную модель, приведенную на рис. 4.10. На нем показаны основные типы (уровни) седиментогенеза, выделенные С. И. Романовским⁷⁷ (см. рис. 1.2). Каждый из них соответствует своему уровню организации геологических тел и в понятиях системного анализа обладает *эмерджентным* свойством (см. табл. 3.1). Для циклоседиментогенеза – это *направленность* смены слоев пород, позволяющая установить их устойчивые комплексы. Тем самым, ключевым для выделения этих комплексов – литоциклов (циклитов) – является взаимоотношение слагающих их слоев.

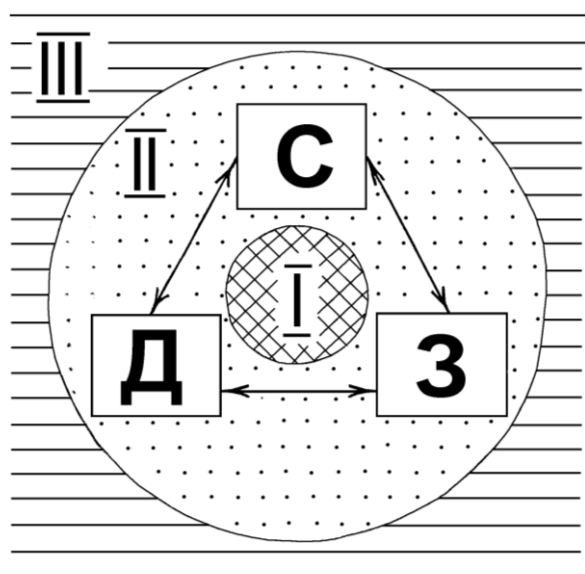


Рис. 4.10. Взаимоотношение уровней организации слоевых единиц и факторов, контролирующей цикличность низких рангов:

структурные инварианты (уровни) седиментогенеза: I – гранулоседиментогенез, II – стратоседиментогенез, III – циклоседиментогенез;

факторы, контролирующие цикличность: С – скольжение слоев, Д – межслойные перерывы (диастемы), 3 – зубчатость границ (описание в тексте)

При выделении и – особенно – оценке взаимоотношений слоевых единиц необходимо учитывать и постоянно иметь в виду три важнейших седиментологических фактора, взаимодействие которых во многом и определяет характер и порядок выделения элементарных (основных) литоциклов. Эти факторы, изображенные на рисунке в схематическом виде, сводятся к следующему.

Фактор С определяет диахронность или возрастное скольжение границ слоев, в соответствии с законом Головкинского. Этот фактор проявляется при миграционном режиме формирования осадочных толщ и в принципе «пронизывает» все уровни организации – от косой слоистости в гранулометрически однородных слоях до крупных клиноформных комплексов.

Наличие *фактора Д* (пока еще слабо учитывающегося в литологических работах) определяется тем неявным фактом, что время, за которое накапливались наблюдаемые, *закрепленные* в разрезе отложения, составляет весьма малую величину от времени соответствующих геологических периодов. Превалирующая длительность не зафиксирована в разрезе и большей частью относится к скрытым перерывам – *диастемам* Дж. Баррелла (Barrell, 1917). Данный факт, специально рассмотренный во втором этюде, в принципе следует из закона Головкинского и полностью с ним согласуется. Сами перерывы хорошо наблюдаются в конкретных образцах и на сейсмических профилях, но с трудом распозна-

ются в геологических разрезах, устраиваемых по дискретным точкам (скважинам). Перечисленное существенно затрудняет стратификацию терригенных толщ, поскольку конденсированное в диастемах время - фантом, не имеющий временных «этикеток». Перерывы в осадконакоплении имеют свою уровенную организацию, что системно разобрано И. А. Вылцаном и представлено в табл. 2.2.

Совместная реализация двух указанных факторов (смещение границ слоев по латерали в сочетании с внутри- и особенно межслоевыми перерывами) неизбежно *должна* привести к геометрической «неправильности» границ между слоевыми единицами. Это и выражено в их *зубчатости* (*фактор 3* на рис. 4.10). Данное явление детально разобрано выше, оно особенно важно для изучения пластовых тел, сложенных нацело или частично песчаными породами различной проницаемости (коллекторов в нефтегазоносных толщах). Естественно, что зубчатость контактов между соседними слоями предельно затрудняет межскважинную корреляцию коллекторов. Надежность последней существенно повышается при увязке (корреляции) комплексов пород или литоциклов («мыслить циклами», по Ю. А. Жемчужникову: см. этюд 3).

Таким образом, только полный учет перечисленных *взаимосвязанных* (см. рис. 4.10) факторов дает возможность как выделять, так и прослеживать комплексы пород (литоциклы) в сложнопостроенных терригенных толщах. Это трудно реализовать при «механическом циклировании» (по выражению Ю. А. Жемчужникова), что производится при анализе чередования только гранулометрических типов пород. Единственно надежной базой геологических построений является выделение и прослеживание (корреляция) литоциклов разных порядков, установленных на основании анализа *направленности* смены литологических типов пород, сформировавшихся в определенных обстановках (*фаций*). В числе прочих преимуществ это дает возможность устанавливать характер и «скорость» скольжения терригенных коллекторов по разрезу; оценивать наличие и выдержанность перемычек тонкозернистого состава (зубцов) внутри сложнопостроенных коллекторов. Положение последних с наибольшей вероятностью приурочено к инверсии состава элементарных литоциклов, а также к участкам трансляции коллекторов в соседние литоциклы одного порядка.

Этюд 5. ФАЦИАЛЬНО-ЦИКЛИЧЕСКАЯ БРЮЗГА

Лейтмотивом значительной части представляемой работы являются фациально-циклические исследования, методическая база которых заложена Ю. А. Жемчужниковым, Л. Н. Ботвинкиной и многими другими замечательными исследователями осадочных, прежде всего угленосных, толщ. В то же время, поскольку вопросы, связанные с реконструкцией генезиса (фациальным анализом), установлением закономерностей в строении толщ (цикличности) и сопутствующими проблемами, являются в геологии одними из наиболее актуальных, взгляды на их решение различаются весьма значительно («сколько геологов, столько и мнений»). Даже обзоры литературы по данной проблематике сами по себе настолько обширны, что приводить их попросту нет места. Поэтому как в интерлюдиях, так и в начале данного этюда мы сочли возможным особо остановиться на *общих* проблемах, связанных с изучением осадочных толщ. Насыщенность отдельных «интервалов» этого этюда библиографическими ссылками автор просит рассматривать как стремление дать некоторый «путеводитель» для заинтересованных в *самообразовании* читателей (прежде всего аспирантов и магистрантов).

Собственно *брюзга* (по В. И. Далю, *брюзжать* – браниться, ворчать) содержится в конце этюда. Как будет видно из изложения материала, автор ни в коей мере не стремится поучать сторонников иных методов, *как* надо исследовать осадочные отложения. В то же время, продолжая идеи, заложенные школой Ю. А. Жемчужникова, он не может закрывать глаза на очевидные несуразности, которые иногда выполняются под лозунгами стремления к дальнейшей разработке фациально-циклических исследований.

Интерлюдия 1. Осадочная дифференциация и сравнительно-исторический анализ (ретроспектива литологической дискуссии)

Принципиальное значение для отечественной литологии имели Всесоюзное совещание по осадочным породам, состоявшееся 17-24 ноября 1952 г., а также предшествовавшая ему дискуссия. Последняя проходила на страницах журнала «Известия АН СССР. Серия геологическая» и наиболее полно отражена в специальном сборнике.⁹¹ Сущность дискуссии в основном заключалась в наличии к середине 1940-х гг. двух точек зрения на процессы осадко- и пороодообразования и методы их изучения. Одна из них – теория осадочной дифференциации Л. В. Пустовалова – ставила во главу угла расшифровку процессов формирования ископаемых осадочных образований на базе разделения веществ по их механическим и физико-химическим свойствам. Другой точки зрения придерживался Н. М. Страхов, видевший основу для познания геологического прошлого в изучении современного осадконакопления, используя сравнительно-литологический метод. Как показала сама жизнь, эти точки зрения *не* антагонистичны. Однако период выискивания острых противоречий и подвергания остракизму инакомыслящих (достаточно вспомнить судьбу кибернетики и генетики) послужил «фоном» резкой несовместимости этих идей, выражаемых с каждой стороны лидером и его единомышленниками. Особую остроту дискуссии придавало активное апелли-

⁹¹ К вопросу о состоянии науки об осадочных породах. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 280 с.

рование ее участников к основам марксистско-ленинской диалектики, например: «...метод актуализма, основывающийся на метафизическом принципе актуализма и не делимый от него, также является метафизическим ...» (Пустовалов, 1952).⁹²

На совещании кроме основного доклада, выражавшего взгляды противников сравнительно-литологического метода, был сделан содоклад группы членов оргкомитета (П. Л. Безруков, Б. М. Гиммельфарб, Н. М. Страхов, Е. В. Шанцер, М. С. Швецов, В. С. Яблоков), не согласившихся с его основными положениями. В итоге было принято Решение совещания, в котором справедливо констатировано *отсутствие* в советской литологической науке двух разных идейных направлений. Совещание подтвердило *правомерность* сравнительно-литологического метода.⁹²

Последующие годы показали полную правильность идей Н. М. Страхова, наиболее полно изложенных в уникальном 3-томном труде «Основы теории литогенеза» (1960, 1962), удостоенном Ленинской премии. Менее чем через 20 лет после совещания Н. М. Страхов с полным правом мог «... считать доказанным, что именно *сравнительно-литологический метод*, усиленно культивировавшийся в русской геологии с 90-х годов (XIX в. – В. А.), менявший свои формы и совершенствовавшийся, *вывел научную мысль на правильный путь построения литогенетической теории и создал основы ее*. Дальнейшее совершенствование теории невозможно без дальнейшей работы этим методом».⁹³ Все развитие геологической науки в последние десятилетия показывает действенность актуалистического метода познания: «настоящее есть путь к познанию прошлого».

Интерлюдия 2. Структурно-вещественное и генетическое направления в изучении осадочных толщ

В геологии осадочных толщ особенно отчетливо проявляется два направления к изучению отложений – структурно-вещественное и генетическое, что и следует из предыдущей интерлюдии. Попытки их противопоставления малосостоятельны, поскольку очевидна необходимость синтеза различных методов. Известный философ Б. М. Кедров прямо указывал на то, что лишь «Генетический подход в соединении со структурным придает всякой науке необходимую ей законченность, преодолевает неизбежную статистическую ограниченность ее концепций, возникающих на базе одностороннего структурного подхода»⁹⁴. В специальной статье⁹⁵ М. П. Покровский констатировал: «Постановку вопроса, противопоставляющую «формальный» подход «генетическому», следует считать неудачной. Рационально противопоставлять формальному аспекту содержательный, выделяя в первом «формальные» и «неформальные» построения, а во втором – «морфологические» и «генетические» («структурные» и «генетические»)). При этом и «структурная» и «генетическая» концепции равноправны, правомочны и

⁹² Совещание по осадочным породам: Доклады. М.: Изд-во АН СССР. Вып. 1, 1952. 317 с. Вып. 2, 1955. 264 с.

⁹³ Страхов Н. М. Эволюция представлений о литогенезе в русской геологии (от 70-го года XIX в. до 70-го года XX в.) // Литология и полезные ископаемые. 1970. № 2. С. 35-63.

⁹⁴ Кедров Б. М. О геологической форме движения в связи с другими его формами // Взаимодействие науки при изучении Земли. М.: Наука, 1964. С. 129-151.

⁹⁵ Покровский М. П. О «генетическом» и «морфологическом» подходах в изучении геологических тел // Философские вопросы геологии: Сб. науч. тр. СГИ. Свердловск, 1972. Вып. 88 (3). С. 16-33.

дополняют друг друга. Построения их нуждаются в формализации, к которой более подготовлены, естественно, морфологические.

Место и значимость сравнительно-исторических (читай: генетических, актуалистических) исследований видны из схемы, отражающей последовательность изучения осадочных пород (рис. 5.1). Составленная геологами новосибирской школы, которая никогда не отличалась приверженностью к исследованиям генетического характера, представленная схема ярко иллюстрирует ведущую роль сравнительно-исторического анализа в геологических работах.



Рис. 5.1. Методические элементы сравнительно-седиментологического анализа⁹⁶

Для оценки трудностей в использовании генетических исследований сошлемся на высказывание видного отечественного литолога В. Н. Шванова, которого также никак нельзя отнести к сторонникам фациальных исследований. Отмечая, что проведение генетического анализа не всегда необходимо и не всегда диктуется производственным заданием, им прямо указана главная причина, сдерживающая его широкое внедрение: «Фациально-генетический анализ требует и специальных исследований, и достаточно грамотных специалистов, подобно тому как палеонтологическая работа предусматривает участие палеонтологов, а минералогическая – минералогов. Распространенное мнение, что седиментологией может заниматься каждый, является ошибочным. Поэтому так часто генетический анализ сводится к замене его генетическими ярлыками» (⁹⁷, с. 15).

Интерлюдия 3. Фациальный анализ как моделирование геологического прошлого

Исходя из признания правомерности сравнительно-литологических исследований, базирующихся на принципе актуализма, фациальный анализ представляет конкретную методику их реализации. Несмотря на более чем 100-летнюю исто-

⁹⁶ Осадочные породы (сравнительная седиментология) / Ю. П. Казанский, А. В. Ван, С. А. Кашик и др. Новосибирск: Наука, 1994. 200 с.

⁹⁷ Шванов В. Н. Структурно-вещественный анализ осадочных формаций (начала литомографии). СПб.: Недра, 1992. 230 с.

рию фациальных исследований, единой позиции у геологов по всем аспектам использования понятия «фация» нет. Достаточно упомянуть, что в Геологическом словаре (1973) имеется более 60 определений понятий разных фаций, которые относятся к различным, в т. ч. несопоставимым уровням и направлениям (ф. палеогеографические, ф. гидротермальные, ф. метаморфические, ф. разных порядков и т. д. и т. п.).

Наиболее содержательный анализ понятия «фация» и сути фациальных исследований, на наш взгляд, выполнен С. И. Романовским⁹⁸. Не видя необходимости в чем-то дополнять его строго логические суждения, приведем их в виде сжатого резюме.

1. Начиная с 1838 г., когда А. Грессли впервые, и достаточно нечетко, определил понятие «фация», оно вплоть до настоящего времени считается неопределенным. Это – и некоторые свойства отложений, и изменение их признаков в пределах классов тел, и «степень родства» разновозрастных тел, и обстановки осадконакопления. «Первородный грех» неоднозначности определения фации искупается геологами до настоящего времени. В то же время, М. С. Дюфуром справедливо отмечено, что «главную причину наблюдаемых ныне несоответствий в употреблении термина «фация» следует искать не в двойственности или противоречивости воззрений А. Грессли, а скорее в неточном или неверном использовании их последующими исследователями» (⁹⁹, с. 24).

2. Понятие «фация», таким образом, исторически является многозначным, полисемичным. В процессе геологических работ оно чаще всего соотносится с объектами разных классов. В основном это или условия (обстановка, среда) формирования осадков, или сами осадки с комплексом присущих им признаков (признака). Тем самым и намечается как минимум *два* магистральных направления фациальных исследований. Неоднократно предпринимавшиеся попытки поиска какого-то одного, всех «устраивающего» определения понятия «фация» заведомо бесперспективны.

3. Целесообразно рассматривать *два* уровня или два этапа фациального анализа. Первый этап – палеогеографический, на нем фации являются объектом самостоятельного исследования (в нашем случае – см. табл. 3.2). Второй этап – седиментологический, с рассмотрением механизмов осадконакопления для различных обстановок. Именно такая уровенность, последовательность (фация → смена фаций → литоцикл) и лежит в основе фациально-циклического анализа.

4. Продолжающиеся попытки «математизации» геологии на практике часто приводят к периодическим призывам о необходимости *агенетического* подхода (см. предыдущие интерлюдии). Не видя ни малейших причин вступать в заведомо тупиковую дискуссию, укажем, что без генетических концепций (пусть «разговорных», «описательных» etc.) геологии как таковой *нет* в принципе (ибо кто сможет доказательно реконструировать геологические процессы?). Основным же критерием правильности генетических построений является принцип эмпирической проверяемости (верификации) предлагаемых моделей на практическом материале. Речь об этом пойдет в следующем, 6-м этюде.

Завершив интерлюдии, перейдем к изложению собственного материала. Вначале остановимся на соображениях общего характера.

⁹⁸ Романовский С. И. Седиментологические основы литологии. Л.: Недра, 1977. 408 с.

⁹⁹ Дюфур М. С. Методологические и теоретические основы фациального и формационного анализов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. 160 с.

Отечественная литология во второй половине XX века

Как и указано в начале этюда, прежде чем перейти к собственно «брюзжанию», сделаем попытку анализа развития литологических исследований за период, охватывающий последние десятилетия XX столетия. Одной из последних крупных монографических работ Н. М. Страхова явился капитальный обзор истории литогенетических исследований и их состояния до 1970 г.¹⁰⁰ Работу открывает очень емкий и одновременно информативный чертеж, воспроизведенный на рис. 5.2. Остановимся здесь на двух моментах.

1. Графики такого вида, фактически отображающие генезис и развитие познания, весьма редки вообще. (Не исключено, что своеобразным толчком к его созданию послужила графическая «гистограмма» развития различных аспектов седиментологии Ф. Петтиджона).

2. Несмотря на упор, сделанный Н. М. Страховым на оценку российских и советских исследований в области литогенетических работ, большое внимание он уделил и зарубежным авторам, что очевидно из перечисления основных изданий в подписи к рис. 5.2.

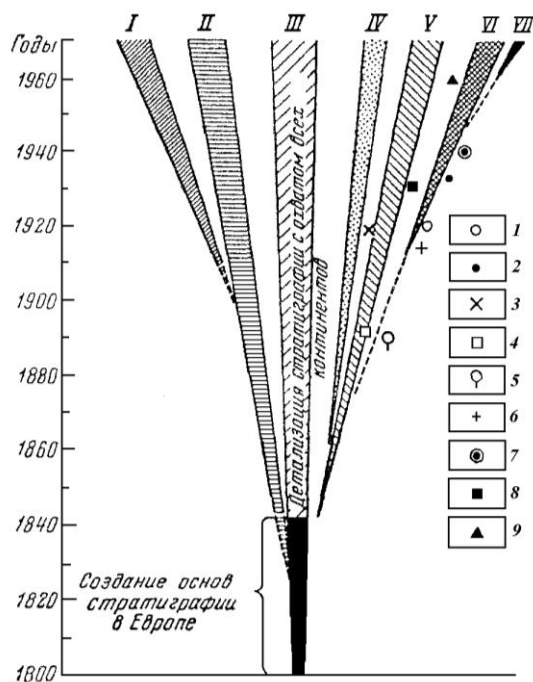


Рис. 5.2. Истоки литологии и ее место среди других наук¹⁰⁰:

I - общая геотектоника; II - региональная геотектоника; III - стратиграфия; IV - палеогеография; V - фациология; VI - литология; VII - геохимия осадочных пород:

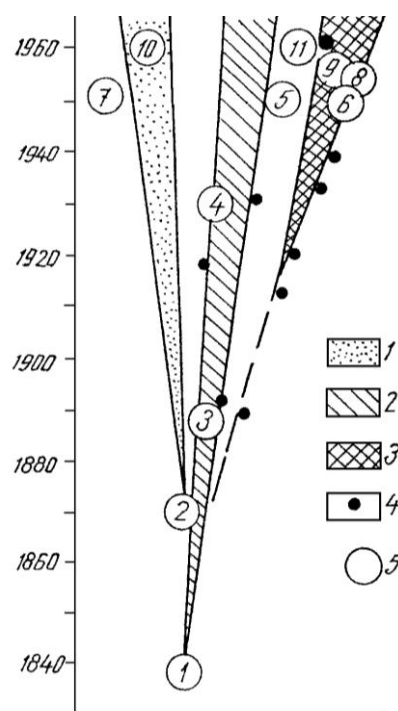
1 - начало чтения курсов петрографии осадочных пород в СССР; 2 - Швецов М. С. Петрография осадочных пород. М.: ГНТИ, 1934. 373 с. (2-е изд.: М.: Госгеолтехиздат, 1948. 387 с.; 3-е изд. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 416 с.); 3 - Dacque' E. Grundlagen und Methoden der Paleogeographie. Jena. 1915; 4 - Walter J. Einleitung in der Geologie als historischen Wissenschaft. Jena: Fischer Verlag, 1894. 1055 pp.; 5 - Murray J. Renard A.F. Report on deepsea deposits based on specimens collected during the voyage of H.M.S. «Challenger» in the years 1872 - 1876. London: Goff Printer. 1891. 525 pp.; 6 - Cayeux L. Introduction a l'etude petrographique des roches sedimentaires. Paris, 1916.; 7 - Пустовалов Л. В. Петрография осадочных пород. М.; Л.: Гостоптехиздат, 1940. Т. 1. 476 с.; т. 2. 420 с.; 8 - Twenhofel W. H. Treatise on Sedimentation. Williams and Wilkins Co. Baltimore, 1926. 661 pp. (рус. пер. 2-го изд. 1932 г.: Твенхофел У. Х. Учение об образовании осадков. М.; Л.: ОНТИ ГКНТП, 1936. 916 с.); 9 - Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР. Т. 1. 1960. 212 с.; т. 2. 1960. 574 с.; т. 3. 1962. 550 с.

¹⁰⁰ Страхов Н. М. Развитие литогенетических идей в России и СССР. М.: Наука, 1971. 622 с. (Труды ГИН АН СССР. Вып. 228).

Не имея целью «поправить» представления Н. М. Страхова, изложенные в графическом виде на рис. 5.2, возьмем на себя смелость *добавить* к указанным на нем работам примерно такое же их количество. Такое дополнение нам кажется необходимым, исходя из анализа многих общих, обзорных работ по истории литологических исследований вообще и литогенетических в частности. Оно приводится на рис. 5.3, где труды иностранных авторов показаны по выходу их первого издания в оригинале. Особенно остановимся на первых трех работах, указанных на рис. 5.3. Не представляя собой большой геологической ценности, их особое значение состоит во введении основных *понятий*, осознанных через значительное время после опубликования самих работ. Собственно, и сегодня ни одно более или менее крупное литологическое исследование не обходится без обсуждения фациального анализа А. Грессли, «чечевицы» Н. А. Головкинского и генетических типов А. П. Павлова.

Рис. 5.3. Дополнения к сведениям, изображенным на рис. 5.2:

1 – палеогеография; 2 – фацисология; 3 – литология; 4 – основные события и работы (все по¹⁰⁰: см. рис. 5.2); 5 – дополнения (цифры в кружках):



1 - Gressly A. Observations geologiques sur le Jura Solerois // Neue Denkschriften der Allgemeinen Schweizerischen Gesellschaft für die gesammten Naturwissenschaften. t. 2, 1838; t. 4, 1840; t. 5, 1841; 2 - Головкинский Н. А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна // Матлы для геологии России. 1869. Т. 1. 144 с.; 3 - Павлов А. П. Генетические типы материковых образований ледниковой и послеледниковой эпохи // Изв. Геол. ком., т. VII, № 7, 1888. С. 242 - 262.; 4 - Наливкин Д. В. Учение о фациях. М.; Л.: ГНТИ, 1932. 201 с. (2-е изд., 1933; 3-е, значительно расширенное издание: М.; Л.: Изд-во АН СССР. Т. 1, 1955. 534 с.; т. 2, 1956. 393 с.); 5 - Шрок Р. Последовательность в свитах слоистых пород. М.: Иностр. лит., 1950. 564 с. (Пер. с англ., изд. 1948 г.); 6 - Петтиджон Ф. Дж. Осадочные породы. М.: Недра, 1981. 751 с. (Пер. с англ., 3-го изд., 1975 г.; 1-е изд., 1949 г.; 2-е 1957 г.); 7 - Крумбейн У. К., Слосс Л. А. Стратиграфия и осадкообразование. М.: Гостоптехиздат, 1960. 411 с. (Пер. с англ. 2-го изд., 1956 г.; 1-е изд., 1951 г.); 8 - Рухин Л. Б. Основы литологии. М.; Л.: Госгортопиздат, 1953. 671 с. (2-е изд., 1961 г., 3-е изд., 1969 г.); 9 - Методы изучения осадочных пород / Отв. ред. Н. М. Страхов. М.: Госгеолтехиздат, 1957. Т. 1. 612 с.; т. 2. 564 с.; 10 - Рухин Л. Б. Основы общей палеогеографии. Л.: Госгортопиздат, 1959. 557 с. (2-е изд., 1962 г.); 11 - Строение и условия накопления основных угленосных свит и угольных пластов среднего карбона Донецкого бассейна / Жемчужников Ю. А., Яблоков В. С., Боголюбова Л. И. и др. М.: Изд-во АН СССР. Ч. 1, 1959. 331 с.; ч. 2, 1960. 347 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 15)

Фактически Н. М. Страхов в своих оценках остановился на рубеже 1960-1970-х гг. XX в (см. рис. 5.2). За прошедшие после этого 40 лет наши познания в литологии поднялись на существенно новый уровень. Особенно это связано с колоссальным объемом информации по отложениям морей и океанов, ранее бывших почти недоступными для прямого изучения.

Для анализа основных достижений последних лет следует определиться, по каким научным направлениям это целесообразно сделать. В качестве варианта предлагается провести такой анализ в рамках иерархических уровней организации геологических тел: горные породы - наборы или комплексы горных пород – формации. Это соответствует структуре литологии как самостоятельного учения об осадочных отложениях, в целом представляемой следующим образом: седиментология (образование осадков) – собственно осадочные породы – соотношение, распространение, концентрация и эволюция осадочных отложений (собственно литология). Так, П. П. Тимофеевым осадочная геология разделяется на два самостоятельных и тесно связанных направления – седиментологию и литологию.¹⁰¹

Итак, учитывая представления Н. М. Страхова и основываясь на достижениях последних лет и анализе общего состояния учения об осадочных породах, нами предлагается выделить *три* достаточно самостоятельных направления в их изучении, что и показано на рис. 5.4. В каждом из этих направлений, имеющих отчетливо уровенный характер в иерархической системе осадочных тел, выделяется 2-3 конкретных, в разной степени разработанных пути изучения осадочных толщ, имеющих отчетливый целевой характер. Кроме того, в независимое направление выделены исследования по *эволюции* осадочных пород и процессов, основы которого заложены именно Н. М. Страховым. Отдельно показаны и работы наиболее общего характера. В данном этюде не рассматриваются проблемы геохимии осадочных пород, что имеет специальный характер.

На рис. 5.4 показано 30 работ периода 1960 - 2000 гг., которые, на наш взгляд, оказали наибольшее влияние на состояние и развитие литологии в данный период. Учитывая, что за эти годы изданы тысячи обобщений, монографий, трудов совещаний, а общее количество публикаций просто не поддается учету, такой жесткий выбор неизбежно субъективен, и судить о нем – читателю. Добавим, что при наличии у отдельных авторов *серии* работ, из них выбиралась лишь какая-то одна; приводятся только те зарубежные издания, которые имеют русский перевод, причем на временном графике (см. рис. 5.4) указан год их русского издания. Тем самым приведенные работы фиксируют не столько истоки, сколько итоги тех или иных исследований авторов или авторских коллективов.

О содержании и значимости работ, ссылки на которые приведены в примечании к рис. 5.4, не знакомому с ними читателю придется судить лишь по их названиям. Это объясняется тем, что хотя бы минимальный разбор любого из выделенных направлений является по существу темой самостоятельного анализа, что явно выходит за рамки представляемого обзора. Добавим, что хотя работы, приведенные рис. 5.4, в основном «привязаны» к какому-то из выделенных направлений, часто они по своему содержанию имеют значительно более широ-

¹⁰¹ Тимофеев П. П. Аспекты развития учения об осадочных формациях (к теории формационного анализа) // Литология и полезные ископаемые. 1994. № 6. С. 3-32.

кий диапазон, что проявляется лишь при их изучении. Начинающему исследователю такое затруднение довольно легко можно снять, ознакомившись с работами наиболее общего характера (см. рис. 5.4), среди которых особо выделим уникальное по объему и детальности учебное пособие В. Т. Фролова.¹⁰²

Дополним изложенные сведения двумя примечаниями, имеющими, на наш взгляд, важный характер.

1. Анализируемый период полностью совпал по времени со сменой фиксистской парадигмы мобилистской теорией тектоники литосферных плит. Для литологии это ознаменовалось многими достижениями в области расшифровки механизмов осадконакопления в морях и океанах, и особенно - в рамках понятий об уровнях и областях лавинной седиментации, введенных А. П. Лисицыным. Тем более странной выглядит позиция этого видного исследователя, сформулированная следующим образом: «Несмотря на, казалось бы, очевидную необходимость мобилистского подхода при литологических исследованиях, существующие учебные пособия, монографии и статьи в журналах в подавляющем большинстве игнорируют новые данные... Если смена парадигм в других направлениях геологии, которая произошла в 60-х годах нашего века, привела к значительному повышению общего уровня исследований, к развитию новых направлений, то, к сожалению, литологическая наука сумела «уберечь себя» от потока новых фактов, а в ряде случаев и организационно подавляла их распространение как ересь».¹⁰³

Высказанные положения по меньшей мере спорны, о чем свидетельствует, в частности, и оформление в отечественной литологии такого направления, как *литогеодинамика* (см. рис. 5.4). В то же время им верно высвечена суть проблемы: *конвергентность* многих типов осадочных пород и их сообществ (к примеру, отложений конусов выносов) приводит литологов к разумной осторожности в своих работах, в особенности - при изучении внутриконтинентальных толщ. В данном случае мы, скорее, солидарны с теми пока еще немногочисленными исследователями, которые считают бесполезным увлечение мобилистской концепцией, часто приводящее к неразрешимым противоречиям.

2. Именно сегодняшнее состояние геологии в целом и литологии в том числе вплотную привело к анализу самоорганизации геологических объектов, их фрактальности, что, в частности, находит отражение и в нелинейной геодинамике Ю. М. Пушаровского¹⁰⁴. Тем самым представляется возможность продвинуться по пути неизбежного соединения *структурного* подхода с *генетическим*, то есть выполнять исследования геологических объектов не по пути **а**, показанному на рис. 5.5, и даже не по пути **б**, а только по пути **в**, в модельном виде отражающем схему, предложенную П. П. Тимофеевым.¹⁰⁵

¹⁰² Фролов В.Т. Литология. М.: Изд-во МГУ. Кн. 1, 1992. 336 с.; Кн. 2, 1993. 432 с.; Кн. 3, 1995, 535 с.

¹⁰³ Лисицын А. П. Литология литосферных плит // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 4. С. 552-559.

¹⁰⁴ Пушаровский Ю. М. Избранные труды: Тектоника Земли. Этюды: В 2 т. М.: Наука, 2005. Т. 1. Тектоника и геодинамика. 350 с.

¹⁰⁵ Тимофеев П. П. Юрская угленосная формация Южной Сибири и условия ее образования. М.: Наука, 1970. 204 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 198).

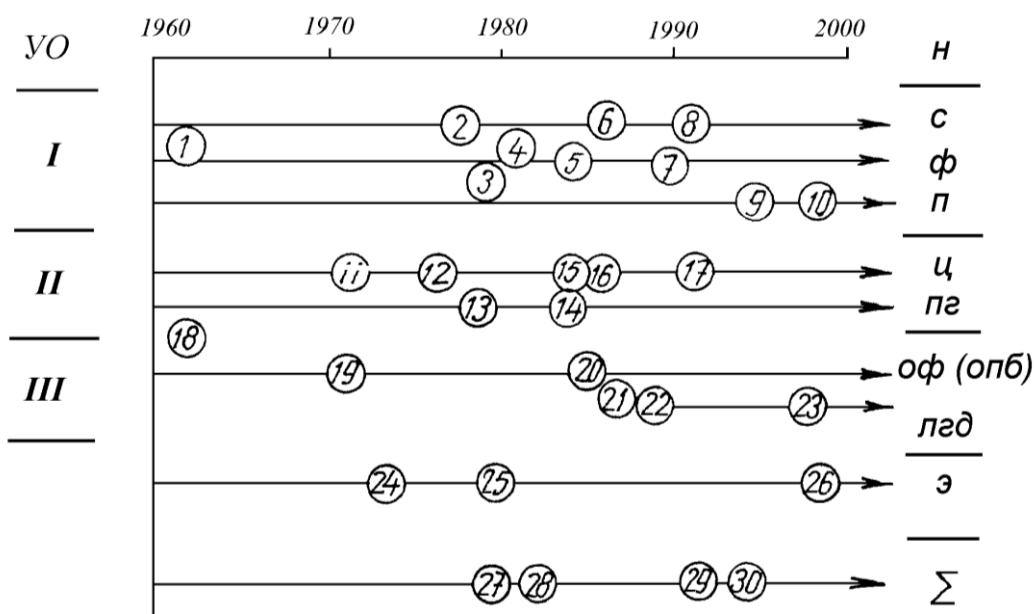


Рис. 5.4. Пути развития литологии и основные работы периода 1960 - 2000 гг.:

Уровни организации объектов (YO): I - породы и условия их образования; II - взаимосвязи пород в разрезе и на площади; III - комплексы пород в единых геотектонических обстановках их формирования.

Направления в изучении осадочных пород (H): с – седиментологическое, ф - фаціальное (генетическое), п - петрографическое; ц - учение о цикличности; пг - палеогеографическое; оф - формационное (опб - осадочно-породные бассейны); лгд – литогеодинатика; э - эволюция осадочных процессов и эпигенез пород; Σ - работы наиболее общего характера.

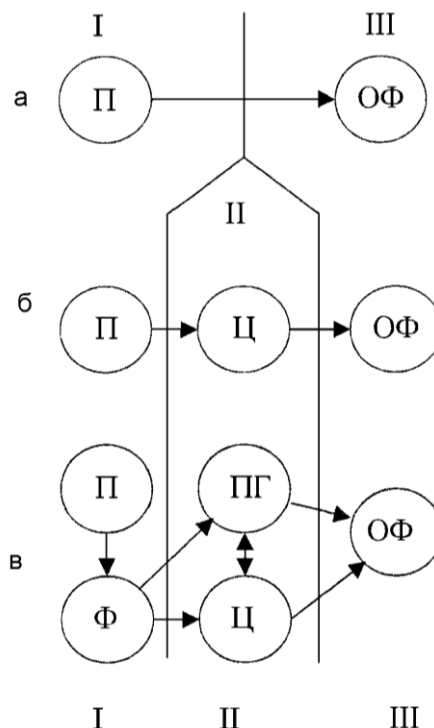
Работы (цифры в кружках): 1 - Ботвинкина Л. Н. Слоистость осадочных пород. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 542 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 59); 2 - Романовский С. И. Седиментологические основы литологии. Л.: Недра, 1977. 408 с.; 3 - Уилсон Д. Л. Карбонатные фации в геологической истории. М.: Недра, 1980. 463 с. (Пер. с англ., изд. 1975 г.); 4 - Рейнек Г. Э., Сингх И. Б. Обстановки терригенного осадконакопления (с рассмотрением терригенных кластических осадков). М.: Недра, 1981. 439 с. (Пер. с англ. 2-го изд., 1975 г.; 1-е изд., 1973 г.); 5 - Фролов В. Т. Генетическая типизация морских отложений. М.: Недра, 1984. 222 с.; 6 - Лидер М. Седиментология. Процессы и продукты. М.: Мир, 1986. 439 с. (Пер. с англ., изд. 1982 г.); 7 - Обстановки осадконакопления и фации / Под ред. Х. Рединга. М.: Мир, 1990. Т. 1. 352 с.; т. 2. - 384 с. (Пер. с англ., изд. 1978 г.); 8 - Лисицын А. П. Процессы терригенной седиментации в морях и океанах. М.: Наука, 1991. 270 с.; 9 - Осадочные породы (сравнительная седиментология) / Ю. П. Казанский, А. В. Ван, С. А. Кашик и др. Новосибирск: Наука, 1994. 200 с.; 10 - Систематика и классификации осадочных пород и их аналогов / Шванов В. Н., Фролов В. Т., Сергеева Э. И. и др. СПб.: Недра, 1998. 352 с.; 11 - Дафф П., Халлам А., Уолтон Э. Цикличность осадконакопления. М.: Мир, 1971. 284 с. (Пер. с англ., изд. 1967 г.); 12 - Периодические процессы в геологии. Л.: Недра, 1976. 264 с.; 13 - Верзилин Н. Н. Методы палеогеографических исследований. Л.: Недра, 1979. 247 с.; 14 - Методы палеогеографических реконструкций. Л.: Недра, 1984. 271 с.; 15 - Карогодин Ю. Н. Седиментационная цикличность. М.: Недра, 1980. 242 с.; 16 - Романовский С. И. Динамические режимы осадконакопления. Циклогенез. Л.: Недра, 1985. 163 с.; 17 - Ботвинкина Л. Н., Алексеев В. П. Цикличность осадочных толщ и методика ее изучения. Свердловск. 1991. 336 с.; 18 - Попов В. И., Макарова С. Д., Филиппов А. А. Руководство по определению фаціальных комплексов и методика фаціальнопалеогеографического картирования. Л.: Гостоптехиздат, 1963. 714 с.; 19 - Тимофеев П. П. Юрская угленосная формация Южной Сибири и условия ее образования. М.: Наука, 1970. 204 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 198); 20 - Попов В. И., Запроматов В. Ю. Генетическое учение о геологических формациях. М.: Недра, 1985. 457 с.; 21 - Конюхов А. И. Осадочные формации в зонах перехода от континента к океану. М.: Недра, 1987. 222 с.; 22 - Романовский С. И. Физическая седиментология. Л.: Недра, 1988. 240 с.;

Продолжение пояснений к рис. 5.4:

23 - Литогеодинатика и минералогия осадочных бассейнов. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. 480 с.;
24 - Гаррелс Р., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. М.: Мир, 1974. 272 с. (Пер. с англ., изд. 1971 г.);
25 - Ронов А. Б. Осадочная оболочка Земли (количественные закономерности строения, состава и эволюции). М.: Наука, 1980. 80 с.;
26 - Япаскурт О. В. Метаморфические изменения осадочных пород в стратиферии: Процессы и факторы. М.: Г'ЕОС. 1999. 260 с.;
27 - Седиментология / Р. Градзинский и др. М.: Недра, 1980. 640 с. (Пер. с польск., изд. 1976 г.);
28 - Справочник по литологии. М.: Недра, 1983. 509 с.;
29 - Шванов В. Н. Структурно-вещественный анализ осадочных формаций (начала литомографии). СПб.: Недра, 1992. 230 с.;
30 - Фролов В. Т. Литология. М.: Изд-во МГУ. Кн. 1, 1992. 336 с.; кн. 2. 1993. 432 с.; кн. 3, 1995. 535 с.

Рис. 5.5. Последовательность литологических работ (цифровые и буквенные обозначения см. на рис. 5.4):

а - выделение формаций как парагенезиса горных пород (по Н. С. Шатскому, Н. П. Хераскову); б - структурно-вещественный анализ (Шванов, 1992): вещество – первая субстанция, строение – вторая субстанция осадочных формаций; в – литолого-фациальный - фациально-циклический - формационный анализы в понимании Ю. А. Жемчужникова – П. П. Тимофеева



На фоне изложенного наиболее ярким нам представляется высказывание Н. С. Шатского, сделанное им почти 50 (!) лет назад. Подчеркивая особую важность *сравнения* отдельных видов отложений в исследованиях А. Грессли, Н. С. Шатский дал следующее замечательное заключение, неоднократно цитировавшееся П. П. Тимофеевым: «После изучения работы А. Грессли мое отношение к фациям сильно изменилось. Мне кажется, что мы мало работаем по фациям. Мы очень много работаем по условиям образования осадков, начинаем, очевидно, много работать по формациям, но настоящих фациальных анализов, которые выясняли бы закономерность расположения зон различных пород, различных литолого-генетических комплексов – таких анализов сделано еще очень мало. А будущие успехи в этой области науки зависят в значительной степени от успешного решения вопросов фациальной изменчивости».¹⁰⁶

По нашему мнению, данное высказывание не потеряло актуальности и сегодня, являясь программным для литологических исследований любого объема и детальности, независимо от геологической (в т. ч. геотектонической) позиции изучаемых объектов.

¹⁰⁶ Шатский Н. С. Фации и формации (Грессли и его учение о фациях): Докл. на геол. секции МОИП, 6 мая 1955 г. // Избр. тр. М., 1965. Т. 4. С. 219-232.

Электрометрические, сейсмические и иные «дистанционные» фации: близость к артефакту

Роль геофизики в изучении осадочных толщ всегда была весомой. В настоящее же время, особенно в нефтегазовой геологии, это зачастую единственный источник геологической информации. Главной причиной этого положения служит десятикратная стоимость бурения с керном в нефтеразведке по сравнению с проходкой скважин без отбора такового. Таким образом, если еще в 1960-х гг. В. В. Гречухин активно пропагандировал внедрение бескернового бурения при углеразведочных работах, то сейчас, особенно при изучении глубокозалегающих сложнопостроенных осадочных толщ, каждый образец керна без преувеличения можно считать «золотым».

Применение геофизических методов обладает рядом неоспоримых преимуществ. К ним относятся: исследование отложений в их естественном, ненарушенном состоянии; получение объективных количественных параметров, практически не зависящих от исследователя; непрерывность данных, характеризующих изучаемый разрез. В сейсморазведке к этому добавляется и объемность получаемой информации (метод 3Д). При интерпретации каротажных диаграмм, в зависимости от сложности изучаемого разреза, разрешающей способности постоянно совершенствуемой аппаратуры и методики, удается выделить различное количество *петрофизических* типов пород. При этом оно может быть и существенно большим, чем количество литологических (а тем более гранулометрических) типов, которые устанавливаются при традиционной геологической документации керна. Особо отметим, что качество и возможности геофизической информации постоянно повышаются с применением и совершенствованием вычислительной техники.

Как и во многих отраслях геологии (см. 1-ю интерлюдия к 3-му этюду), методика применения ГИС при изучении осадочных толщ наиболее детально отработана именно на угленосных отложениях.¹⁰⁷ Укажем также, что возможно, первой попыткой использования каротажных данных для целей *фациальных* исследований явилась небольшая работа Л. Н. Ботвинкиной¹⁰⁸, в которой проанализированы пики кривой ПС, появляющиеся при смене фаций. Наиболее четкие пики появлялись при смене болотных отложений морскими (ведь пики кривой, обусловленной наличием угольного пласта, по существу, тоже указывают на смену болотных отложений бассейновыми). Отмеченные связи проявлялись различно. Так, в одних случаях пик кривой отметил смену фаций среди однородных по составу отложений, например, смену алевролитов болотных алевролитами лагунными. В других случаях различие вещественного состава пород не являлось пиком на кривой ПС, если они формировались в единой фациальной обстановке.

В нефтяной литологии широкое использование результатов ГИС, нацеленное на выделение песчаных коллекторов в терригенных толщах, не могло не найти отражения и в изучении их генезиса. В широко известной и часто цити-

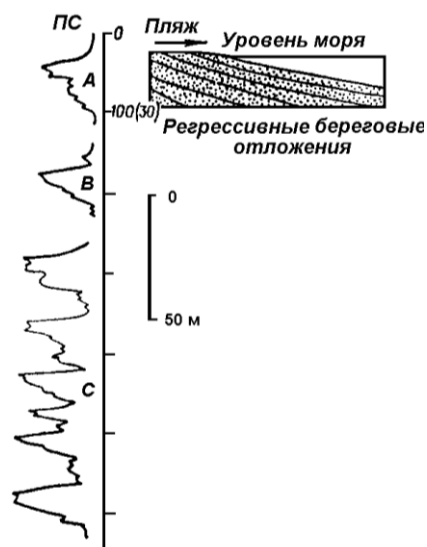
¹⁰⁷ Геофизические методы изучения геологии угольных месторождений / В. В. Гречухин и др. М.: Недра, 1995. 477 с.

¹⁰⁸ Ботвинкина Л. Н. Отражение каротажной диаграммой изменения фаций в угленосных отложениях // Новости нефтяной и газовой техники. М., 1962. № 5. С. 60-62.

руемой работе Ч. Э. Б. Конибира (Conybeare, 1976)¹⁰⁹ дана геоморфологическая характеристика обстановок осадконакопления, и для основных выделяемых комплексов (русел рек, прибрежных баров и т. д.) приведены их электрокаротажные характеристики. Иллюстрация изложенных представлений на примере «древних песчаных тел» дает прекрасный пример решения прямой задачи нефтяной литологии: через формулировку модели, включающую седиментологическую трактовку, показ ее реализации на конкретных геологических телах, причем в данном случае – на генетической основе. На рис. 5.6 приведен пример одной из изящных моделей прибреговой обстановки седиментации с ее электрокаротажной характеристикой.

Рис. 5.6. Электрокаротажные кривые собственного потенциала и обобщенные разрезы регрессивных береговых отложений песка, показывающие воронкообразную форму кривых каротажа и её соотношение с прилегающими береговыми песками, такими, как барьерные бары (по Ч. Э. Б. Конибиру¹⁰⁹):

А – нижнемеловой песчаник Вайкинг; месторождение Джоркам, Альберта; В – верхнемеловой песчаник Белли-Ривер, месторождение Пембина, Альберта; С – олигоценый песчаник Фрайо, Техас



Аналогичный по начальному этапу, но существенно иной – по конечному результату путь представлен В. С. Муромцевым.¹¹⁰ Опираясь на концептуальные модели обстановок осадконакопления, признанные в мировой литературе, он предложил детальные *электрометрические модели фаций* – под таковой понимается «...отрезок кривой ПС, образованный одной или несколькими аномалиями, увязанными с граничными значениями $\alpha_{ПС}$ и отражающими изменения литофизических свойств пород, обусловленные характерной последовательностью смены палеогидродинамических уровней среды седиментации во времени». Стремление к максимальной формализации кривой ПС хорошо просматривается на рис. 5.7, который мы с удовольствием приводим в полном виде.

Не вдаваясь глубоко в сущность предлагаемой методики (частично ее результаты будут показаны чуть ниже), укажем, что В. С. Муромцевым предложены электрометрические модели 19 фаций, обоснованные на детальном геологическом изучении Мангышлака и отчасти проверенные на материале Западно-Сибирского бассейна.

По близкому пути рассуждений продвигаются сейсморазведчики. Понимая под *сейсмофацией* некоторую «...пространственно обособленную трехмерную совокупность отражений, облик которых заметно отличается от облика соседних

¹⁰⁹ Конибир Ч. Э. Б. Палеогеоморфология нефтегазоносных песчаных тел / Пер. с англ. М.: Недра, 1979. 256 с.

¹¹⁰ Муромцев В. С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. Л.: Недра, 1984. 260 с.

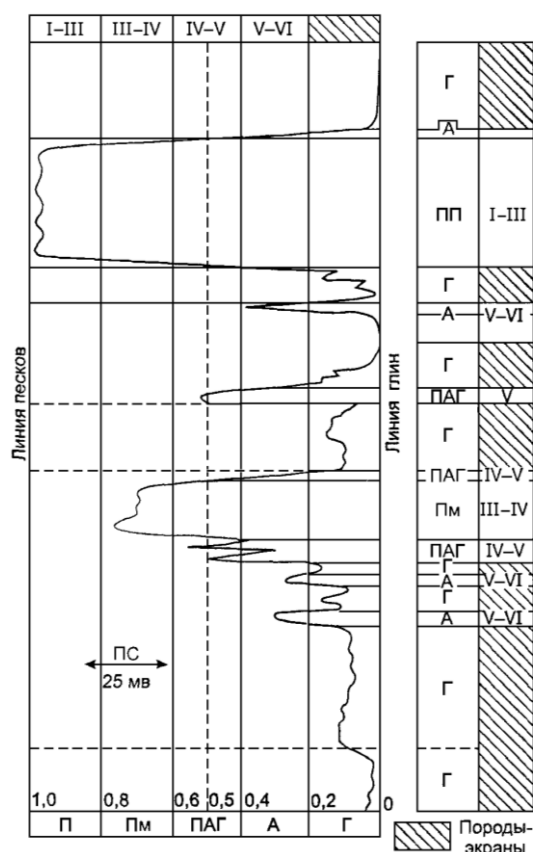


Рис. 5.7. Схема интерпретации кривой ПС с выделением литологических различий пород и классов коллекторов (по В. С. Муромцеву)¹¹⁰:

Линии максимальных отклонений ПС: 0 – положительных (линия глин), 1,0 – отрицательных (линия песков).

П – песчаник крупно-среднезернистый неглинистый; Пм – песчаник мелкозернистый; ПАГ – смешанные песчано-алеврито-глинистые породы; А – алевролит, глинисто-алевритовые породы; Г – глины и алеврито-глинистые породы; ПП – продуктивный пласт; коллекторы (по А. А. Ханину): I-III – хорошо проницаемые, III-IV – проницаемые, IV-V – слабопроницаемые, V-VI – непроницаемые

совокупностей отражений» (¹¹¹, с. 340), хорошо структурируется ее уровень в общей системе поисково-оценочных работ: сейсмостратиграфия → сейсмостратиграфия → сейсмострой.¹¹² В соединении с *сейсмостратиграфией*¹¹³ такой подход дает мощное оружие во многих отраслях геологии, и прежде всего нефтяной литологии.

Опираясь на изложенное, наметим три достаточно различающиеся цепочки рассуждений.

1. По Ч. Э. Б. Конибиру¹⁰⁹: исходя из моделей осадконакопления, представление их электрокаротажных характеристик.

2. По В. С. Муромцеву¹¹⁰: исходя из моделей осадконакопления, разработка электрометрических моделей фаций и их распознавание на диаграммах ГИС (прежде всего ПС).

3. Сейсморазведка^{112, 113}: выделение на сейсмопрофилях сейсмотел, с их фациальной интерпретацией. Их соотнесение с известными моделями осадконакопления и при необходимости – разработка новых моделей.

Сразу отметим, что мы не только не возражаем, но и приветствуем первый и третий варианты. Собственно, по материалам 3-го и 4-го этюдов видно, что первый мы в том или ином виде используем в повседневной работе. Значимость и высокую разрешающую способность ГИС для решения любых задач (в том числе и фациальных реконструкций – в качестве *одного* из методов) невозможно переоценить. Использование термина «фация» в *буквальном* переводе (лат. *facies* –

¹¹¹ Интерпретация данных сейсморазведки: Справочник / Под ред. О. А. Потапова. М.: Недра, 1990. 448 с.

¹¹² Шлезингер А. Е. Региональная сейсмостратиграфия. М.: Научный мир, 1998. 144 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 512).

¹¹³ Сейсмическая стратиграфия – использование при поисках и разведке нефти и газа/ Пер. с англ.; Под ред. Ч. Пейтона. М.: Мир, 1982. 846 с.

лицо, облик) при интерпретации сейсмических данных (третий путь) *абсолютно* оправданно. Действительно, использование некоторого «образа» при интерпретации выделяемого комплекса пород или геологического тела ничуть не хуже характеристик, к примеру, метаморфических фаций. Таким образом, предлагаемая модель – это артефакт априори, возможно, подтверждающийся при последующей проверке, а возможно – и нет. По-иному обстоит дело со вторым направлением (вот тут и начинается настоящая брызга). Формальному образу, причем на одном параметре, да еще и «снимаемому» с каротажной кривой, присваиваются такие развернутые характеристики, какие затруднительно получить и при качественной документации керн. Для того чтобы избежать возможных упреков в голословности, приведем один пример из работы¹¹⁴, авторы которой, кстати, хорошо знакомы с исследованиями «жемчужниковской» школы. В табл. 5.2 приводятся – без сокращений! – характеристики двух из 27 выделяемых по методике В. С. Муромцева фаций (табл. 17 на стр. 58 и табл. 18 на стр. 60 из работы¹¹⁴).

Оставляя «за кадром» схожесть двух предлагаемых электрических моделей разных фаций, зададимся сакраментальным вопросом: КАК по форме кривой ПС разработчики данной модели определяют: *регрессивный ли это бар, или барьерный остров?* КАК по ней можно судить о слоистости отложений, органическим остаткам и определять другие характеристики? И вообще, ЧТО здесь общего с фациальным анализом? Тем самым, это *осознанное* представление артефакта, который никак не обоснован конкретными сведениями.

Конечным выводом из наших (в принципе, не бесспорных) рассуждений является следующее. Если использование «образа» фации удобно, и если оно помогает в решении каких-то задач, то оно и целесообразно (например, сейсмификация). Если же из некоторого образа (пусть предельно формализованного и «объективизированного») выводятся гипотетические результаты и на них базируются последующие рассуждения, то это – *артефакт* безусловный. И не следует здесь ссылаться на основоположников фациально-циклических исследований – так же, как и не «помянуть имя Бога всеу». Кстати, автор этюдов также не «святее Папы римского», но волен как минимум в своем активном брызжании по поводу «электрометрических фаций».

«Треугольникова» цикличность

В настоящее время практически ни одна работа обобщающего характера, посвященная закономерностям в строении осадочных толщ (цикличности), не обходится без упоминания методики *системно-литмологического* (более ранний вариант – системно-структурного) анализа, предложенного и развиваемого Ю. Н. Карогодиным, его сподвижниками и последователями. На простейшей основе из равнобедренных треугольников, имеющих вид «редька кверху» и «редька книзу», а также двух их комбинаций построен огромный понятийный аппарат, уже на начальных стадиях работ насчитывающий 48 различных типов циклитов, с их обозначениями (рис. 5.8).¹¹⁵

¹¹⁴ Ежова А. В., Тен Т. Г. Практическая литология: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Томск: Изд-во ТПУ, 2002. 112 с.

¹¹⁵ Карогодин Ю. Н. Седиментационная цикличность. М.: Недра, 1980. 242 с.

Таблица 5.2

Характеристика фаций (по А. В. Ежовой и Т. Г. Тен¹¹⁴; без изменений)

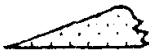
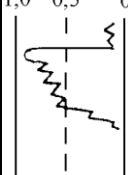
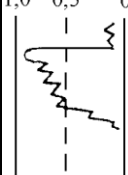
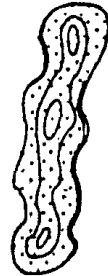
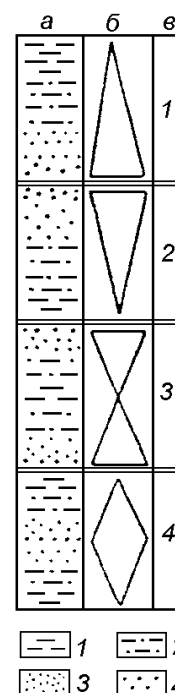
Генетические признаки							Модели	
Форма поперечного сечения	Внутреннее строение			Границы		Пространственное размещение	Седиментологическая	Электрометрическая
	Гранулометрия	Слоистость	Органич. остатки	Подошва, Корвля	Зоны выклин.			
ФАЦИЯ ВДОЛБЕРЕГОВЫХ РЕГРЕССИВНЫХ БАРОВ И ПРИБРЕЖНЫХ ВАЛОВ								
Линзообразно-выпуклая, асимметрич. Ширина – сотни метров. Высота – до 10 м 	Песчаники мелко-зернистые до средне-зернистых Md – 0,1-0,25 мм. Отсортированность хорошая. S ₀ – ок 2. Размеры зерен увеличиваются вверх по разрезу	Косая, крупная, пологая, разнонаправленная, переходящая в косоволнистую. Чередование косой и косоволнистой слоистости	Следы жизнедеятельности морских роющих животных, целые или битые раковины. В кровле – остатки вертикально стоящих стволов и корней деревьев	Нижняя и верхняя границы резкие. В подошве железист. Часто перекрываются маломощными прослоями угля	Постепенное выклинивание в сторону моря. В сторону лагуны расщепляется на отдельные песчаные прослои	Линейно-вытянутые параллельно берегу тела длиной десятки и сотни км 	Увеличение активности среды седиментации от низкой до высокой и очень высокой (I и II уровни) в конце формирования 	Аномалия ПС в виде 3-угольника, расположенного в зоне отриц. откл. Lnc – 0,8-1,0. Подошвенная линия наклонная зубчатая, боковая отсутствует., кровельн.-гориз. прямая 
ФАЦИЯ БАРЬЕРНЫХ ОСТРОВОВ								
Пластообразно-выпуклая. Ширина – единицы и десятки км, высота – до 10 м. Образуются при слиянии регрессивных баров и превращаются в острова 	Песчаники мелко- и средне-зернистые. Md – 0,15-0,30 мм. Отсортированность хорошая S ₀ – 1,8-2,2. Слабо сцементированы	Косая пологая, от крупной до мелкой, косоволнистая. Отдельные прослои горизонтально-слоистые	Морская фауна, следы жизнедеятельности морских роющих животных. В кровле корневые остатки	Верхняя и нижняя границы резкие. Перекрываются маломощными углистыми прослоями за счет растительности	Расщепляется на несколько песчаных прослоев в обе стороны	Линейные или овальные тела, расположенные параллельно берегу, длиной десятки и сотни км 	Постепенное нарастание активности среды седиментации от IV-III до II-I уровней, затем ее стабилизация после выхода бара на поверхность и превращения его в остров 	Сложная аномалия ПС, сост. из 3-угольника и 4-угольника, распол. в зоне отриц. откл. Lnc – 0,8-1,0. Кровельная линия горизонт., боковая – верт. ровная или волн., подошв. – наклон., зубчатая или рассечена 

Рис. 5.8. Типы циклитов (по Ю. Н. Карогодину, 1980¹¹⁵ и др.):

а - типы пород: 1 - аргиллит, 2 - алевролит, 3 - тонкозернистый песчаник, 4 - грубозернистый песчаник; б - символы циклитов; в - их названия: 1 - проциклит, 2 - рециклит, 3 - прорециклит («песочные часы»), 4 - репроциклит («ромб»)



Именно простота «механического циклирования» разрезов, об опасности которого прозорливо предупреждал Ю. А. Жемчужников, нашла благодатную почву при изучении нефтегазоносных отложений. Уже В. С. Муромцевым¹¹⁰ предлагались «электрометрические модели ритмов», но Ю. Н. Карогодин обширную нишу для «треугольных циклитов» заполнил основательно.¹¹⁶ Как обычно, остановившись на «понятийно-терминологической базе общей и нефтяной (курсив наш. – В. А.) литологии», им вскользь были затронуты и генетические понятия. К примеру, «фациолит («фация», фациол, фациал) – породное или породно-слоевое тело (обычно часть циклита), выделяемое в разрезе осадочного чехла по признакам общности (единства) фациальной обстановки его формирования» (¹¹⁶, с. 205). В конце концов «фациолит» не хуже известной «литофации», хотя преимущества термина с приставкой «лито-» вместо окончания «-лит» или «-ит» мы уже показали ранее. Но вот с «фациол'ом» и «фациал'ом» дело обстоит посложнее. Во-первых, почему не фациил, фациял и т. д., по гласным буквам алфавита? (видимо, в потоках таких терминов кроется поиск какого-то благозвучия? – или это просто благоглупость?). Во-вторых, и это главное, если отбросить ёрничанье, в данном случае терминотворчество начинает работать само по себе и само на себя. Тем самым выхолащиваются даже те элементы здравого смысла, которые могли бы стать общеупотребительными. Что же касается отношения Ю. Н. Карогодина к генетическим исследованиям, проиллюстрируем их цитатой из той же работы. «Признак генезиса в определении осадочных комплексов нежелательный, так как генезис, генетическая связь не только на сейсмограммах, но и в разрезах обнажений непосредственно не наблюдается. Генезис остается всегда в той или иной степени нашим предположением, гипотезой, заключением на основании анализа комплекса вещественных, структурных и прочих данных о породных слоях. К тому же генетически связанные слои и слоевые ассоциации могут быть разорваны во времени. Конечно, слои циклита генетически связаны, но

¹¹⁶ Карогодин Ю. Н. Введение в нефтяную литологию. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 240 с.

эту связь нужно доказать, она не видна, не наблюдаема непосредственно» (¹¹⁶, с. 77).

К изложенному добавим, что эти вопросы нами рассмотрены во всех этюдах, и особенно – в 3-м, поэтому оставим их без дополнительных комментариев.

Критический анализ системно-структурного метода Ю. Н. Карогодина дан в работе¹¹⁷. В предельно сжатом виде он сводится к следующему:

- явления регрессивности и трансгрессивности (по Ю. Н. Кародину, прогрессивности) далеко не всегда отражаются в изменении гранулометрии (от тонкого к грубому – «рециклит», от грубого к тонкому – «проциклит») – это явление имеет значительно более сложный характер;

- начало регрессивности совершенно не обязательно связано с появлением грубозернистых пород;

- четыре типа циклитов в виде треугольников и их комбинаций, привлекая на первый взгляд своей простотой, совершенно не отражают *сущности* процесса циклической седиментации.

Подтверждением перечисленному служит и эволюция самих представлений Ю. Н. Карогодина. Начал он, по сути, с циклирования простопостроенных литоритмов, имеющих простое «маятниковое» строение, с абсолютным преобразованием «проциклитов». При изучении же преимущественно сложных разрезов нефтегазоносных толщ они транслировались в достаточно же сложные циклиты типа «песочных часов». Такая «трансляция» соответствует изменению характера литоциклов при смене аллювиально-озерного палеоландшафта прибрежно-бассейновым. Все это в модельном виде разобрано в предыдущем, 4-м этюде.

Смена объектов изучения (см. выше) неизбежно привела Ю. Н. Карогодина к изменениям представлений о характере «циклитовости» отложений. Неотчетливо оформившись в работе по нефтегазоносным отложениям, где впервые (и разумно!) широко использованы данные ГИС¹¹⁸, к настоящему времени они наиболее полно изложены в работе по Среднему Приобью (с соавторами)¹¹⁹. Определенное представление о них дает рис. 5.9. При резкой асимметрии выделяемых прорециклитов, их верхние, вытянутые части соответствуют *трансгрессивной* смене фаций. В модельном виде такая *подмена* понятий описана в работе¹¹⁷ (рис. 5.10) и сводится к следующему. Приведенный на рис. 5.10, а ряд отложений сформирован в следующих одна за другой фациальных обстановках: прибрежное мелководье бассейна (м) – лагуна (л) – озеро (о) – болото – и может быть представлен таким рядом осадков: песчано-алевритовые, алеврито-глинистые, глинистые с большей или меньшей примесью органогенного материала. Согласно концепции Ю. Н. Карогодина, их надо относить к прогрессивному ряду. Но по смене фаций эта последовательность явно регрессивная.

¹¹⁷ Ботвинкина Л. Н., Алексеев В. П. Цикличность осадочных толщ и методика ее изучения. Екатеринбург: Изд-во Уральск. ун-та, 1991. 336 с.

¹¹⁸ Кародин Ю. Н., Гайдебурова Е. А. Системные исследования слоевых ассоциаций нефтегазоносных бассейнов (по комплексу промыслово-геофизических данных). Новосибирск: Наука, 1985. 112 с.

¹¹⁹ Северное Приобье Западной Сибири. Геология и нефтегазоносность неокма (системно-литмологический подход) / Ю. Н. Кародин, В. А. Казаненков, С. А. Рыльков, С. В. Ершов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. 200 с.

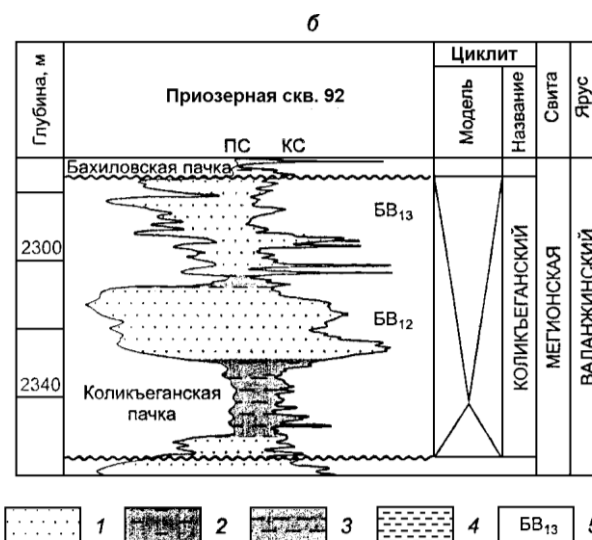
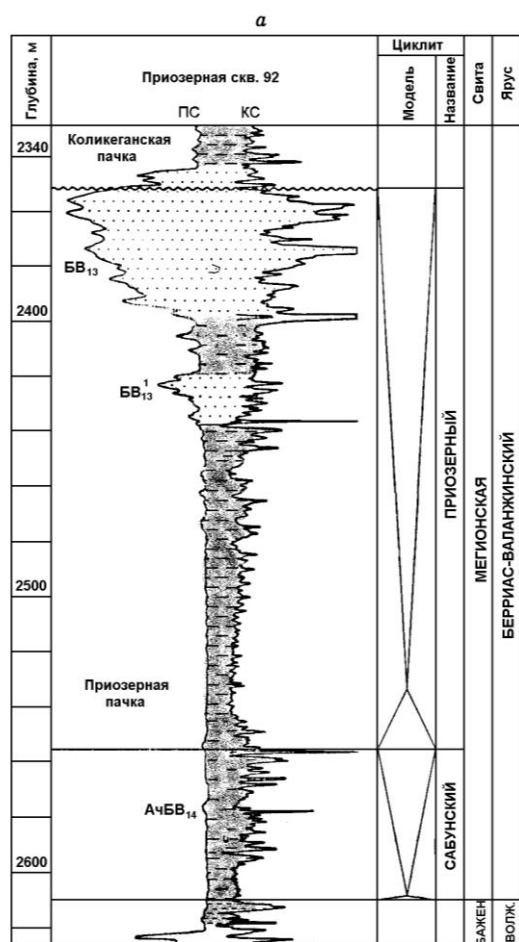


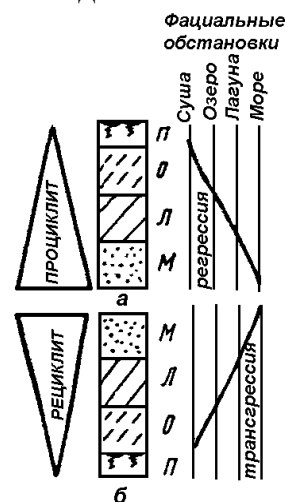
Рис. 5.9. Электрокаротажные образы приозерного (а) и коликъеганского (б) субрегиональных циклитов.¹¹⁹

Отложения: 1 – песчано-алевритовые, 2 – алевритовые, 3 – глинистые, 4 – битуминозные; 5 – индекс продуктивного горизонта

На рис. 5.10, б смену пород (снизу вверх): глинисто-биогенные – алевритово-глинистые – песчаные при отсутствии резких границ между слоями, по схеме Ю. Н. Карогодина, следует определить как «рециклит», т. е. как регрессивный ряд отложений. Именно это и делается им при определении характера циклитов, как показано на рис. 5.9. Однако по изменению фаций такой ряд отложений часто встречается в угленосных толщах, представляя собой смену фациальных обстановок: торфяное болото – лагуна – бар, переходящий в морское мелководье. Следовательно, это целиком трансгрессивный ряд отложений, который описан и показан нами на многих примерах в 3-м и 4-м этюдах.

Рис. 5.10. Сопоставление определений литоциклов по Ю. Н. Карогодину и Л. Н. Ботвинкиной¹¹⁷:

Объяснения в тексте



Безусловно следует иметь в виду и то, что начало регрессивности совершенно не следует связывать с появлением грубозернистых пород (см. этюд 3). Именно здесь кроется еще одно «слабое звено» в «треугольной» методике. Приведем лишь одно из последних определений Ю. Н. Карогодина: «Базальные слои (неотъемлемый элемент трансгрессивно-регрессивных циклитов) ... *автоматически* (курсив наш. – В. А.) «находят» свое место в разрезе» (¹¹⁹, с. 57). Но comment! – роль исследователя вообще сводится к минимуму: нажми кнопку, и граница находится в автоматическом режиме. Сбылись мечты математиков от геологии!

В продолжение модельных представлений, изложенных в 4-м этюде (см. рис. 4.5, 4.7, 4.8), и особенно – для усиления рассуждений, проиллюстрированных рис. 5.10, приведем еще одну модель, показанную на рис. 5.11.

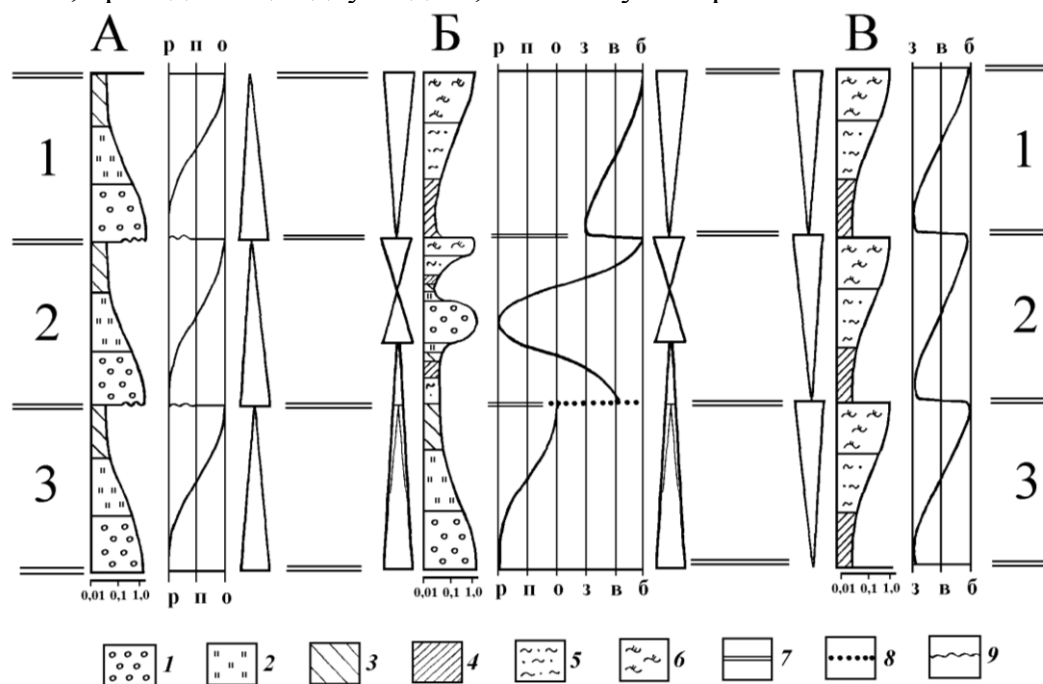


Рис. 5.11. Модельные представления о выделении и сопоставлении (корреляции) комплексов пород – литоциклов, циклитов:

1-6 – обстановки осадконакопления (палеоландшафты): 1 – русел равнинных рек (р), 2 – поймы речных долин (п), 3 – озерных водоемов (о), 4 – заливов и лагун (з), 5 – малоподвижного полуизолированного бассейнового мелководья, в т. ч. ваттов (в), 6 – активного прибрежного, в т. ч. барового бассейнового мелководья (б); 7 – границы литоциклов, выделяемые по направленности смены обстановок; 8 – трансгрессия (ингрессия) бассейна; 9 – эрозионный контакт.

А, Б, В – условные разрезы (колонки скважин): значками показан фациальный состав в «поле» изменения гранулометрии (0,01 – 1,0 мм). Справа от колонки – обобщающая фациальная кривая.

1, 2, 3 – литоциклы, выделенные по смене направленности обстановок осадконакопления (с трансгрессивной ветви на регрессивную).

Треугольники соответствуют циклитам Ю. Н. Карогодина^{115,116}

Из представленной схемы следует, что при изучении толщи с каким-то одним механизмом осадконакопления, реализуемом в одном и том же типе ландшафта, как правило, принципиальных проблем с выделением комплексов слоев и их корреляцией не возникает даже при «механическом циклировании» (см. также рис. 4.5). Налицо полное совпадение устанавливаемых границ при варианте

1 Б – 1 В и почти полное совпадение - при варианте 3 А – 3 Б. В последнем случае трансгрессивная граница, часто определяемая ингрессией приемного водоема, может быть «пропущена» при анализе изменения только гранулометрического состава пород, но легко устанавливается при фациальных исследованиях. Затруднения же, вплоть до непреодолимых, появляются при смене палеоландшафтов, как это и показано для колонки Б на рис. 5.11. Связано это с изменением направленности смены гранулометрического состава пород *внутри* выделяемого комплекса (варианты 1 А – 1 Б и 3 Б – 3 В на рис. 1). Границы литоциклов, выделяемых при смене обстановок осадконакопления в русле методологии ФЦА, здесь устойчивы, а вот характер циклитов испытывает *инверсию*: от проциклита – к рециклиту, и наоборот. Это явление рассмотрено нами в 4-м этюде (см. рис. 4.6, 4.8).

Полный литоцикл на рис. 5.11 представлен только в варианте 2 Б, что отражено в виде его синусоидальной кривой (остальные 8 ЛЦ по сути являются полуциклами или гемициклами¹¹⁷). Отчетливо видно, что положение песчаных коллекторов в ЛЦ может существенно меняться (кроме показанного на рис. 1 варианта могут реализовываться и многие другие). Главное заключается в том, что *границы* ЛЦ, независимо от изменения гранулометрического состава пород, выделяются *однозначно* по смене фациального состава (см. выше). Внутри же ЛЦ границы литологически однородных слоев не только могут, но и *должны* скользить, в соответствии с законом Н. А. Головкинского и исходя из их *диахронности* (см. 4-й этюд). Именно этот непреложный *закон* слабо учитывается при «механическом циклировании» толщ, что и видно из рис. 5.11. Здесь для варианта 2 Б отрисовывается циклит вида «песочных часов», корреляция которого с соседними скважинами затруднена. При увязке вариантов 2 А и 2 Б по «треугольниковой» методике из разреза, вполне вероятно, «выпадет» верхняя половина «часов» (рециклитовая часть), а вариантов 2 Б и 2 В – их нижняя, проциклитовая часть.

Для верификации высказанных представлений привлечем элегантную схему, иллюстрирующую конвергенцию структуры циклитов, предложенную на позднеюрском-неокомском материале Западной Сибири (рис. 5.12)¹²⁰. Совершенное совпадение изображенной схемы с нашими рассмотренными выше модельными представлениями может служить положительной верификацией последних. Добавим к этому, что из представленной схемы отчетливо следует диахронность границ литологически однородных слоев, приводящая к *скольжению* коллекторов, на что нами многократно указано выше.

Завершая как «брюзгу», так и этюд в целом, еще раз укажем, что автор *не против* использования структурных, геофизических и иных методов и подходов в изучении осадочных толщ. Их неприятие было бы попросту глупо. Более того, *только* с помощью ГИС, например, можно установить морфологию (толщина, строение) глубокозалегающих слоев. Только сейсморазведкой можно проследить, причем в объеме, границы геологических тел. Этот перечень можно продолжать и далее. Приведем и сущностный положительный пример из упомянутой выше работы¹¹⁸. Так, в ней содержится примечательное положение о «*зазубренности*» ряда каротажных кривых на многих контактах между литологическими разностями.

¹²⁰ Нежданов А. А. Некоторые теоретические вопросы циклической седиментации // Литмологические закономерности размещения резервуаров и залежей углеводородов. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1990. С. 60-79.

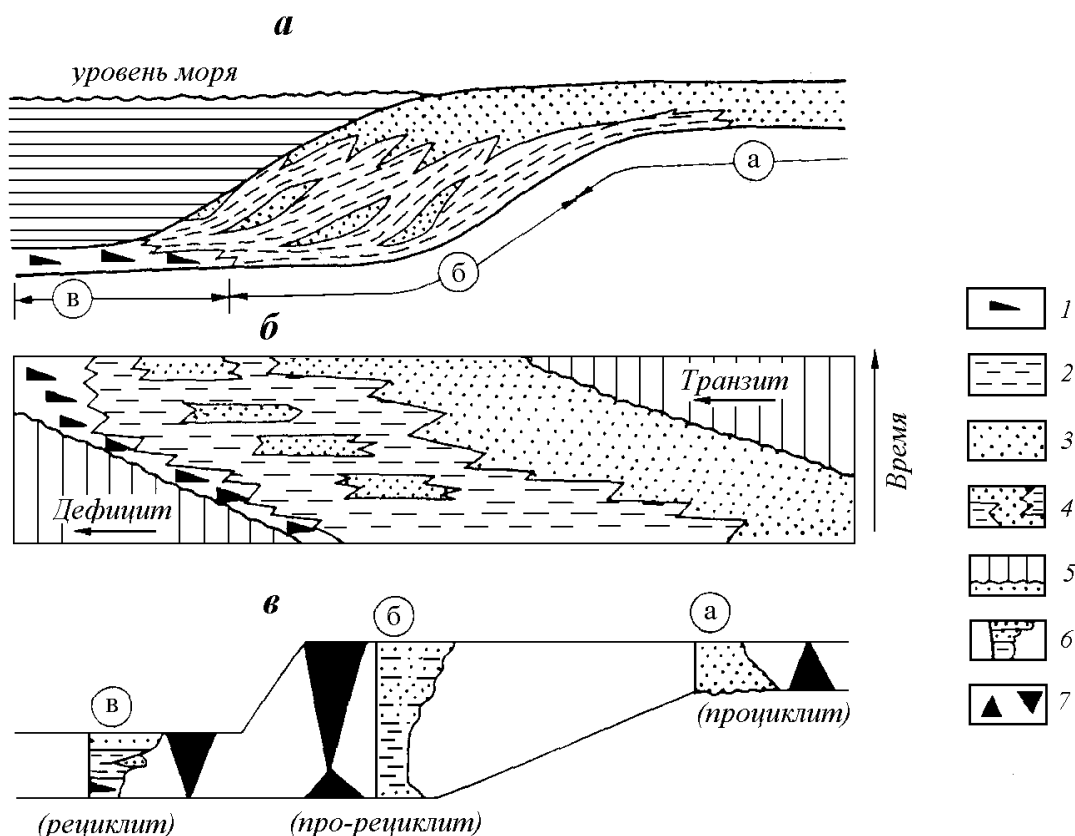


Рис. 5.12. Схема строения циклита, формирующегося в относительно глубоководном бассейне в условиях трансгрессивно-регрессивного режима седиментации (по А. А. Нежданову¹²⁰):

а – палеогеологический разрез; *б* – хронопрофиль; *в* – схема конвергенции структуры циклитов. 1 – битуминозные глины; 2 – глины; 3 – песчаники; 4 – фациальные замещения; 5 – перерывы; 6 – литологическая колонка; 7 – символы циклитов; *а* – *в* (в кружках) – типы разрезов: *а* – транзитный; *б* – перфектный (завершенный), *в* – дефицитный

Вне всяких сомнений речь идет о «зубцах» Н. А. Головкинского, частично разобранных нами в 4-м этюде. Эта же работа, как и многие другие разработки в нефтяной литологии, свидетельствует о максимальном эффекте, достигаемом при разумном содружестве геолога и геофизика.

Однако, если:

- реконструкции генезиса базируются только по размерности слагающих породу частиц;
- по характеру кривой ПС предлагается выделять «фации забаровых лагун» отдельно для регрессии и отдельно – для трансгрессии морского водоема;
- базальные слои «автоматически» находят свое место в разрезах, etc.;

то скорее всего мы имеем дело не с той литологией, состояние которой определено долгим путем становления и развития, закрепленного в ряде основополагающих работ.

Не стремясь ставить точку в дискуссии (явной или скрытой) «структурщиков» и «генетиков», приведем развернутую цитату из новейшей работы без-

условного авторитета в области российской литологии В. Т. Фролова¹²¹, которой и закончим предлагаемый этюд.

«Геологи любых специальностей должны быть историками, ценить прежде всего факты, уметь их обобщать, мыслить регионально и одновременно глобально, *генетически* и эволюционно... Условия постоянного дефицита фактов заставляют геолога выдвигать гипотезы, использовать *актуализм* и другие аналогии в рамках *сравнительного* метода, строить *модели* и прибегать к дедуктивному, теоретическому подходу (курсив везде наш. – В. А.)». Так и напрашивается известное: «Умри Денис – лучше не напишешь».

¹²¹ Фролов В. Т. Наука геология: философский анализ. М.: Изд-во МГУ, 2004. 128 с.

Этюд 6. МОДЕЛЬНАЯ ЭКВИФИНАЛЬНОСТЬ

В предыдущих этюдах отдельные вопросы литологии рассматривались на авторском материале терригенных внутриконтинентальных (угленосных) толщ, имеющих юрский возраст. «Заданной» разрозненностью отдельных этюдов определен и сам характер предъявляемой работы (см. введение). В то же время возникает естественное желание и осознанная необходимость объединения изложенных сведений и результатов в рамках некоего *единого* подхода.

Для реализации этого стремления попытаемся определить и охарактеризовать общую методологическую базу исследований. Общие представления о ней изложены в трех традиционных интерлюдиях. Они представляют собой сверсжатую и далеко не всеобъемлющую квинтэссенцию из обширного арсенала геологической методологии.

Интерлюдия 1. Системный анализ

Системный подход широко используется при изучении любых объектов, в особенности – сложных, и в любых отраслях науки, в т. ч. в геологии. В ходе системного анализа формируются модели *систем* – комплексов элементов, находящихся во взаимодействии (Л. фон Берталанфи, 1956). Целостность системы выражается в наличии *эмерджентного* свойства, представляющего свойство (признак, качество) целого, не сводимое к сумме свойств элементов, составляющих систему. При предварительной постановке задач бывает достаточно формальное выделение систем как устойчивых совокупностей ряда элементов (Геол. словарь, 1973).

Весьма удачное подразделение геологических систем выполнено Ю. А. Косыгиным и В. В. Соловьевым¹²². Динамические системы охватывают всю гамму современных геологических процессов (выветривание, денудация, перенос и осадконакопление). Статические, точнее – квазистатические, системы соответствуют различным геологическим телам, структурам и т. д. (*s. lato*). Ретроспективные системы охватывают все построения и реконструкции, касающиеся геологического прошлого (в т. ч. фациальный анализ). Они не могут наблюдаться непосредственно, и их проверка всегда выполняется косвенным путем.

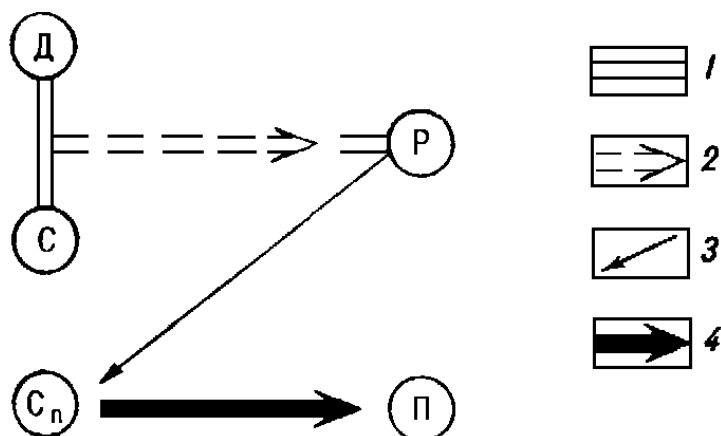
Выделенные системы Ю. А. Косыгиным¹²³ объединены в единую логически выдержанную методологическую систему, названную им по форме ее схематического графического изображения Z-системой или зет-системой (рис. 6.1). Квазистатические модели, построенные не только на основании непосредственных наблюдений, но и с использованием ретроспективных реконструкций, предложено называть *прогнозными* моделями. Их проверка осуществляется на практике.

¹²² Косыгин Ю. А., Соловьев В. В. Статические, динамические и ретроспективные системы в геологических исследованиях // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1969. № 6. С. 9-17.

¹²³ Косыгин Ю. А. Тектоника. М.: Недра, 1983. 536 с.

Рис. 6.1. Зет-система (по Ю. А. Косыгину, 1974, 1983)¹²³:

Д – динамические системы, С – квазистатистические системы; Р – ретроспективные системы; С_п – прогнозные модели квазистатистических систем; П – практический результат); 1 – сравнение по распространенной аналогии; 2 – построение ретроспективной модели по принципу актуализма; 3 – построение прогнозной модели; 4 – практическая реализация



Интуитивное представление об *уровнях организации* геологических тел присуще геологам изначально. Именно на этой базе зародились самостоятельные направления литологии (см. 5 этюд: рис. 5.2-5.4). В 3-м этюде, рассматривая цикличность осадочных толщ, мы остановились и на уровнях организации геологических тел, охарактеризовав эмерджентные свойства рассматриваемых рангов (см. табл. 3.1). Дополним, что «...обладая собственной внутренней структурой, каждая структурная единица вещества, в свою очередь, сама является элементом в структурах более высокого ранга» (¹²⁴, с. 24). Естественно также, что на границах рангов эмерджентное свойство должно проявляться наиболее отчетливо.

Интерлюдия 2. Моделирование в геологии

Моделирование в широком понимании – исследование каких-либо явлений, процессов или объектов путем построения и изучения их моделей. Моделью (лат. *modulus* – мера, образец, норма) является некоторый образ (схема, структура, чертеж и проч.) или аналог, используемый в качестве «заместителя» или «представителя» соответствующего явления, процесса, объекта и выступающий средством как объяснения, так и предсказания, в том числе эвристического. Из перечисленного следует многообразие возможных путей моделирования и получаемых разными способами моделей.

Исходя из изложенных в 1-й интерлюдии посылок, ретроспективная система – это всегда *модель*, причем большая часть геологии построена именно на таких моделях. Путь, показанный на зет-системе (см. рис. 6.1), С. И. Романовским описан следующим образом: «На основе некоторых предпосылок о протекании геологического процесса в прошлом строится теоретическая модель, отражающая механизм процесса, и на ее основе выводятся следствия о состоянии изучаемого объекта в настоящее время. Полученные из теоретической модели следствия сопоставляются с эмпирическими данными. Если устанавливается взаимоднозначное соответствие между теоретически полученными и опытными данными, то можно утверждать, что образование исследуемого объекта удовлетворительно описывается предложенной моделью, поскольку следствия из модели не противоречат эмпи-

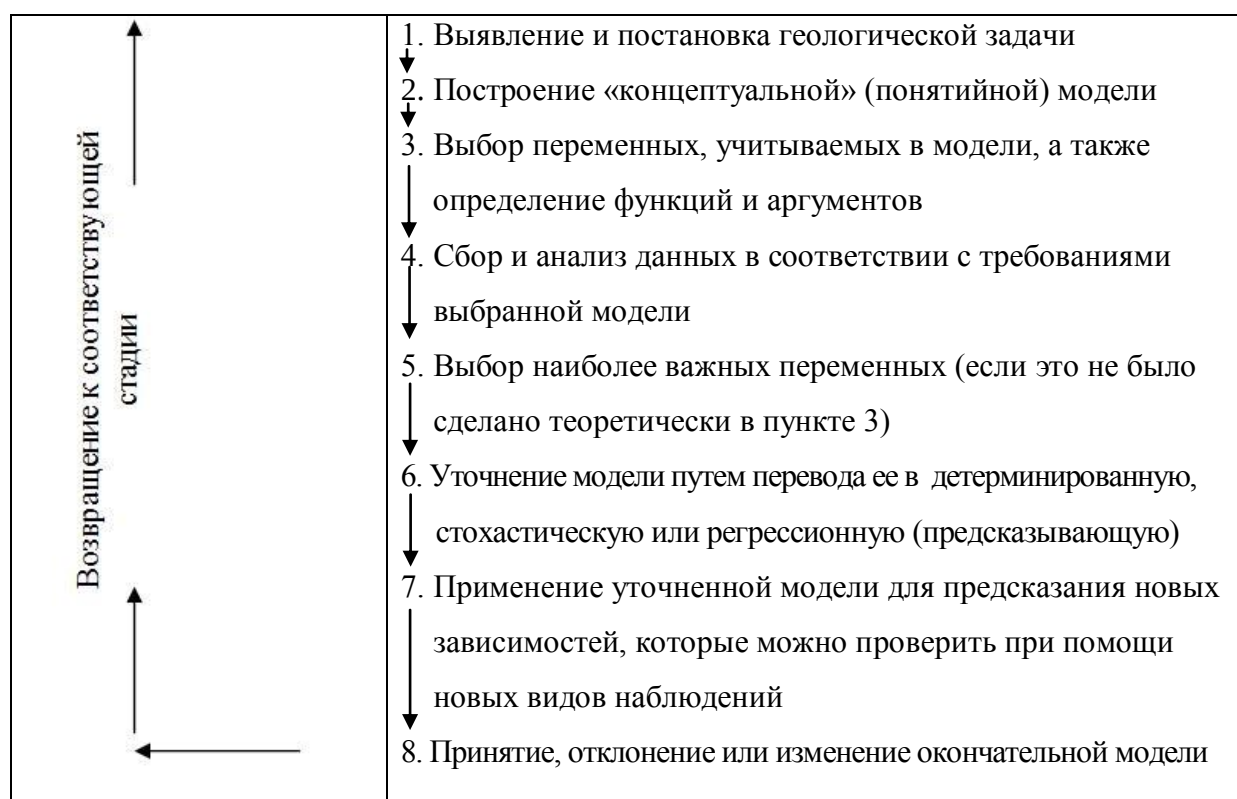
¹²⁴ Вотах О. А. Структура вещества Земли. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1991. 224 с.

рическим данным. Если же следствия из модели противоречат признакам, характеризующим эмпирически изучаемый объект, то модель отвергается» (¹²⁵, с. 17). Естественно при этом, что любая модель должна в первую очередь удовлетворять требованию принципиальной эмпирической проверяемости. Осуществить же это можно посредством сопоставления, *сравнения*.

Для своего рода «эмпирической проверки» изложенной последовательности исследований приведем два принципиально тождественных варианта, отображающих процесс моделирования, ссылки на которые часто встречаются в литературе (табл. 6.1, рис. 6.2).

Таблица 6.1

Схематическое представление этапов геологического исследования¹²⁶



Остановимся еще на одном немаловажном аспекте. В ходе моделирования одним из «рабочих» методов является принцип или правило «*бритвы Оккама*», названный по предложившему его философу У. Оккаму (ок. 1280-1347). Согласно данному правилу, понятия, не сводимые к интуитивному или опытному знанию, должны отсекаются (как бы отрезаться бритвой). Иначе, это принцип *минимизации* любых допущений: «не следует умножать сущности без необходимости». Непосредственно в текстах Оккама наиболее известна формулировка: *Pluralitas non est ponenda sine necessitate* (Множественность не следует допускать без необходимости). Кстати, к грубому нарушению данного принципа приводят «электрометрические фации», описанные в предыдущем, 5-м этюде (см. табл. 5.2).

¹²⁵ Романовский С. И. Седиментологические основы литологии. Л.: Недра, 1977. 408 с.

¹²⁶ Крамбейн У., Кауфмен М., Мак-Кеммон Р. Модели геологических процессов / Пер. с англ. М.: Мир, 1973. 150 с.

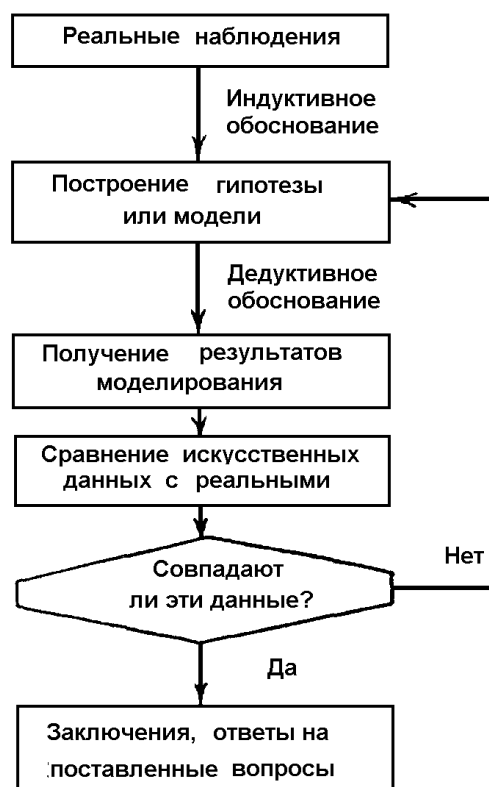


Рис. 6.2. Блок-схема, показывающая последовательные этапы моделирования¹²⁷

Интерлюдия 3. Синергетика геологических систем и процессов

Синергетика (греч. *synergea* – совместное действие, сотрудничество), введенная в науку Г. Хакеном¹²⁸, очень быстро сформировалась как междисциплинарное научное направление, рассматривающее процессы деструкции и (прежде всего) самоорганизации в любых, в т. ч. геологических¹²⁹ средах. В настоящее время реализуются ее приложения к самым разным, в т. ч. неожиданным, сферам. Не имея возможности осветить их даже в малой степени, обозначим основные аспекты формирующегося на наших глазах мультидисциплинарного направления.

1. Ключевой основой синергетики является проблема *самоорганизации* систем (для нас – открытых геологических). Она впервые освещена И. Пригожиным¹³⁰, справедливо приравняемым к «Ньютону XX века», проанализировавшим упорядоченность структур, возникающих из хаоса. Мерой неупорядоченности, или хаотичности, является *энтропия* системы, рассмотренная Больцманом во втором начале термодинамики. «На всех уровнях... источником порядка является неравновесность. Неравновесность есть то, что порождает «порядок из хаоса»».¹³⁰

¹²⁷ Харбух Дж., Бонэм –Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии/ Пер. с англ. М.: Мир, 1974. 320 с.

¹²⁸ Хакен Г. Синергетика/ Пер. с англ. М.: Мир, 1980. 404 с.

¹²⁹ Летников Ф. А. Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, 1992. 230 с.

¹³⁰ Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой/ Пер. с англ. М.: Прогресс, 1986. 432 с.

В качестве меры самоорганизации может выступать *автомодельность*, детально рассмотренная М. А. Садовским¹³¹. Им определена иерархическая последовательность для отдельных масштабов – от мельчайших песчинок до континентальных плит – в виде геометрической прогрессии с показателем $K=3,5\pm 0,9$. Данное положение ни в коей мере не противоречит высказанным выше сомнениям в целесообразности попыток создания единых шкал для явлений геологической цикличности (см. 3-й этюд). Суть в том, что, признавая существование единой последовательности, в т. ч. выражаемой числовыми характеристиками для структурных единиц многих порядков, мы должны отчетливо сознавать различное их проявление (овеществление) на разных уровнях организации вещества (см. 1-ю интерлюдия данного этюда).

Одним из первых в геологии к проблемам самоорганизации подошел А. С. Тараканов¹³², занимаясь вопросами *саморегулирования* при формировании болотных экосистем. Им показано, что, в противовес многим постулатам о «хрупкости» процессов торфонакопления, торфяные болота – одни из наиболее устойчивых экосистем континентального осадкообразования. При превышении же некоторого «порогового» значения мощности накопившегося торфа они приобретают весьма значительный запас прочности. Высказанные суждения находят прямое подтверждение самим фактом наличия во многих угленосных толщах сверхмощных угольных залежей со временем их формирования в сотни тысяч лет. Их накопление, а тем более переход в ископаемое состояние, без указанных А. С. Таракановым факторов саморегуляции, маловероятны.

2. При возбуждении во внешней среде вокруг любой диссипативной (лат. *dissipatio* – рассеивание) системы могут возникать конкретные автоколебательные структуры, обеспечивающие периодичность (см. выше). Накапливающаяся *память* (распознаваемая по марковскому эффекту) приводит к тому, что под влиянием какой-то одной из множества флуктуаций происходит резкая качественная перестройка системы в точке бифуркации¹³³: «...система уходит со стационарного режима скачком... на иной режим движения». Устанавливающиеся режимы движения получили название *аттракторов*, в т. ч. для турбулентных движений – странных аттракторов. Тем самым, аттрактор представляет собой относительно устойчивые структуры, на которые «выходят процессы эволюции в открытых системах»; они устойчивы к слабым помехам. «Энтропия ведет себя как аттрактор для изолированных систем»¹³⁰.

3. Множество точек последовательных переходов фазовых состояний *внутри* аттрактора(ов) и множества переходов систем *разных* рангов и уровней соподчиненности в режиме бифуркации определяют не равномерную, а «дырчатую», или «решетчатую», структуру пространства. Это описывается с позиций концепции *фракталов*, определяющих структуру хаоса.¹³⁴ О взаимосвязи фрактальности и цикличности мы упоминали в заключении к 3-му этюду. Здесь укажем, что *s. lato* фракталы инвариантны относительно изменения масштаба (см. в 1-й интер-

¹³¹ Садовский М. А. Автомодельность геодинамических процессов // Вестник АН СССР. 1986. № 8. С. 3-11.

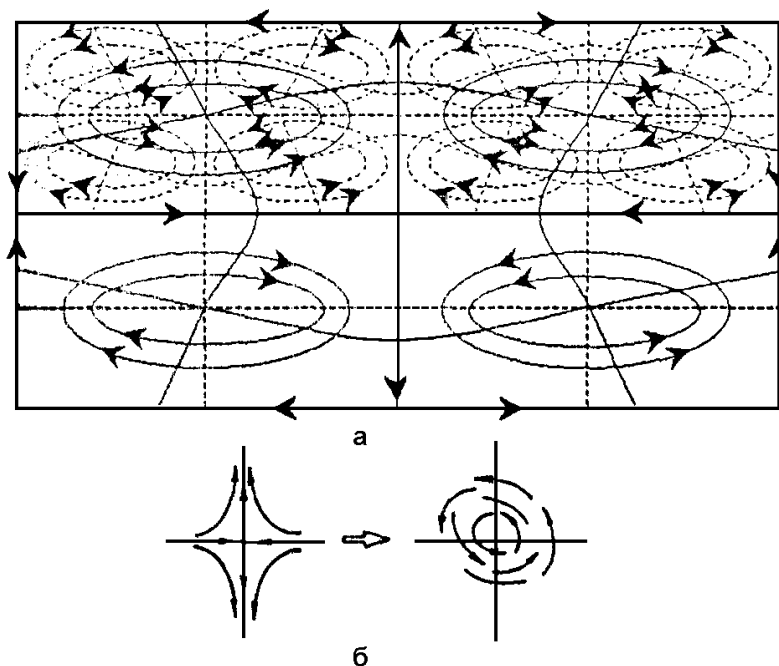
¹³² Тараканов А. С. Современное торфонакопление и вопросы генезиса мощных угольных пластов // Научные основы прогнозирования мощных угольных пластов. Л.: Недра, 1985. С. 6-25.

¹³³ Арнольд В. И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990. 128 с.

¹³⁴ Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Ин-т компьютерных ис-ний, 2002. 656 с.

люди об автомодельности). О. В. Петров и И. Б. Мовчан¹³⁵ пришли к выводу о том, что «диссипативное структурирование неравновесного слоя проявляется как в плане, так и в разрезе в виде полигонального (ячеистого) дробления». Модель его стратификации приведена на рис. 6.3. «Седловая точка», формирующаяся при слиянии нескольких ячеек в результате диссипации (рис. 6.3, а), транслируется в центр некоторого предельного цикла или аттрактора (рис. 6.3, б).

Рис. 6.3. Графическая модель спонтанной стратификации неравновесного слоя (а) и поясняющая его схема преобразования особой седловой точки в структуре течений в центр циркуляции или аттрактор (б)¹³⁵



На различных примерах этими авторами показано, что фрактальная размерность (делимость) укладывается в узкий, детерминированный интервал значений. Для его параметрического описания предложена формула¹³⁵

$$d = \log(N) / \log(1/r),$$

где N – число микроскопических объектов одного размера, составляющих один макроскопический объект, а $1/r$ – масштабный коэффициент, показывающий, во сколько раз размеры микроскопических объектов меньше макроскопических.

4. Синтез в рамках синергетики основных положений системного анализа, физики неравновесных процессов, теории бифуркации и катастроф, фрактальной геометрии и др. обеспечил новую парадигму теории систем.¹³⁶ В настоящее время формируется новая область знания – *нелинейная наука*, или нелинейная динамика. В геологии, как в целом в последние десятилетия, наиболее восприимчивой к этим идеям оказалась геотектоника – в результате формируется нелинейная геодинамика,¹³⁷ общие представления о которой (в режиме «за» - «против»)

¹³⁵ Петров О. В., Мовчан И. Б. Самоподобие и размерность в диссипативном структурировании Земли // Региональная геология и металлогения. 2003. № 19. С. 33-47.

¹³⁶ Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М.: Наука, 1994. 236 с.

¹³⁷ Нелинейная геодинамика. М.: Наука, 1994. 191 с.

можно почерпнуть в ряде изданий последних лет, в т. ч. в статье¹³⁸. Для геотектоники ее автор пришел к выводу о чрезвычайной *чувствительности* открытых, самоподобно структурированных, грубо дискретных и фрактальных нелинейных систем, удаленных от состояния равновесия к изменениям *начальных* условий. Это, естественно, дает непропорциональность отклика («сигнал на выходе») в ответ на малые изменения «сигнала на входе»: не возражая против такого положения в геотектонике (подчеркнем, для *открытых* систем), попытаемся в конце эту-да рассмотреть данное положение применительно к литологии.

Завершив традиционные (и теперь уже последние) интерлюдии, перейдем к рассмотрению авторских представлений, базирующихся на разнообразных фактических данных.

На рис. 6.4 в обобщенном виде показан изучаемый геологический разрез (в самом широком смысле – земная кора), где S – некоторая территория (до сколь угодно большой), а H – вся история ее развития. В принципе все выполняемые работы можно свести к нескольким вариантам:

- 1) $s_1 h_1$ – конкретные, обычно разведочные работы по определенному объекту (как правило, месторождению);
- 2) $s_1 h_k$ – геологические исследования некоторой территории, охватывающие всю или значительную часть истории ее формирования (например, исследования съемочного характера);
- 3) $s_n h_1$ – изучение на значительной площади какого-либо отдельного периода геологической истории – к примеру, упомянутые палеогеографические реконструкции;
- 4) $s_n h_k$ при сколь угодно больших значениях n и k – обычно это исследования обобщающего характера, базирующиеся на обширном исходном материале.

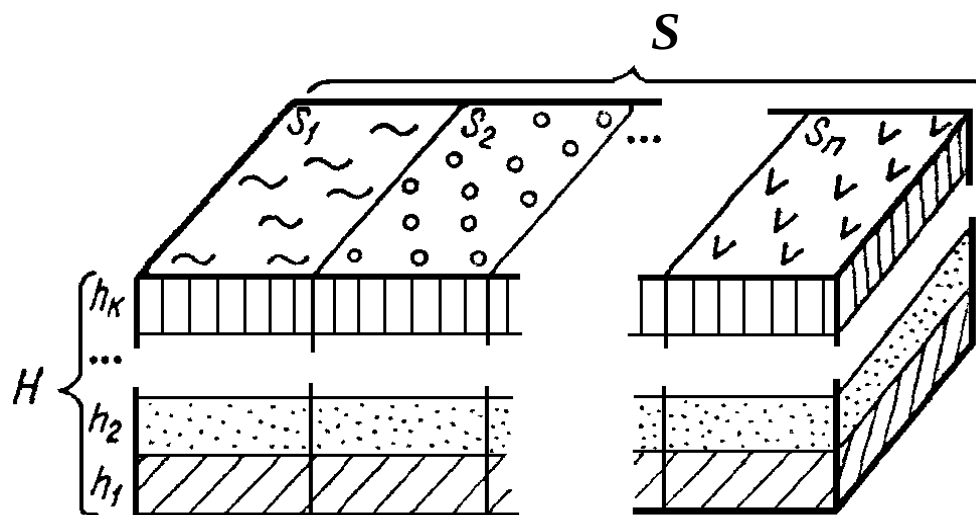


Рис. 6.4. Выбор объекта исследований. Объяснения в тексте

В своих исследованиях, как это видно из предыдущих этюдов и особо отмечено в 3-й интерлюдии к 3-му этюду, мы в целом следовали *третьему* подхо-

¹³⁸ Наймарк А. А. Нелинейная динамика – опровержение постулата прогнозируемости? (к новой парадигме геологии) // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2000. № 6. С. 10-17.

ду из вышеперечисленных. В принципе такие работы по разновозрастным отложениям разобщенных и различно удаленных территорий достаточно редки. В то же время именно они наиболее эффективны благодаря сравнениям на однородной базе данных. Узкий стратиграфический диапазон исследуемых отложений позволяет в значительной мере «снять» проблемы эволюции или историзм в геологическом понимании. Это позволяет сосредоточиться на сравнении изначально «однородных» объектов, образующих класс (см. начало раздела).

Модели объектов как отражение конвергентности их признаков и параметров

Понятие *конвергенции* подразумевает образование продуктов сходного типа из различных источников и (или) разными путями. В Геологическом словаре (1973) приводится серия примеров, иллюстрирующих широкое проявление конвергентности в самых разных геологических процессах и выражающихся в сходстве параметров, характеризующих геологические тела различных уровней организации. Наличие конвергентности несомненно связано с процессами самоорганизации в неравновесных системах (см. 3-ю интерлюдия). Именно это эмпирически устанавливаемое явление и обеспечивает возможности моделирования (см. 2-ю интерлюдия). В целом главным этапом здесь выступает создание моделей, имеющих прогнозные функции (C_n на рис. 6.1).

В каждом из предыдущих этюдов есть модели разного назначения, содержания и объема: от *образца* (этюд 1) до этюдов 4 и 5, изложение которых преимущественно построено на *модельном* принципе. Как указано в интерлюдии 2, главной задачей моделирования является проверка, или *верификация*, концептуальных гипотез в виде моделей (см. табл. 6.2, рис. 6.2). В ряде этюдов такая проверка проведена путем сравнения конкретных данных с концептуальными рассуждениями: например, для скольжения коллекторов (см. рис. 4.9). Приведем несколько примеров специально выполненной верификации для моделей разного уровня и вида, последовательно для основных уровней организации изучаемых нами геологических тел.

Пример 1. Верификация фациальной модели

В 3-м этюде (см. табл. 3.2) приведена схема фациального расчленения отложений. По сути она представляет модель, отображающую палеогеографический этап седиментологических реконструкций. В качестве *проверки* правильности выделения фаций по комплексу признаков пород приведем следующие сведения.

По скв. 10320, пробуренной на Тальниковом месторождении (Шаимский нефтегазоносный район Западно-Сибирского осадочного мегабассейна), нами отобрано 52 пробы из алевролитов и песчаников тюменской свиты (интервал 1727-1801 м). По ним выполнен химический (силикатный) анализ, непосредственные результаты которого за недостатком места приводить не будем.

Известно и, по сути, стало тривиальным суждение о том, что содержания тех или иных окислов сами по себе не дают надежной и, тем более, исчерпывающей информации, поскольку они представляют закрытую числовую систему:

увеличение одного показателя приводит к снижению значений других. Поэтому неискаженную характеристику можно получить, пользуясь *геохимическими модулями*, то есть отношениями между содержаниями окислов. Для модулей рекомендуется использовать показатели, находящиеся между собой в положительной или отрицательной корреляции. В таком случае отклонение геохимического модуля от своего среднего значения будет свидетельствовать о смещении равновесия в сторону того или иного фактора осадконакопления.

Безусловным авторитетом в области использования и интерпретации химического состава осадочных пород пользуются работы Я. Э. Юдовича. В течение двух десятилетий настольным руководством для литологов служила его монография 1981 г.¹³⁹; новейшей и исчерпывающей сводкой является работа, написанная совместно с М. П. Кетрис¹⁴⁰. В этих сводках приводится детальная характеристика более чем десяти различных модулей, которую мы, естественно, повторять не будем. Сразу определим, что нами исходя из опыта работ по терригенным угленосным отложениям выбрано *пять* геохимических модулей, значения которых приведены в табл. 5.2. Их сжатая характеристика которых сводится к следующему.

Алюмокремневый модуль (АМ): $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ отражает главную тенденцию химического выветривания – отделение продуктов гидролиза от кремнезема. В фациальном отношении снижение его значения указывает на усиление гидродинамики среды. Укажем, что в последнее время настойчиво рекомендуется замена АМ гидролизатным (ГМ):
$$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}}{\text{SiO}_2}.$$

Титановый модуль (ТМ): $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. При равных условиях в отношении исходного материала, поступавшего в осадок, повышенные значения ТМ будут свойственны хорошо и многократно отсортированным песчаникам.

Натрий-калиевый модуль (НКМ) или нормированная щелочность: $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Низкие значения НКМ свидетельствуют о преобладании в породе слюд, а высокие – полевых шпатов (опять-таки при прочих равных условиях).

Железный модуль (ЖМ):
$$\frac{\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}}{\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$
 предназначен для характеристики пелитовых продуктов гидролиза и является хорошим индикатором вулканического материала, при его наличии.

Фемический модуль (ФМ):
$$\frac{\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{MnO}}{\text{SiO}_2}$$
 весьма полезен (в сочетании с другими модулями) для идентификации обстановок осадконакопления, поскольку достаточно чутко реагирует на застойность или, наоборот, проточность среды.

Исключительно в справочном «формате» приведем средние значения модулей, в сравнении с результатами изучения *одновозрастных* среднеюрских терригенных отложений, выполненных в 1980-1990-е гг. той же химической лабораторией УГГУ (табл. 6.2). Даже такие, предельно обобщенные результаты подчеркивают существенную *специфику* отложений тюменской свиты. Низкие зна-

¹³⁹ Юдович Я. Э. Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.

¹⁴⁰ Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

чения АМ, ЖМ и ФМ, вкпе с одинаковыми для других толщ ТМ и НКМ вполне объяснимы глубокой и многократной переработкой исходного материала перед его окончательным закреплением в разрезе, т. е. собственно осадконакоплением.

Таблица 6.2

Значения модулей по результатам химического анализа для терригенных отложений среднеюрского возраста

Объект исследований	Кол-во проб	М о д у л и				
		АМ	ТМ	НКМ	ЖМ	ФМ
Шаимский НГР, тюменская свита	52	0,16	0,04	0,22	0,09	0,03
Южно-Якутский каменноугольный бассейн, Денисовское месторождение, дурайская свита	235	0,23	0,03	0,43	0,19	0,06
Улугхемский каменноугольный бассейн, эрбекская свита	87	0,25	0,04	0,29	0,32	0,12
Тургайский бурогоугольный бассейн, Кызылतालская депрессия, кызылतालская свита	190	0,22	0,06	0,16	0,25	0,07

Последующая обработка исходных данных проводилась в обычной последовательности: расчет корреляционных связей, кластерный анализ и пр. Пропуская их, отметим, что на роль геохимического индикатора в наибольшей степени претендует натрий-калиевый модуль НКМ, изменения которого в наибольшей степени независимы от общей дисперсии системы, определяемой наложением некой суммы общих факторов «внешнего» характера.

Заключительным этапом обработки сведений явился факторный анализ, сущность которого сводится к замене набора исходных переменных (значений модулей) новыми переменными – факторами. Их значения приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Матрица факторных нагрузок

Модули	Факторы	
	1	2
АМ	0,316395	0,866259
ТМ	0,499210	0,556045
НКМ	0,098524	-0,916518
ЖМ	0,946413	-0,084214
ФМ	0,901533	0,380667
Вклад	0,413496	0,410319

Как следует из приведенных результатов, практически вся дисперсия системы признаков обусловлена двумя ведущими, практически равнозначными факторами. Первый из них обусловлен главным вкладом железного (ЖМ) и феррического (ФМ) модулей; второй – алюмокремниевый (АМ) и натрий-калиевый (НКМ). Исходя из природы самих модулей и сравнения с данными по другим

бассейнам (см. табл.6.2), можно сделать вывод, что формирование первого фактора обеспечивается внешними причинами – петрофондом, процессами эпигенеза и пр. Что касается второго фактора, то, исходя из тех же посылок, его следует связывать с изменением конкретных обстановок осадконакопления.

Именно последнее предположение позволяет проверить последняя проведенная нами операция: вынесение данных по конкретным пробам в поле факторов F_1 и F_2 (рис. 6.5). Показанное распределение проб, в соответствии с их генетической характеристикой по результатам литолого-фациального анализа (см. табл. 3.2), дает полное подтверждение *правомерности* такой характеристики, насыщая её конкретным геохимическим содержанием.

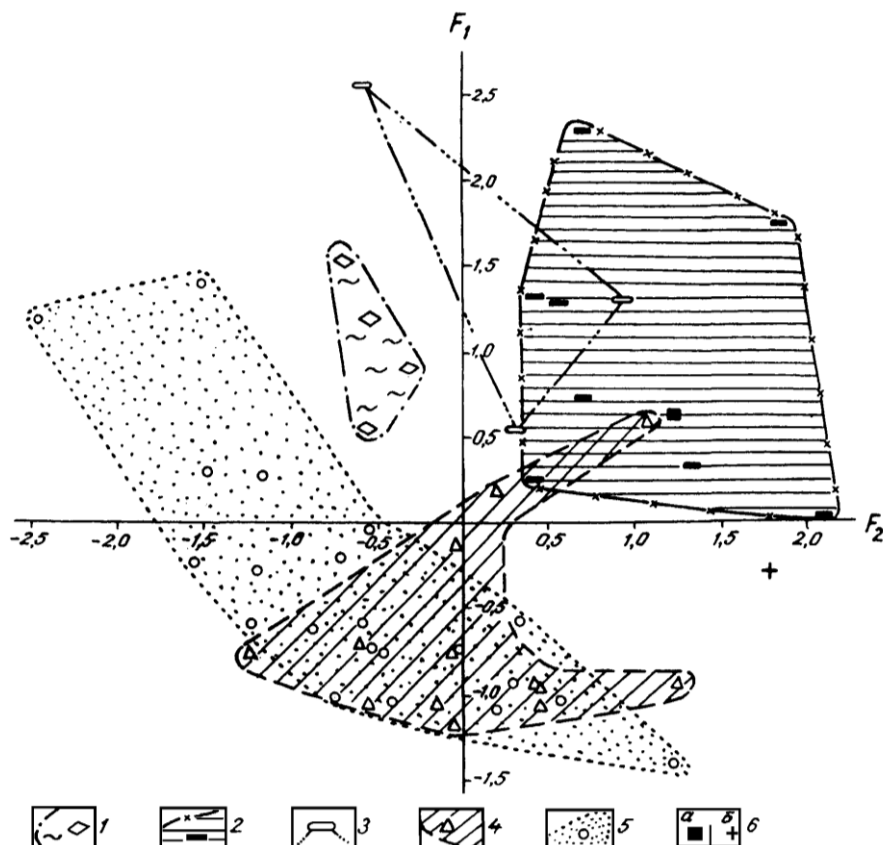


Рис. 6.5. Распределение проб в поле факторов $F_1 - F_2$:

отложения: 1 – открытого подвижного бассейнового мелководья (БМ); 2 – малоподвижного бассейнового мелководья (БП); 3 – мелких прибрежных водотоков (КС); 4 – подводной части дельты (БД); 5 – руслового аллювия (АР); 6 – отдельные пробы по фациям: а – ОЗО, б – АПП

Такая же проверка проведена и по результатам количественного спектрального анализа на некоторые элементы. По той же скв. 10320, в том же интервале, отобрано 84 пробы, анализы которых выполнены в аккредитованной лаборатории Института испытаний и сертификации минерального сырья УГГУ. Опять-таки в сугубо справочном «формате» приведем некоторые полученные результаты.

В табл. 6.4 приводятся корреляционные связи между элементами, а на рис. 6.6. – кластерная диаграмма их зависимостей.

Таблица 6.4

Корреляционная матрица

Элементы	Ga	Cu	Sr	Mn	Cr	V	Ba
Ga	1,00	0,81	0,31	-0,53	0,23	0,48	0,21
Cu	0,81	1,00	0,53	-0,62	0,08	0,13	0,08
Sr	0,31	0,53	1,00	-0,55	0,05	-0,06	0,34
Mn	-0,53	-0,62	-0,55	1,00	-0,13	-0,02	-0,02
Cr	0,23	0,08	0,05	-0,13	1,00	0,48	0,37
V	0,48	0,13	-0,06	-0,02	0,48	1,00	0,45
Ba	0,21	0,08	0,34	-0,02	0,37	0,45	1,00

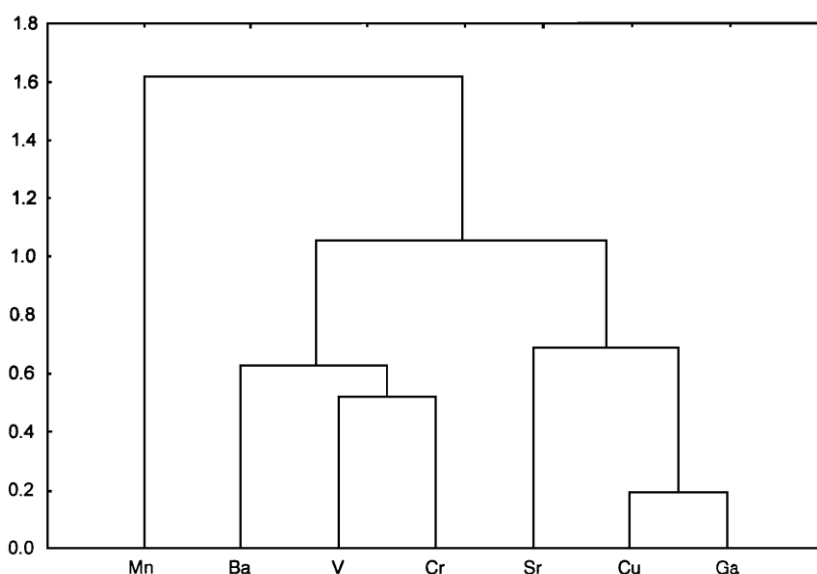


Рис. 6.6. Кластерная диаграмма объектов (элементов) по соотношению их содержаний (по ординате – расстояние в усл. ед.)

Приведенные сведения свидетельствуют о выделении двух групп элементов: 1) Ga – Sr – Cu; 2) Ba – V – Cr – при внешнем отношении к данным системам марганца. Еще более четко эти группы проявляются при факторном анализе (табл. 6.5 и рис. 6.7).

Таблица 6.5

Матрица факторных нагрузок

Элементы	Факторы	
	1	2
Ga	0,758220	0,403503
Cu	0,906869	0,077719
Sr	0,728594	0,013126
Mn	-0,838577	0,025844
Cr	0,037426	0,757282
V	0,050113	0,863324
Ba	0,101783	0,714356
Вклад	0,377949	0,285543

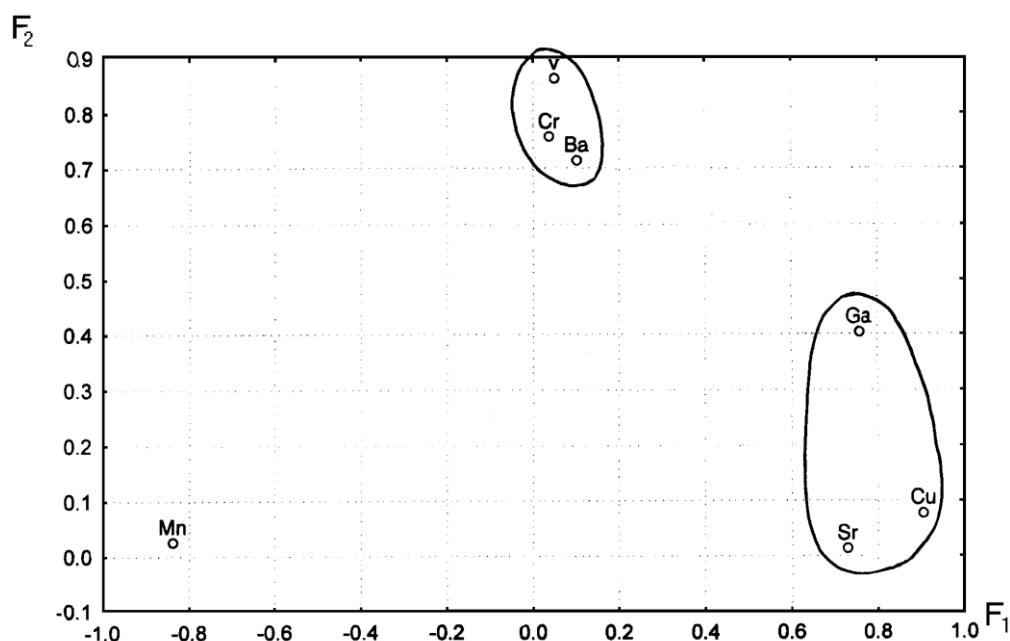


Рис. 6.7. Распределение элементов в факторном поле (выделены группы элементов)

Не вдаваясь в детальную характеристику геохимической специализации каждого из элементов, отметим, что полученные статистическим обработкой исходных данных материалы очень хорошо отразили условия формирования отложений.

Во-первых, четко обособленное положение марганца подтверждает его большую приуроченность к мористым отложениям в принципе. Таким образом, его «противостояние» другим элементам в сугубо континентальной толще тюменской свиты выглядит совершенно закономерным.

Во-вторых, группа Ga – Sr – Cu идентифицирует *петрофонд*, то есть связь состава отложений с питающими провинциями. Каждый из этих элементов свидетельствует об указанной связи по-разному: Ga – по перемещению материала во взвеси, Sr – сродством с органическим, Cu – с глинистым веществом и т. д. Однако их группировка в тесную и хорошо распознаваемую группу (см. рис. 6.5) определяет первый фактор изменчивости всей системы с определяющим вкладом 37,8 % (см. табл. 6.5).

В-третьих, группа элементов Ba – V – Cr, характеризующаяся еще большей теснотой взаимосвязей (см. рис. 6.5), характеризует изменчивость собственно условий осадконакопления внутри области седиментации. Ею формируется второй фактор, определяющий 28,5 % изменчивости системы (см. табл. 6.5). При этом Cr и Ba идентифицируют большую подвижность обстановок; поведение же V всегда составляло значительную загадку для геохимиков – не являются исключением и полученные результаты. Во всяком случае, сродство Cr и V в осадочных терригенных (угленосных) толщах нами отмечалось и ранее.

Подтверждением перечисленному выше служат данные рис. 6.8, на котором в поле факторов $F_1 - F_2$ показано распределение пород в соответствии с тем, из слоев какого генезиса они отобраны.

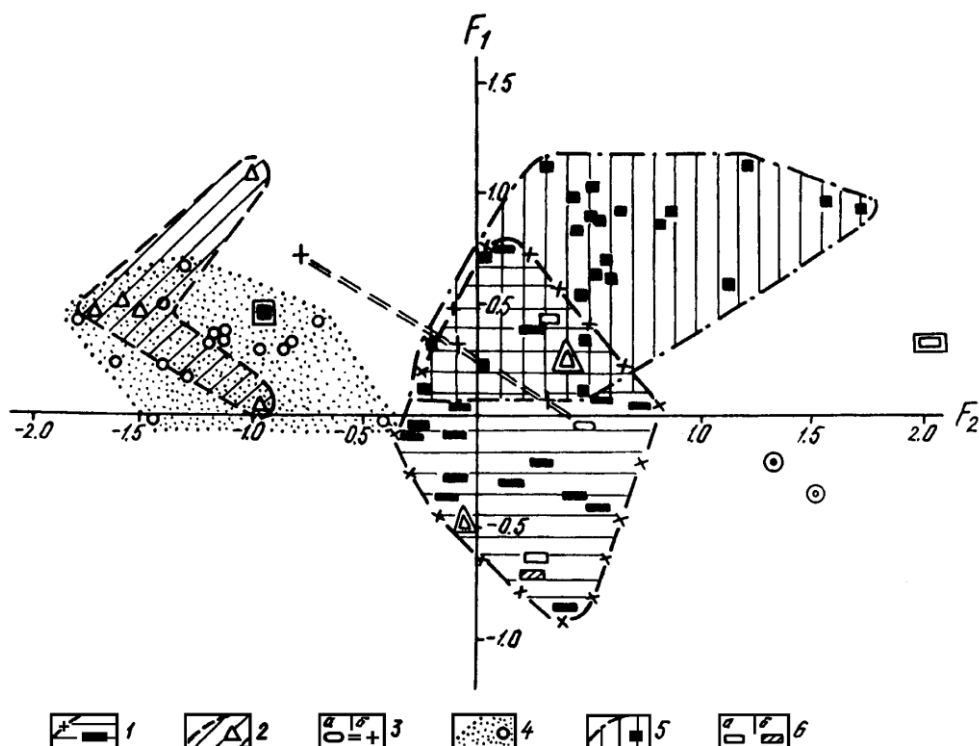


Рис. 6.8. Распределение проб в поле факторов $F_1 - F_2$:

отложения: 1 – малоподвижного бассейнового мелководья (БП); 2 – подводной части дельты (БД); 3 – мелких прибрежных водотоков (КС) – а и пойменного аллювия (АП) – б; 4 – руслового аллювия (АР); 5 – застойных и заболачивающихся озер (ОЗ); 6 – отдельные пробы по фациям: а – ОВП, б – БЗП. Двойными линиями обведены пробы, не попавшие в основные поля, характеризующие макрофации

Проекция полей фаций на фактор F_1 разделяет отложения макрофаций ОЗ и БП (при их одинаковом литологическом составе!), но поле макрофаций АР и БД на них накладывается. Это подтверждает положение обусловленности фактора F_1 изменениями петрофонда (см. выше).

Напротив, такая же проекция полей фаций на фактор F_2 , при сохраняющемся разделении макрофаций ОЗ и БП, отчетливо обособляет положение макрофаций АР и БД. Тем самым подчеркивается собственно фациальная сущность данного фактора (также см. выше).

И, наконец, очень интересна «пограничная» роль макрофаций АП-КС, намечающаяся по отдельным точкам (см. рис. 6.6), что прекрасно верифицирует роль прибрежных водотоков.

Еще одна проверка заключалась в изучении шлифов песчаников, отобранных по той же скв. 10320 Тальникового месторождения. Не приводя конкретных описаний, покажем распределение полученных данных на диаграмме В. Д. Шутова (рис. 6.9).

В целом изученные породы по минеральному составу достаточно близки. Преобладают кварцевые граувакки (19 образцов) и мезомиктовые разности (10 образцов); три образца относятся к аркозам.

Соотнесение состава песчаников с их генезисом, определенным по комплексу диагностических признаков – фацией (см. табл. 3.2), показано на рис. 6.10.

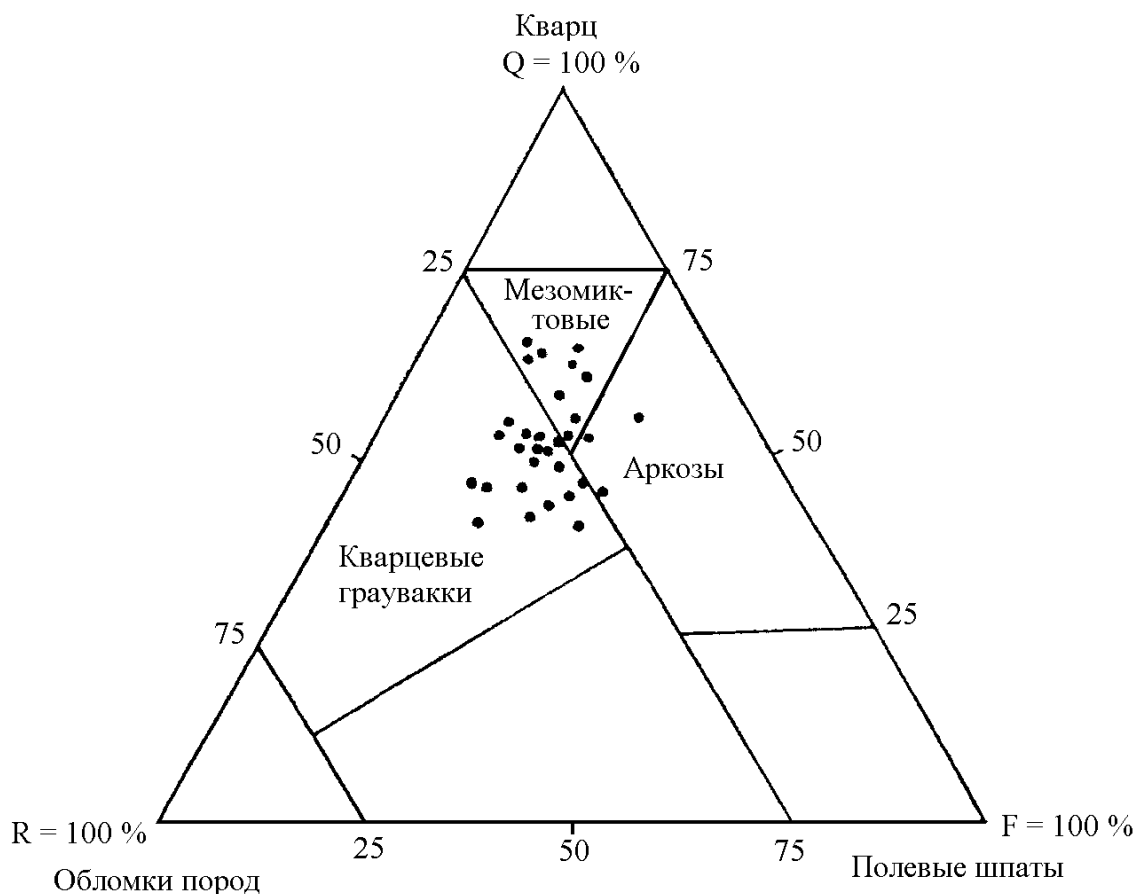


Рис. 6.9. Минерально-петрографический состав изученных образцов на классификационной диаграмме В. Д. Шутова, дополненной В. Н. Швановым¹⁴¹

Основное (левое) поле занято отложениями аллювиального генезиса (песчаники макрофаций руслового аллювия и мелких прибрежных водотоков; фации проточной поймы). Правое поле объединяет песчаники подводно-дельтового генезиса. Граница между ними не вполне четкая, поля «заходят» друг в друга, как это в «стилизованном» виде показано на рис. 6.10. Однако, несмотря на достаточную условность их выделения, приводимые сведения неопровержимо свидетельствуют о *правильности* «полевого» разделения аллювиальных и подводно-дельтовых песчаников. Независимо от содержания в них кварца песчаники дифференцируются по соотношению обломков пород и полевых шпатов — ОП/ПШ (разделительная двойная линия на рис. 6.10 показывает это отношение как 1:1). Совершенно естественно, что пойменно-русловые песчаники содержат больше обломков, нежели подводно-дельтовые.

Еще более интересно, что для трех образцов из четырех, характеризующих прибрежно-бассейновый и озерный (т. е. «волновой») генезис отложений, полученные параметры расположили их в «промежуточном» поле между двумя описанными выше (см. рис. 6.10). В принципе эти результаты идеально укладываются в общую канву рассуждений, но, конечно, требуют дополнительных исследований.

¹⁴¹ Шванов В. Н. Петрография песчаных пород. Л.: Недра, ЛО, 1987. 270 с.

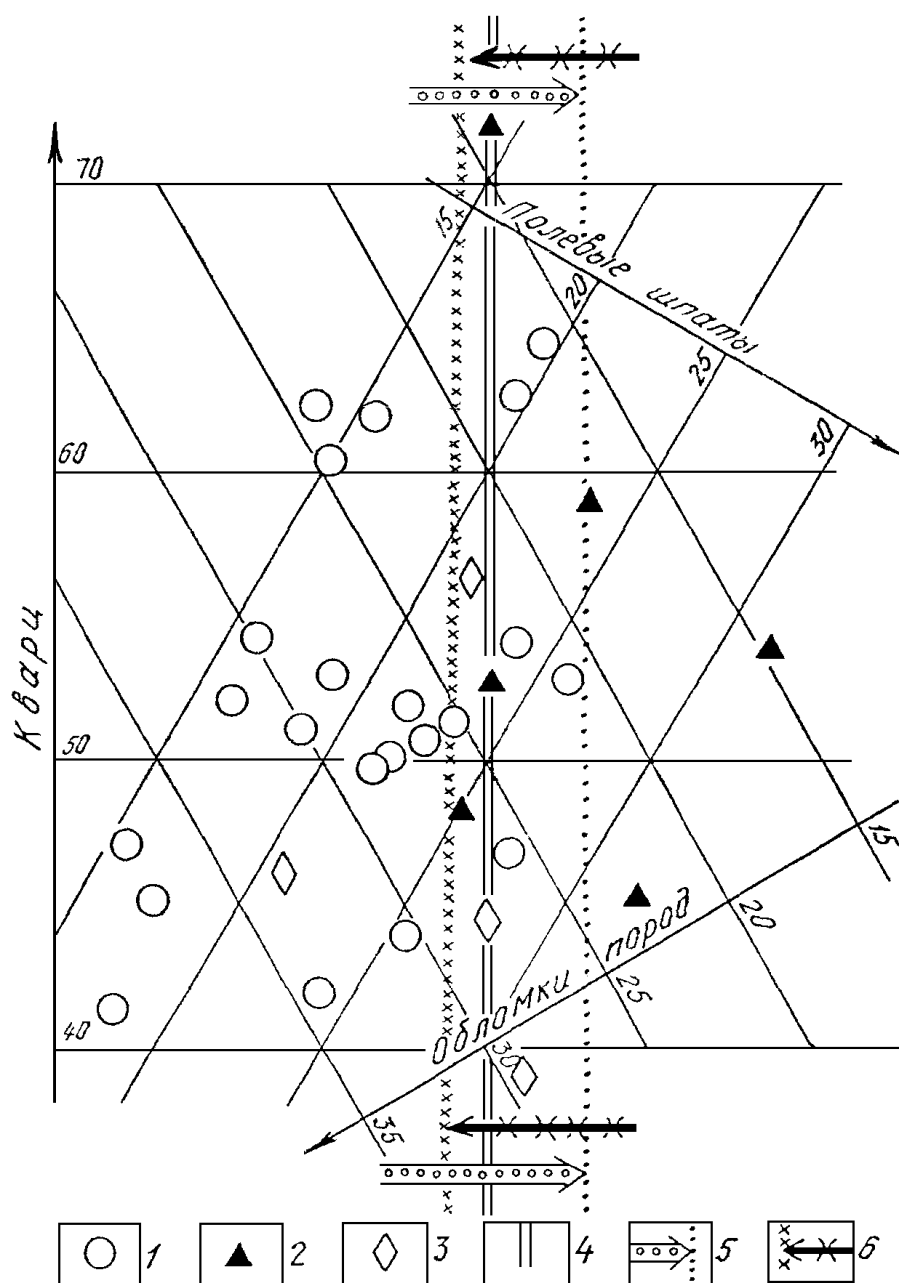


Рис. 6.10. Фрагмент классификационной диаграммы:

1 - образцы, взятые из пород аллювиального, 2 - подводно-дельтового и 3 - озерно-прибрежно-бассейнового, мелководного генезиса; 4 - «разделяющая» линия с соотношением ОП/ПШ (обломки пород/ полевые шпаты), равным 1; 5 - граница поля аллювиальных и 6 - подводно-дельтовых отложений

Пример 2. Верификация цикличности

Продолжая рассуждения о составе песчаников, изученных по скв. 10320, покажем распределение их характеристик в разрезе скважины (рис. 6.11); напомним, что цикличность в ее разрезе приведена на рис. 3.6.

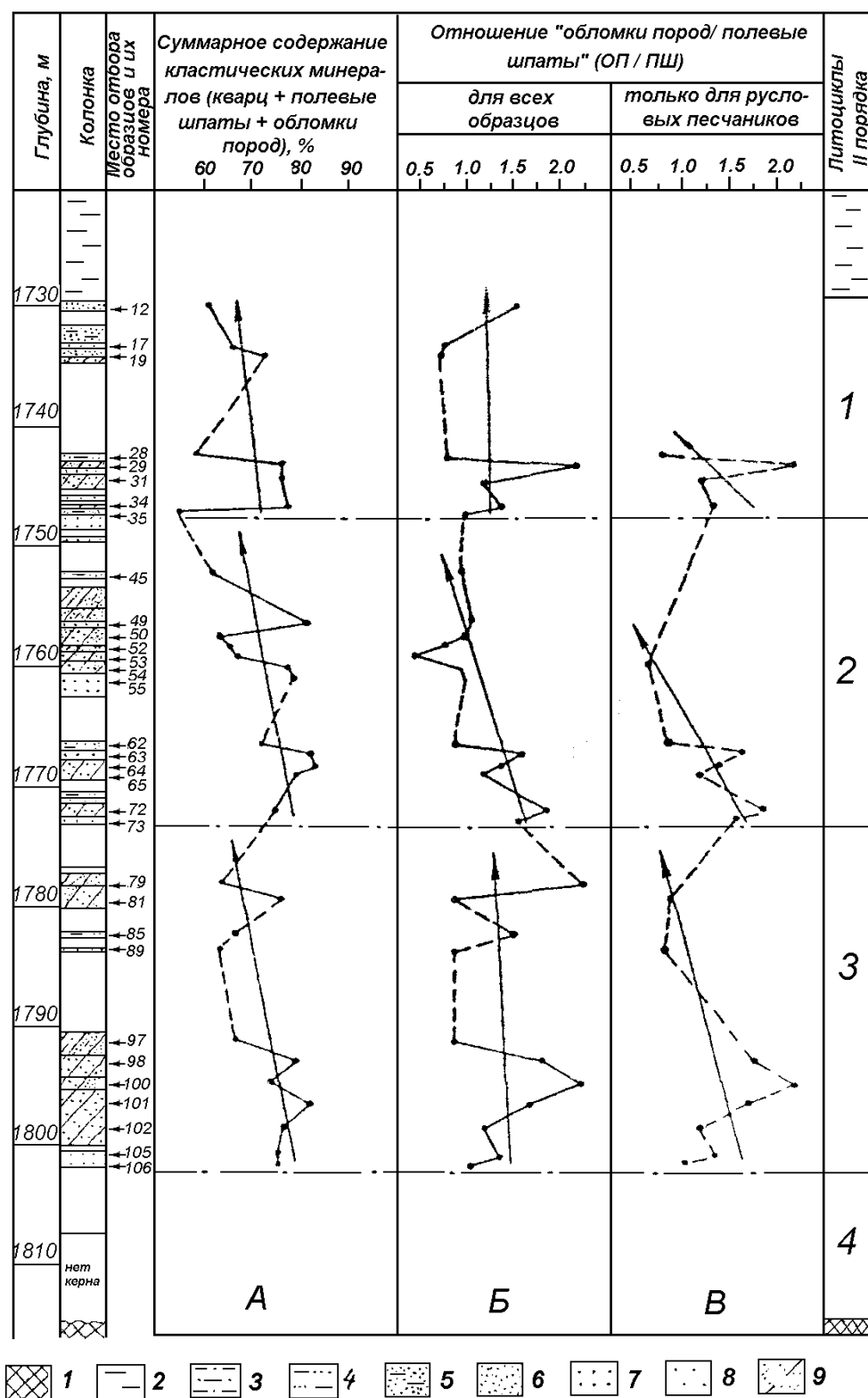


Рис. 6.11. Песчаники в разрезе тюменской свиты по скв. 10320 Тальникового ме-
сторожения (колонка скважины приведена на рис. 3.7):

1 – подстилающие породы фундамента; 2 – перекрывающие отложения абалакской сви-
ты; гранулометрический состав на колонке (см. табл.): 3 – мелко- и 4 – крупнозернистые алев-
ролиты; 5 – тонко-, 6 – мелко-, 7 – средне- и 8 – крупнозернистые песчаники; 9 – пере-
слаивание разных гранулометрических типов слоями менее 0,4 м

Пояснения к графикам А, Б, В даны в тексте

Первое, что можно отметить, - это снижение количества главных терригенных минералов и соответственно возрастание количества цемента вверх по разрезу (см. рис. 6.11, график А). В этом же направлении уменьшается общее количество гидрослюд и ее доля в составе цемента. Наблюдается и снижение в этом же направлении соотношения ОП/ПШ (см. рис. 6.11, график Б). Однако значительно более интересную информацию дают изменения показателей по литоциклам II порядка, границы которых показаны в правой части рис. 6.11. В уменьшениях обоих указанных показателей фиксируется четкая направленность, обозначенная усредняющими стрелками (для статистической характеристики этих явлений приводимых сведений недостаточно). Еще более яркую картину наличия таких закономерностей дает график В на рис. 6.11. Здесь вынесены сведения по отношению ОП/ПШ только для *русловых* отложений. Поскольку для обычных асимметричных литоциклов аллювиальной природы ослабление активных текущих вод в их верхней части является аксиоматичным, то такой характер графика решает «обратную задачу», подтверждая правильность установленной цикличности.

Пример 3. Верификация формационной модели

Для многих изученных угленосных толщ раннемезозойской эпохи торфо(угле)накопления нами разработана концептуальная сводная прогнозная модель строения раннемезозойской угленосной формации (УФ) (рис. 6.12). В наиболее полном виде она состоит из трех частей, соответствующих трем подформациям – инициальной (1), пролювиально-озерной, практически безугольной; основной (2 + 3), с четко выраженной базальной частью, направленно изменяющейся, полифациальной угленосной (как правило, сложной) и финальной (4), от пролювиально-аллювиальной до пестроцветной, обычно безугольной. Для нас важна регрессионная (предсказывающая) роль предложенной модели, что проверено практически на всех внутриконтинентальных раннемезозойских УФ России и Северного Казахстана.

Рис. 6.12. Модель строения раннемезозойской угленосной формации:¹⁴²

1 – конгломераты и гравелиты; 2 – песчаники; 3 – алевролиты и аргиллиты; 4 – пестроокрашенные породы; 5 – внутриформационные перерывы и несогласия. Справа: 1-4 – подформации



¹⁴² Внутриконтинентальные раннемезозойские угленосные формации азиатской части СССР: Препринт. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 70 с.

Хорошая возможность проверить правильность предложенной модели представлена при изучении отложений тюменской свиты среднеюрского возраста в пределах Шаимского нефтегазоносного района Западно-Сибирского осадочного мегабассейна.

В результате изучения 2 тыс. м керн по 25 скважинам, пробуренным на всей территории района, установлены состав отложений и закономерности в их строении (цикличность). Частично эти сведения приведены в 3-м и 4-м этюдах. Всего в разрезе свиты весьма уверенно выделены четыре литоцикла II порядка, которые пронумерованы (сверху вниз) арабскими цифрами – от ЛЦ-1 до ЛЦ-4. Их краткая характеристика сводится к следующему.

ЛЦ-1 имеет мощность по изученным скважинам от 18 до 33 м, сложен преимущественно мелководно-бассейновыми отложениями. В основном имеет отчетливо-трансгрессивную природу. В верхней своей части включает коллектор Ю₂, в нижней – Ю₃.

ЛЦ-2 при значительно меняющейся мощности, от 18-22 до 35 м, существенно различен и по фациальному составу, т. е. имеет специфический переходный облик. Регрессивный, или нейтральный, включает очень «растянутый» по разрезу коллектор Ю₄.

ЛЦ-3 варьирует по мощности от 25 до 45 м, представлен преимущественно озерно-аллювиальными отложениями, в отдельных скважинах замещающихся заливовыми, и отчасти – мелководно-бассейновыми. Нейтральный, или трансгрессивный. Включает коллекторы Ю₅ (верхняя или средняя часть литоцикла) и Ю₆, четко приуроченный к его нижней части.

ЛЦ-4, полностью вскрытый на Ловинском месторождении, имеет мощность 35-38 м и сложен озерно-болотными, аллювиальными и заливовыми отложениями. В остальных скважинах, где породы подстилающего фундамента вскрыты с отбором керн, он сложен пролювиально-озерными осадками мощностью 5-15 м. Характер этого ЛЦ отчетливо трансгрессивный, он включает коллекторы Ю₇ и Ю₈.

Каждый из ЛЦ-II состоит из трех (редко двух или четырех) ЛЦ-I, что характерно для подавляющего большинства изученных нами терригенных угленосных толщ. Фациально-циклическая основа позволяет с высокой достоверностью коррелировать горизонты песчаных пород – коллекторы, что является главной задачей нефтегазоразведочных работ (см. 4-й этюд).

На рис. 6.13 приведена генерализованная модель строения и истории формирования тюменской свиты.

Сравнение полученных сведений с моделью строения раннемезозойской угленосной формации (см. рис. 6.12) позволило даже по небольшому исходному материалу судить о *достаточном* совпадении главных вещественно-структурных позиций, характеризующих предложенную модель. К ним относятся следующие.

Инициальная часть УФ выделяется нами в связи с тем, что, как указано выше, в основании собственно терригенной толщи находились многочисленные впадины, заполненные *перед* вовлечением в процессе осадконакопления всей территории разнотерригенными осадками озерно-пролювиального генезиса. *Первый* этап формирования отложений тюменской свиты (литоцикл 4) реализовывался в пределах отдельных блоков на севере и северо-востоке Шаимского НГР (тип Л на рис. 6.13). В качестве

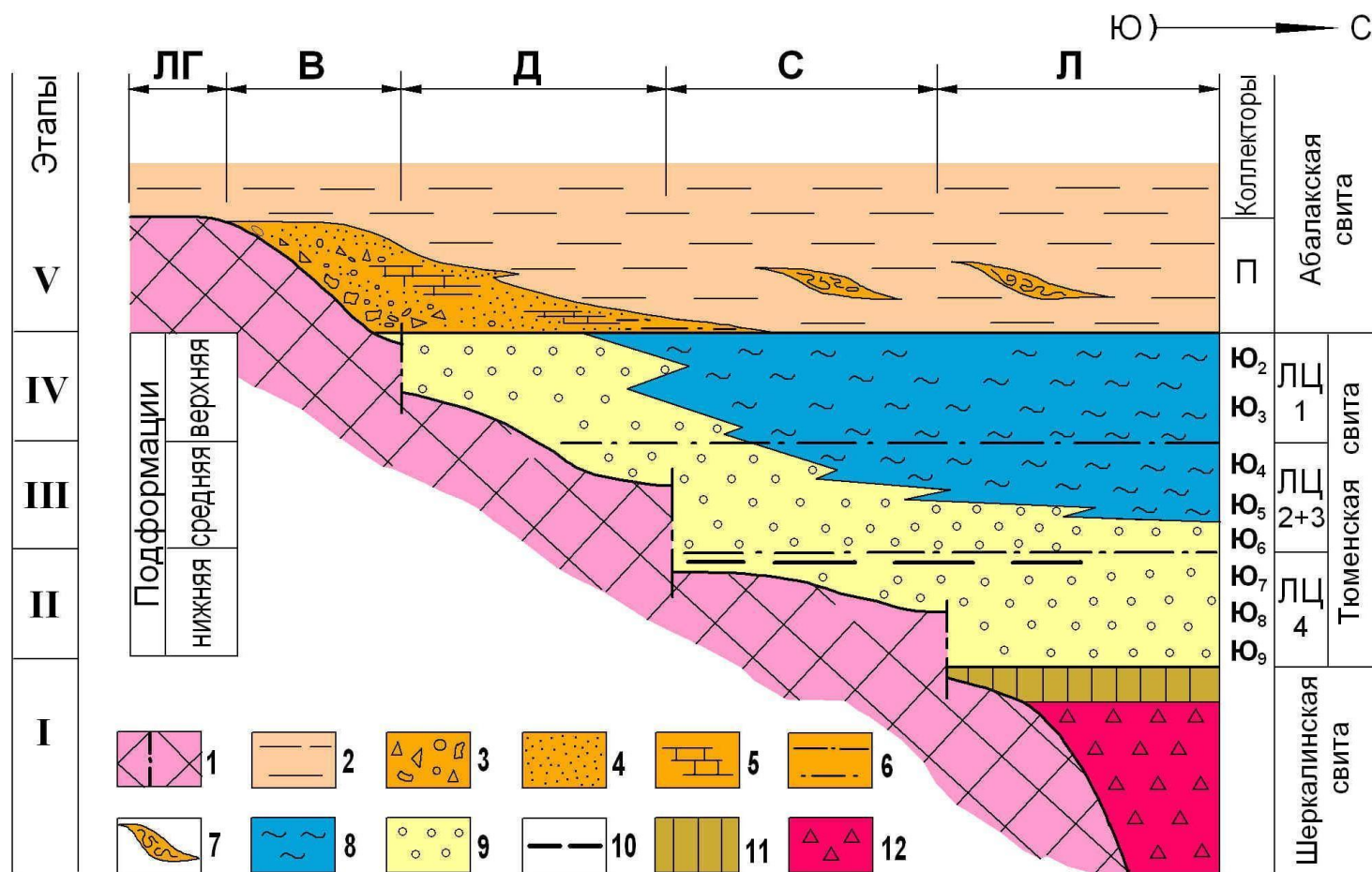


Рис. 6.13. Генерализованная модель геологического развития Шаимского НГР в раннемезозойскую эпоху:

1 – доюрский фундамент, расчлененный на отдельные блоки; 2 – перекрывающие нижнеплитный этаж морские, келловей-верхнеюрские отложения; 3-7 – породы вогулжинской толщи: 3 – гравелиты, конгломераты, 4 – песчаники, 5 – известняки, 6 – алевриты, 7 – дистальные выносы (оползни, оплывины); 8-10 – отложения тюменской свиты (формации): 8 – мелководно-бассейновые, 9 – континентальные, 10 – озерно-болотные (угли); 11 – радомская пачка; 12 – отложения собственно шеркалинской свиты.

Вверху – буквенные обозначения типов разрезов (описанные в тексте): ЛГ – «лысых гор», В – вогулжинский, Д – даниловский, С – сыморяхский, Л – ловинский

инициальной части тюменской формации здесь можно рассматривать радомскую пачку глинистых пород, венчающую разрез шеркалинской свиты (см. рис. 6.13).

Основная часть УФ для тюменской свиты характеризуется небольшими разностями в превышениях рельефа, что, в частности, выражено в наборе фаций и соответственно скоростей прогибания и опускания, сопровождающихся вначале накоплением терригенных, наиболее «скоростных» осадков – в основном поточкового механизма, а затем, при выравнивании рельефа, контролировавшихся прибрежно-мелководным механизмом седиментации. Для сводной модели (см. рис. 6.12) чаще всего данная часть выражена двумя горизонтами, или подформациями. Все перечисленное в полной мере характерно для тюменской свиты: уже в единичных изученных нами полных ее разрезах отчетливо фиксируется двучленное строение. При этом для нижней части толщи присущ именно аллювиально-озерный, а для верхней – прибрежно-бассейновый палеоландшафты осадконакопления. Строение тюменской свиты характеризуется многопорядковой цикличностью. При этом средние мощности литоциклов (ЛЦ) первых трех порядков соответствуют таковым, установленным для иных раннемезозойских толщ (5-17; 25-40; около 100 м; см. табл. 3.5). Наблюдающиеся в ряде случаев сокращения мощности, как отдельных ЛЦ, так и тюменской свиты в целом, объясняются не изменением скоростей осадконакопления (она была стабильной), а большим количеством и (или) большей длительностью межслоевых перерывов (диастем).

Во время *второго* этапа осадконакопление захватило обширную территорию на севере Шаимского НГР (литоцикл 3, тип С на рис. 6.12). Вовлечение в процесс аккумуляции происходило в режиме *ингрессии*, т. е. при наступлении приемных водоемов на сушу с равнинным низменным рельефом, без угловых несогласий. Именно этим объясняется и слабая выраженность базального горизонта, характерного для многих УФ (см. рис. 6.12). Особо отметим, что вовлечение большей части территории в фазу аккумуляции имело место при предварительном заполнении ранее подготовленных «ванн». Они и фиксируются инициальной частью УФ озерно-пролювиального состава, соответствующей верхней части предыдущего этапа осадконакопления (см. рис. 6.13).

Принципиально тот же механизм присущ и *третьему* этапу (литоциклы 1 и 2; тип Д на рис. 6.13). При этом для всего разреза тюменской свиты (формации) наблюдается смена палеоландшафтов, с продвижением бассейновых условий с северо-востока на юго-запад. Такая смена палеоландшафтов и обеспечивает фациальную двучленность строения тюменской формации, описанную нами выше.

Принципиально важно, что для всех этапов формирования основной части тюменской свиты (II –IV на рис. 6.13), при своем «продвижении» с северо-востока на юго-запад, она *сохраняет* свое типичное строение, что отчетливо выражается в повсеместном развитии инициальной части (как бы нажатие своего рода «спускового крючка» перед собственно «выстрелом», характеризующим основную седиментацию).

Наконец, *финальная* часть УФ нами ранее фиксировалась в двух вариантах: а) переход в пестро(красно)цветные отложения и б) формирование терригенных отложений новой формации, характеризующейся иными свойствами и практически безугольной (см. рис. 6.12). Именно второй вариант четко проявлен для За-

падной Сибири, в условиях обширной верхнеюрской трансгрессии (абалакская и даниловская свиты в Шаимском районе).

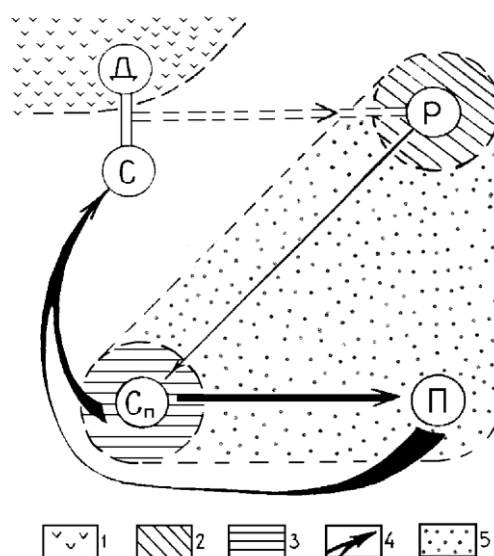
Перечисленным дается хорошая проверка (положительная верификация) модели строения раннемезозойской УФ, поскольку, как видно из перечисленного, она «работает» для разноудаленных блоков, на весьма обширной территории.

Дополненная зет-система: выход на эквифинальность

Рассмотрением некоторых моделей в плане их верификации мы, по сути, завершили общий показ сущности методики фациально-циклического анализа, которая в общем плане приведена в 3-м этюде. Это позволяет также *дополнить* зет-систему, что изображено на рис. 6.14.

Рис. 6.14. Дополнения к зет-системе Ю.А. Косыгина (см. рис. 6.1) по изложенным материалам:

1 – «снятие» или сведение к минимуму эволюции геологических процессов во времени посредством *сравнительного анализа одно-возрастных объектов*; 2 – проведение генетических реконструкций посредством высоко-разрешающей методики *литолого-фациального анализа*; 3 – использование принципов и наличия *конвергентности*, как необходимой основы для построения прогнозных моделей; 4 – *верификация* моделей, с их выводом на новый уровень познания (следующий виток спирали, или в нашем случае – зет-системы); 5 – «поле» влияния *эквифинальности*



Учитывая, что зет-система предусматривает, по определению, рассмотрение геологических тел одного уровня организации, встает вопрос о причине, приводящей к конвергентности признаков, что, в свою очередь, и служит основой для создания системных моделей. Ответ на данный вопрос, по нашему мнению, кроется в наличии и проявлении *эквифинальности* геологических процессов. Принцип эквифинальности (лат. *aequus* – равный), выдвинутый при изучении открытых биологических систем Л. фон Бергаланфи (Bertalanffy, 1962), означает способность достигать конечного состояния независимо от нарушений начальных условий системы или же при различных начальных условиях (что в общем-то не одно и то же). Как видно, подобное развитие системы противопоставлено широко-му проявлению бифуркации и, по всей вероятности, может иметь место в том случае, когда целое определяет (детерминирует) поведение своих частей.

В настоящее время причины проявления эквифинальности не установлены: не ясно, какие именно параметры обуславливают это свойство, чем оно обеспечено и пр. В то же время, его широкое проявление в геологических телах и процессах находит подтверждение в разработке идей о самоорганизации, автомодельности и пр. (см. 3-ю интерлюдия). Наиболее близко к решению многих вопросов, встающих при изучении достигающих одинакового уровня состояния

систем (тел), стоит биология. Г. Е. Михайловский так отвечает на главный вопрос о причинах, приводящих к эквифинальности: она, будучи «...противоположной как бифуркации, так и переходу к термодинамическому равновесию (поскольку финальное состояние не только не равновесно, но, как правило, значительно дальше от равновесия, чем любое из исходных), может быть обеспечена лишь в том случае, когда *целое детерминирует поведение своих частей*»¹⁴³ (курсив наш. – В. А.). Для еще более полного понимания сущности процесса приведем развернутую цитату из работы¹⁴⁴: «Несмотря на то, что в теории систем большое внимание уделяется динамике перехода из одного состояния системы в другое, обсуждается проблема эквифинальности, механизм организации процесса, условия его возникновения не обсуждаются... Для исследования механизма процессобразования мы привлекли понятие алгоритма. *Алгоритм*, в широком смысле слова, рассматривается как последовательность детерминированных гетерогенных процедур... Применение теории алгоритмов позволило нам дополнить системные представления и выделить роль активатора в биосистеме. Блок является носителем гетерогенной процедуры, элементом системного процесса. *Активатор*, под действием которого устанавливаются специализированные взаимодействия, является алгоритмирующим фактором, организатором системного процесса. Возникновение алгоритма обеспечивает и поддерживает готовность организации к восприятию сигнала, который «запускает» последовательность блоков-процедур. Возникает процесс, заканчивающийся результатом, не присущим ни одному из участвующих в его образовании блоков. Это системный результат, складывающийся на основе предыдущего функционирования, системного активатора, входного сигнала и работы блоков». Возвращаясь к предыдущему разделу, еще раз сошлемся на работу Ф. А. Летникова. «Важное значение для понимания путей эволюции *нелинейных* систем имеет определение критериев устойчивости, ибо даже небольшое изменение одного из параметров может привести к бифуркации и переходу системы в совершенно иное качественное состояние. Устойчивость любой природной системы определяется ее реакцией на внешние, в том числе и волновые, воздействия. Волны возбуждения, возникающие во внешней среде вокруг любой диссипативной системы, могут материализоваться в конкретную автоколебательную структуру» (¹²⁹, с. 216-217; курсив везде наш. – В. А.).

Для рассматриваемых толщ довольно очевидно напрашивается мысль о том, что роль активатора *s. stricto* играл *тектонический режим* областей осадконакопления, но не предшествующий, а сингенетичный формированию структур. Тогда характеристика областей юрского угленакпления в пределах блочных участков земной коры (фракталов) удивительно удачно укладывается в систему понятий орогенеза и дейтероорогенеза (по К. В. Боголепову¹⁴⁵ и др.). «Запуск» системы в действие осуществляется накоплением инициальной части формации, а ее алгоритм функционирования предложен в виде модели, изображенной на

¹⁴³ Михайловский Г. Е. Биологическое время, его организация, иерархия и представление с помощью комплексных величин // Конструкция времени в естествознании: на пути к пониманию феномена времени. М.: Изд-во МГУ, 1996. С.112-134.

¹⁴⁴ Веселаго И. А., Левина М. З. К вопросу о соотношении структуры и функции в биосистеме // Электронный журнал «Исследовано в России»: 014/000207. С. 199-208.

¹⁴⁵ Боголепов К. В. Типы структурных элементов и эволюция земной коры. Новосибирск: Наука, 1985. 296 с. (Тр. ИГиГ СО АН. Вып. 605).

рис. 6.12. Как видно, модель «работает» в автономном режиме, что и проверено на материале тюменской свиты. Таким образом, разноплановая проверка предлагаемых моделей позволяет судить о том, что ни они, ни обеспечивающее их явление эквивифинальности не являются артефактами. Более того, эквивифинальность на определенных уровнях организации можно рассматривать в роли «приводного ремня», выводящего зет-систему в целом на исходные квазистатические системы (известные либо новые геологические тела), но уже на более высоком уровне их организации (см. рис. 6.14). Достижением эквивифинальности, тем самым, закладываются необходимые условия для перехода системы на новый уровень (например: слой→элементарный литоцикл→литоциклы более высоких порядков).

Есть ли дизайнер?

Исходя из представлений, изложенных в 3-й интерлюдии, а также изображенных в зет-системе, в процессе самоорганизации система через некоторый аттрактор должна бы остановиться в своем развитии. Достигнув автономного саморегулирования, она, говоря образно, призвана «умереть» в единичном отрезке времени. Однако *стрела времени* принуждает ее не только к бифуркации, но и к эволюционированию, что ярко проявляется как в живой, так и в неживой природе. Что же представляется здесь в роли активатора *s. lato*? Получается, что без некоего «...управляющего начала оказывается невозможным объяснить, какая сила заставляет достигшие аттрактора системы выходить из своей спячки для поиска новых аттракторов. Почему не происходит просто переход ко всеобщему более или менее сгармонизированному неактивному благополучию?»¹⁴⁶ Как будто бы имеется некоторая пока (?) неизвестная общая цель, единый механизм развития, существующий вне (над) самоорганизации и определяющий общую «стрелу» эволюции (не дезорганизации).

В этом плане интересны взгляды А. В. Позднякова, выделившего четыре разновидности «хаос-порядков»¹⁴⁷. Попробуем применить их в наших рассуждениях.

1. Вне рассмотрения находится «абсолютный хаос-порядок» (абстрактное состояние), относящийся к некоему вакууму.

2. *Динамический* хаос-порядок соответствует пониманию динамических систем (см. 1-ю интерлудию) и пониманию *стохастических* (вероятностных) процессов. Процессы происходят в условиях избытка вещества и энергии и приводят к постоянной деструкции различно упорядочивающихся систем.

3. *Термодинамический* хаос-порядок характеризуется детерминированностью процессов в условиях упорядоченного движения вещества и энергии. Именно для него свойственны аттракторы и появление статических (точнее – квазистатических) систем.

¹⁴⁶ Арманд А. Д. Самоорганизация и геосистемы // Самоорганизация и геосистемы. Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2003. С. 24-30.

¹⁴⁷ Поздняков А. В. К теории спонтанной самоорганизации сложных структур // Самоорганизация и геосистемы. Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2003. С. 30-43.

4. Попытка познания *общих* сил, определяющих вектор или стрелу самоорганизации (а в геологии – ретроспекция систем: см. рис. 6.1), опять-таки выводит на некоторый *центральный* хаос-порядок, или *центральный порядок* В. Гейзенберга¹⁴⁸. По А. В. Позднякову¹⁴⁷, «центральный порядок – это результат взаимообусловливаемого действия всеобщих законов развития материи. Неаддитивная сумма их направленных действий (потому они и законы) создает центральный целесообразно развивающийся порядок. Законы движения материи – суть свойства Бога, не имеющего своего лица».

Предтечей такого подхода, в контексте поиска объяснений происхождения и эволюции жизни, явился английский просветитель Уильям Палей (William Paley, 1743-1805). Будучи предшественником Ч. Дарвина, он выдвинул и развивал представление о том, что все живое есть результат творения (creation), выполненного по замыслу (design) *дизайнера* (здесь и далее цитаты по работе Э. М. Галимова¹⁴⁹). С тех пор существует направление, называемое «креационизмом» и концепция «дизайнера». У. Палей применил популярное с тех пор сравнение живого организма с часовым механизмом и творца с часовщиком (watchmaker). Он писал: «...когда мы рассматриваем часы, мы осознаем, что их части целесообразно подобраны, они сделаны и отрегулированы таким образом, чтобы производить необходимое движение, ...и что если изменить форму отдельных частей или их положение, механизм перестанет действовать. Неизбежный вывод состоит в том, что часы (watch) должны были иметь своего изготовителя (maker), сделавшего их для цели, которой они действительно отвечают, кто осознавал их конструкцию и спроектировал (designed) их использование» (¹⁴⁹, с. 18-19).

Жирное многоточие к затронутому вопросу, безусловно выходящему за рамки предлагаемой работы, можно поставить цитатой из работы основателя синергетики Г. Хакена: «Поскольку все в конечном счете состоит из материи, а законы самоорганизации ... не только не противоречат законам физики, но и гармонично сочетаются с ними, наиболее актуальным становится принципиальный вопрос о необходимости участия во всем этом некоего Создателя. Здесь каждый из нас оказывается на перепутье: решение относительно веры в существование такого Создателя зависит только от нашего собственного выбора».¹⁵⁰

¹⁴⁸ Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое/ Пер. с нем. М.: Наука, 1989. 400 с.

¹⁴⁹ Галимов Э. М. Феномен жизни: между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции. М.: Едиториал УРСС, 2001. 256 с.

¹⁵⁰ Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии. Москва-Ижевск: Ин-т компьютерных ис-ний, 2003. 320 с.

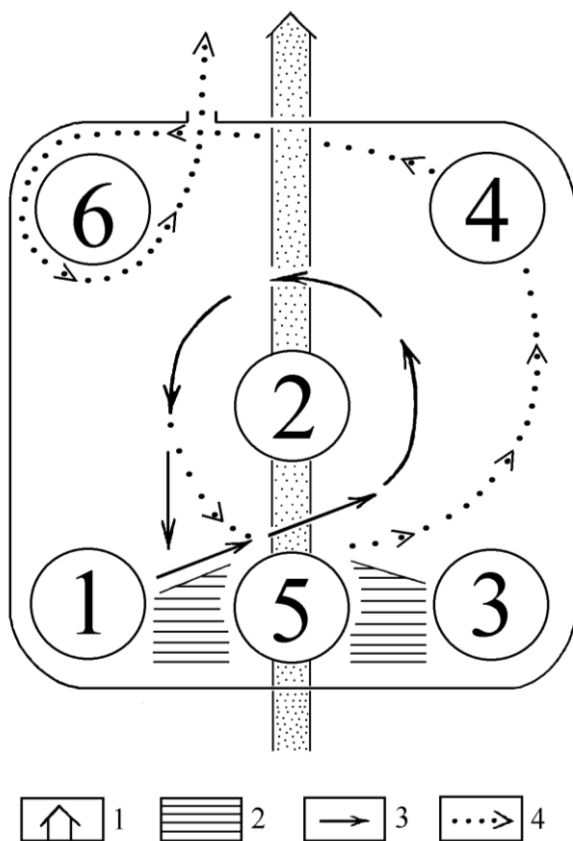
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ФИНАЛ): НА ПУТИ К НЕЛИНЕЙНОЙ СЕДИМЕНТОЛОГИИ

Как и было анонсировано во введении (прелюдии), каждый из представленных этюдов охватил достаточно значительный раздел литологии, что особенно прослеживается в предваряющих их интерлюдиях (общим числом 18). В итоге читателю (как взыскующему, так и начинающему) представлены:

- пример детального седиментологического описания отдельно взятого образца, с характеристикой его жизненного пути и генеалогического древа;
- заключение о соответствии скоростей древнего и современного осадконакопления и огромной значимости перерывов, конденсировавших основное геологическое время;
- методология установления закономерностей в строении терригенных толщ (цикличности), продолжающая и развивающая основы фациально-циклического анализа, разработанного Ю. А. Жемчужниковым, Л. Н. Ботвинкиной и др.;
- комплексный подход к оценке факторов, контролирующих стратоседиментогенез, из которых особенно важным является скольжение слоев, что определяет положение и корреляцию коллекторов в терригенных нефтегазоносных толщах;
- суждение о необходимости и значимости генетических исследований, пренебрежение к которым приводит к созданию артефактов либо неверным выводам и построениям;
- рассмотрение общего круга затронутых вопросов в рамках системного анализа, с позиций нелинейности реализации процессов осадконакопления, в условиях достижения эквифинальных состояний.

Мы не отказываемся от высказанного во введении изначального положения, заключающегося в существенной самостоятельности каждого из этюдов. В то же время, все они объединены неким лейтмотивом, что при их прочтении можно заключить уже из многочисленных «перекрестных» ссылок. Нестрогое изображение взаимосвязей между этюдами, в рамках этого лейтмотива, показано на рисунке.

Как следует из рисунка, представленное соотношение по своей сути весьма напоминает дополненную зет-систему Ю. А. Косыгина (см. рис. 6.14). Это в первую очередь связано с тем, что процессы осадконакопления «по определению» характеризуются высокой самоорганизацией, что во многом обусловлено эффектом *памяти*. При этом все кратко рассмотренные в рамках нелинейных процессов понятия легко находят свое место при анализе взаимоотношений между реализуемыми в осадочных толщах геологическими телами – слоями, комплексами слоев (литоциклами) – формациями. Действительно, формирование конкретных литоциклов можно рассматривать с позиции аттракторов, а их порядковость (вложение) соотносить с фракталами. Наличие внутри- и межслоевых перерывов (диаستم) легко увязывается с проявлением бифуркации, приводящим к закреплению слоев в геологическом пространстве. Скольжение литологически однородных слоев вполне возможно соотнести с режимом странного аттрактора etc.



Взаимосвязи между этюдами (номера – цифры в кружках):

1 – «стрела времени»; 2 – «поле» генетических исследований (фациально-циклический анализ); 3 – последовательность изучения отложений на различных (близких) уровнях организации геологических тел внутри одной системы; 4 – «выход» на изучение новой системы осадконакопления или более высокий уровень организации

Тем самым, полное осмысление геологических объектов, изучаемых литологией, наиболее удачно вписывается в общее учение о нелинейности в соотношении природных явлений и порождающих их процессов. С уверенностью можно говорить о необходимости создания основ нелинейной литологии, точнее – **нелинейной седиментологии**. Вполне вероятно, что это – дело ближайшего будущего.

Завершим же работу цитатой, которая, на наш взгляд, как нельзя лучше подчеркивает ведущую роль *самоорганизации* в процессах осадконакопления: «Все реки текут в море, но море не переполняется; к тому месту, откуда реки текут, они возвращаются, чтобы опять течь» (Екклесиаст, I : 7).

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- А**
Автомодельность 120, 121, 137
Активатор 138, 139
Актуализм 95, 115, 117
Алгоритм 138
Анализ (метод) литолого-фациальный 47, 48, 84, 103, 126, 137
– системно-литмологический 107
– системно-структурный 107, 110
– системный 46, 116, 121, 141
– сравнительно-литологический 94, 95
– текстурный 8
– фациально-циклический 47, 82, 94, 97, 103, 137, 141, 142
– фациальный 47, 49, 94, 96, 103, 107, 116
– формационный 47, 100, 103
Артефакт 25, 104, 107, 139, 141
Аттрактор 120, 121, 139, 141
- Барьерная зона** 85
Бассейн осадконакопления 36, 51
Бифуркация 120, 121, 137-139, 141
Бритва Оккама (принцип) 118
Бубнов (скорость) 25, 32, 34, 36, 43
- Верификация** 49, 97, 113, 123, 129, 131, 133, 137
Вероятности переходов 59, 63, 65
Взмучивание 13, 15, 18, 20, 24, 37, 38, 66-68
Водоворотная ямка, в. котел 13, 14
Водоемы приемные 28, 64, 89
Время геологическое 25, 26
– конденсированное 36, 42, 43
– осадконакопления 29
- Геофизические исследования скважин**
(ГИС) 56, 71, 74, 104, 106, 110, 113
Гиатусы 29, 43
Гидродинамика 7, 11, 58
Граница между песчаниками и алевролитами 5, 6
Границы литоциклов, циклитов 55, 84, 85, 87, 88, 112, 113, 132
– слоевых единиц 33, 80, 81
Гранулометрическая кривая 56, 84
Гранулометрический тип 6, 53, 93, 104, 132
Гранулоседиментогенез 8, 29, 32, 36, 81, 92
Группа серий (слойков) 8, 9, 11, 17, 30, 81
- Дефицит фракций** 5, 81
Диастемы 28, 35, 40, 42, 81, 92, 136
– внутрислоевые 36-39
– межслоевые 36-38
- Диахронность 10, 77, 84, 85, 92, 113
Дизайнер 139, 140
Дискуссия литологическая 94, 95
Дифференциация частиц 5
– осадочная 94
- Зет-система (Z-система)** 116, 117, 137, 139, 141
Зубцы 80, 88, 93, 114
Зубчатость 80, 81, 88, 89, 92, 93
- Изохронность** 77, 78, 87
Инверсия (циклитов) 84-89, 93, 113
Ингрессия 113, 136
Индекс ряби 13, 15-17, 20, 21, 66
Интерлюдия 3
- Классификация** (шкала, сводная характеристика)
– геологических тел 46
– литоциклов раннемезозойских УФ 69
– режимов циклогенеза 77
– слоевых единиц 9
– терригенных пород 5
Кластерная диаграмма 126, 127
Клиноформа 78, 79, 92
Коллектор 56, 59, 63, 83, 84, 87-89, 91, 93, 104, 106, 134, 141
Колонка скважины 56, 60-62, 72, 88, 89, 132
Комплекс слоев 8, 36, 53
Конвергентность 101, 123, 137
Контакт 10, 43
– аккумулятивный 15, 21, 39, 40
– стратиграфический 40
– эрозионный 16, 18, 19, 34, 38, 39, 41, 81, 84, 112
Корреляция 48, 73, 74, 82-84, 87, 93, 112, 141
- Лавинная седиментация** 25, 26, 35, 101
Ландшафт 7, 25, 64-68, 112
Литогеодинамика 101, 102
Литологический тип 6, 93, 104
Литоритм 46, 53, 54, 63
Литоцикл (ЛЦ) 36, 46, 48, 52-55, 59, 64, 65, 69, 72-74, 83-89, 92, 93, 97, 112, 113, 133, 134, 136, 141
- Макрофация** 50, 51, 59, 63, 64, 66-68, 129, 130
Манифест циклической науки 44, 45, 75
Марковские процессы 59, 120
Матрикс 3, 21, 39, 42

- Матрица корреляционная 127
- переходов 59
 - факторных нагрузок 7, 125, 127
- Моделирование 27, 59, 117-119, 123
- Модель, модели 29, 30, 32, 48, 54, 74, 83, 105, 106, 116-118, 123, 139
- взаимоотношения уровней организации 92
 - выделения комплексов пород 112
 - геологического развития Шаимского НГР 135
 - изменений в составе ЛЦ 84, 88
 - инверсии циклитов 86
 - линейного накопления массы осадков 27
 - литоритмов 63
 - литоциклов I порядка 65-68
 - регрессивных частей литоциклов 64
 - скольжения песчаных горизонтов 87
 - скольжения слоев 78
 - соотношения слоевых элементов 10
 - спонтанной стратификации 121
 - строения русловых песчаных тел 34
 - строения раннемезозойской УФ 133
 - трансгрессивных частей литоциклов 65
 - фациальная 123
 - электрометрические (фаций) 105-108, 118
- Модули геохимические 124, 125
- Направленность смены (изменения)**
- признаков 53, 86
 - типов пород 46, 85, 92, 93, 113
 - фаций 56, 93, 110, 112
- Нелинейная наука 121
- геодинамика 101, 121
 - седиментология 142
 - система 122, 138
- Орогенез** 138
- Палеоландшафт** 56, 110, 112, 113, 136
- Пачки (слоев) 9, 31
- Перерывы 17, 28, 29, 33, 35-43, 78, 81, 87, 92, 93, 133, 141
- Песчаный горизонт 83, 84, 87-89
- Петрофонд 126, 128, 129
- Пласт 8, 10, 11, 46
- «Подбрасывание голов» 9, 17, 21, 81
- Подход генетический 47, 95, 96, 101, 109
- структурный 47, 56, 95, 101
- Полезное ископаемое 82, 83
- Порядок литоциклов 69, 72, 73
- Признаки диагностические 52
- индикативные 6
 - конститутивные 6
 - пород 7
- Процессы автоциклические 33-35, 69
- аллоциклические 33, 35, 69
- Размыв** 16, 32, 33, 35-38, 42, 54, 87
- Разрез геологический 72, 93, 122
- Регрессия, регрессивный ряд 53, 54, 56, 58, 59, 64, 78, 82, 83, 110, 111
- Рециклинг 27
- Ритм, ритмичность 9, 30, 52, 63
- Ритмит 46, 53
- Рябь волнения (волновая) 13, 14, 16, 17, 20, 21, 38, 66
- лингоидная 68
 - течения 15, 16
- Самоорганизация** 101, 119, 120, 123, 137, 139, 140, 142
- Саморегулирование 120, 139
- Сейсмостратиграфия 106
- Сейсмофация 105-107
- Серийный шов 9, 16, 17, 20, 21, 37, 38, 66, 68
- Серия слоев 8-11, 17, 38, 81
- Сиквенс-стратиграфия 76, 77
- Синергетика 75, 119, 121, 140
- Система 116, 122, 139, 142
- диссипативная 120
 - параметров 18
 - признаков 7, 125
 - седиментации 33
- Скольжение коллекторов 85, 87, 89, 113, 123
- песчаных горизонтов 85, 87, 113
 - слоев 77, 78, 92, 141
- Скорость седиментации 25, 26, 29, 32, 34, 36, 43, 141
- Слоек 8, 9, 81
- Слообразование, слоенакопление 33, 43, 76
- Слоистость (режим) миграционная 10, 76, 78-81, 84, 88, 92
- мутационная 76, 81
- Слой 8-10, 72, 81
- конденсированный 42
- Сравнение, сравнительный анализ 19, 49, 103, 115, 118, 123, 134, 137
- Стратификация 8, 42, 86, 93
- Стратоседиментогенез 8, 32, 36, 81, 92, 141
- Стрела времени 11, 18, 139, 142
- Схема соотношения слоевых элементов 8
- Тип разреза демиссионный** 76
- сублационный 76
- Трансгрессия, трансгрессивный ряд 53-56, 58, 59, 64, 78, 82, 83, 110-112
- Трансляция коллекторов 88, 89, 93

Угленосная толща 29, 35, 45-47, 54, 69, 82,
104, 120, 133
Угленосная формация (УФ) 45, 133, 134, 136, 137
Угольный пласт 10, 45, 47-49, 55, 82, 83,
87, 104, 120
Уровни организации 35, 46, 47, 92, 100, 102,
117, 120, 123, 137, 139, 142

Факторный (многомерный) анализ 6, 125, 127
Факторы 7, 32, 35, 92, 93, 125, 126, 128, 129
Фантом 42, 43, 93
Фациальная кривая 56, 59, 60-62, 112
– палетка 56, 58
Фация 48-52, 66-68, 93, 97, 106, 111, 130,
Формация 46-49, 69, 72, 102, 103, 138
Фракталы 75, 120, 121, 138, 141

Хаос-порядок 139, 140

Цикл, цикличность 34, 44-48, 52-57, 73, 75, 76
82, 92, 94, 131, 134, 141
Циклит 46, 52, 54, 84-86, 107, 109, 111, 112, 114
Циклокорреляция 73
Циклоседиментогенез 8, 33, 36, 47, 54, 81, 92
Циклотема 52, 54, 55

Шкала размерности десятичная 5
– – логарифмическая 5, 7

Эволюция 100, 102, 103, 123, 137, 139
Эквифинальность 137-139, 141
Экстремумы 48, 83
Электрокаротаж 59, 105, 106
Элементарный литоцикл (ЭЛЦ) 34, 35, 59,
66-68, 81
Эмерджентное свойство 46, 92, 116, 117
Энтропия 119, 120
Этюд 3, 141, 142
Эффект памяти 59, 120, 141

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- А**дден У. (Udden) 5
 Арманд А. Д. 139
 Арнольд В. И. 120
 Афанасьев С. Л. 46, 52
- Б**аррелл Дж. (Barrell) 28, 35, 42, 43, 76, 79, 92
 Безруков П. Л. 95
 Бейзель А. Л. 85, 86, 88
 Белт Э. С. (Belt) 54, 55
 Берталанфи Л. фон (Bertalanffy) 116, 137
 Бирбауэр Дж. (Beerbower) 33
 Боголепов К. В. 138
 Боголюбова Л. И. 6, 47, 99
 Бонэм-Картер Г. (Bonham-Carter) 27, 59, 119
 Ботвинкина Л. Н. 7, 8, 10, 30, 44, 47, 49, 52, 53, 54, 56, 58, 82, 94, 102, 104, 110, 111, 141
 Бубнов С. фон (Bubnoff) 25
- В**альтер И. (Walter) 76, 77, 79, 98
 Ван А. В. 96, 102
 Вассоевич Н. Б. 8, 10, 76
 Верзилин Н. Н. 102
 Веселаго И. А. 138
 Вотах О. А. 46, 117
 Вылцан И. А. 36, 42, 77, 80, 93
- Г**айдебурова Е. А. 110
 Галимов Э. М. 140
 Гаррелс Р. (Garrels) 27, 103
 Гейзенберг В. (Heisenberg) 140
 Гилберт Г. К. (Gilbert) 79
 Гиллули Дж. (Gilluly) 25, 26, 30
 Гиммельфарб Б. М. 95
 Головкинский Н. А. 10, 76, 77, 78, 80, 92, 99, 113, 114
 Градзиньский Р. (Gradzinski) 8, 103
 Грессли А. (Gressly) 97, 99, 103
 Гречухин В. В. 104
- Д**акэ Е. (Dacque) 98
 Даль В. И. 94
 Данбар К. (Dunbar) 29
 Дарвин Ч. (Darvin) 28, 140
 Дафф П. (Duff) 57, 102
 Дюфур М. С. 97
- Е**жова А. В. 107, 108
 Екклесиаст 4, 142
 Ершов С. В. 79, 110
- Ж**емчужников Ю. А. 6, 9, 10, 17, 21, 29, 44, 47, 49, 56, 73, 75, 83, 93, 94, 99, 103, 109, 141
- З**алесский М. Д. 4, 5
 Запрометов В. Ю. 77, 102
- И**ванов Г. А. 55, 56, 83
 Иностранцев А. А. 76
- К**азаненков В. А. 79, 110
 Казанский Ю. П. 96, 102
 Кайё Л. (Cayeux) 98
 Карогодин Ю. Н. 47, 79, 85, 88, 102, 107, 109, 110, 111, 112
 Кауфмен М. (Kauffman) 118
 Кашик С. А. 96, 102
 Кедров Б. М. 95
 Кетрис М. П. 124
 Князева Е. Н. 121
 Колмогоров А. Н. 33, 43
 Конибир Ч. Э. Б. (Conybeare) 105, 106
 Конюхов А. И. 102
 Костецкая А. (Kostecka) 8
 Косыгин Ю. А. 116, 117, 137, 141
 Крамбейн У. (Krumbein) 5, 99, 118
 Крашенинников Г. Ф. 49
 Кузьменко Ю. М. 4
 Кукал Зд. (Kukal) 25, 26
 Кулямин Л. Н. 29
 Курдюмов С. П. 121
- Л**евина М. З. 138
 Леонов М. Г. 27
 Летников Ф. П. 119, 138
 Лидер М. (Leeder) 102
 Лисицын А. П. 25, 26, 101, 102
 Лутугин Л. И. 83
- М**акарова С. Д. 102
 Македонов А. В. 6, 65
 Мак-Кеммон Р. (McCammon) 118
 Маккензи Ф. (Mckenzie) 27, 103
 Мандельброт Б. (Mandelbrot) 75, 120
 Мейснер Л. Б. 25
 Месежников М. С. 28
 Михайловский Г. Е. 138
 Мовчан И. Б. 121
 Мур Р. К. (Moore) 57
 Муромцев В. С. 105, 106, 107, 109
 Муррэй Дж. (Murray) 98

- Найдин** Д. П. 43
Наймарк А. А. 122
Наливкин Д. В. 28, 99
Науманн С. (Naumann) 9
Нежданов А. А. 113, 114

Оккам У. (Ockham) 118

Павлов А. П. 99
Палей У. (Paley) 140
Пейтон Ч. (Payton) 106
Петров О. В. 121
Петтиджон Ф. Дж. (Pettijohn) 98, 99
Печинина Е. Б. 6
Поздняков А. В. 139, 140
Покровский М. П. 95
Попов В. И. 77, 79, 86, 102
Потапов О. А. 106
Пригожин И. Р. (Prigogine) 11, 119
Пустовалов Л. В. 94, 95, 98
Пушаровский Ю. М. 101

Радомский А. (Radomski) 8
Рединг Х. Г. (Reading) 29, 49, 79, 102
Рейнек Г.-Э. (Reineck) 29, 49, 102
Ренар А. (Renard) 98
Ритенберг М. И. 47
Роджерс Дж. (Rodgers) 29
Романовский С. И. 5, 8, 10, 25, 27, 29, 32, 33, 53, 54, 76, 77, 78, 80, 92, 97, 102, 117, 118
Ронов А. Б. 103
Рухин Л. Б. 99
Рыльков С. А. 79, 110

Садовский М. А. 120
Салоп Л. И. 25, 26
Сергеева Э. И. 102
Симаков К. В. 3
Сингх И. Б. (Singh) 29, 49, 102
Слосс Л. А. (Sloss) 99
Смирнов Л. С. 29
Соколов Б. С. 3
Соколов Ю. Н. 44
Соловьев В. В. 116
Стадников Г. Л. 4, 5
Стенгерс И. (Stengers) 119
Стенон Н. (Steno) 18
Степанов Д. Л. 28
Страхов Н. М. 94, 95, 98, 99, 100

Тараканов А. С. 120
Твенхофел У. (Twenhofel) 9, 98
Тен Т. Г. 107, 108
Тимофеев П. П. 28, 47, 48, 49, 52, 100, 101, 102, 103
Тимофеева З. В. 47
Туголесов Д. А. 25
Тынтеров И. А. 4

Уилсон Дж. (Wilson) 102
Унруг Р. (Unrug) 8
Уолтон Э. (Walton) 57, 102
Уэнтворт С. К. (Wentworth) 5

Феофилова А. П. 47, 49
Филиппов А. А. 102
Фишер А. (Fischer) 25
Фролов В. Т. 101, 102, 103, 115

Хабаков А. В. 21
Хакен Г. (Haken) 119, 140
Халлам А. (Hallam) 57, 102
Ханин А. А. 106
Харбух Дж. (Harbaugh) 27, 59, 119
Херасков Н. П. 103
Холодов В. Н. 25, 26, 28

Чемберлен Т. (Chamberlin) 30

Шанцер Е. В. 34, 35, 95
Шарапов И. П. 77
Шатский Н. С. 103
Шванов В. Н. 47, 53, 96, 102, 103, 130
Швецов М. С. 95, 98
Шилов Н. А. 3
Ширкин Г. Г. 4
Шлезингер А. Е. 106
Шрок Р. (Shrock) 13, 99
Шутов В. Д. 129, 130

Юдович Я. Э. 124

Яблоков В. С. 6, 29, 47, 49, 95, 99
Яковлева Н. 3
Япаскерт О. В. 103

СОДЕРЖАНИЕ

Введение (прелюдия)	3
<i>Этюд 1. ЖИЗНЬ ОБРАЗЦА ИЗ КОРКИНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА . . .</i>	4
<i>Интерлюдия 1. Классификация терригенных пород по размеру слагающих их частиц.</i>	5
<i>Интерлюдия 2. Типы пород</i>	6
<i>Интерлюдия 3. Слоевые единицы</i>	8
Жизнеописание образца	11
Этапы жизненного пути	18
Семья, родственники и соседи	20
<i>Этюд 2. СКОРОСТИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ВРЕМЯ ПЕРЕРЫВОВ</i>	25
<i>Интерлюдия 1. Различия в скоростях современного и древнего осадконакопления</i>	25
<i>Интерлюдия 2. Изменения скоростей осадконакопления в фанерозое.</i>	26
<i>Интерлюдия 3. Диастемы, гиатусы и их уровни</i>	28
Гранулоседиментогенез	29
Стратоседиментогенез	32
Циклоседиментогенез и проверка представлений.	33
Перерывы: конденсированное время	36
<i>Этюд 3. МЫСЛИТЬ ЦИКЛАМИ</i>	44
<i>Интерлюдия 1. Некоторые общие представления</i>	44
<i>Интерлюдия 2. Цикличность и уровни организации геологических объектов</i>	46
<i>Интерлюдия 3. Структурно-геометрический и генетический (фациальный) подходы к изучению цикличности.</i>	47
Фациальное расчленение отложений.	49
Литоциклы и их выделение на колонках скважин	52
Моделирование литоциклов	61
Общие закономерности в строении внутриконтинентальных нижнемезозойских терригенных толщ	69
Рекомендации по циклокорреляции	73
<i>Этюд 4. СКОЛЬЗЯЩИЕ КОЛЛЕКТОРЫ</i>	76
<i>Интерлюдия 1. Механизмы слоеобразования и режимы осадконакопления (общие представления).</i>	76
<i>Интерлюдия 2. Закон Головкинского</i>	77
<i>Интерлюдия 3. Зубчатость слоевых границ</i>	80
Место полезного ископаемого в литоцикле	82
Положение коллекторов в литоциклах	83
Скольжение коллекторов и инверсия «циклитов»	85

Этюд 5. ФАЦИАЛЬНО-ЦИКЛИЧЕСКАЯ БРЮЗГА	94
Интерлюдия 1. Осадочная дифференциация и сравнительно- исторический анализ (ретроспектива литологической дискуссии). . . .	94
Интерлюдия 2. Структурно-вещественное и генетическое направления в изучении осадочных толщ	95
Интерлюдия 3. Фациальный анализ как моделирование геологического прошлого	96
Отечественная литология во второй половине XX века	98
Электрометрические, сейсмические и иные «дистанцион- ные» фации: близость к артефакту	104
«Треугольникова» цикличность	107
Этюд 6. МОДЕЛЬНАЯ ЭКВИФИНАЛЬНОСТЬ	116
Интерлюдия 1. Системный анализ	116
Интерлюдия 2. Моделирование в геологии	117
Интерлюдия 3. Синергетика геологических систем и процессов	119
Модели объектов как отражение конвергентности их признаков и параметров	123
Дополненная зет-система: выход на эквифинальность	137
Есть ли дизайнер?	139
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ФИНАЛ): НА ПУТИ К НЕЛИНЕЙНОЙ СЕДИМЕНТО- ЛОГИИ.	141
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	143
ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ	146

Заявки на книгу отправлять по адресу:
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, УГГУ, каф. ЛГГИ
E-mail: igg.lggi @ usmga.ru

Научное издание

Валерий Порфирьевич АЛЕКСЕЕВ

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ЭТЮДЫ

Редактор Л. В. Устьянцева

Компьютерная верстка: Н. В. Устьянцева
Сканирование образцов: А. В. Алексеев
Каротажные диаграммы: Т. С. Мызникова

Подписано в печать 22.02.06 г.
Усл. печ. л. 18,75. Уч.-изд. л. 13,75.

Бумага писчая.

Формат 60 x 84 1/8

Заказ

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет

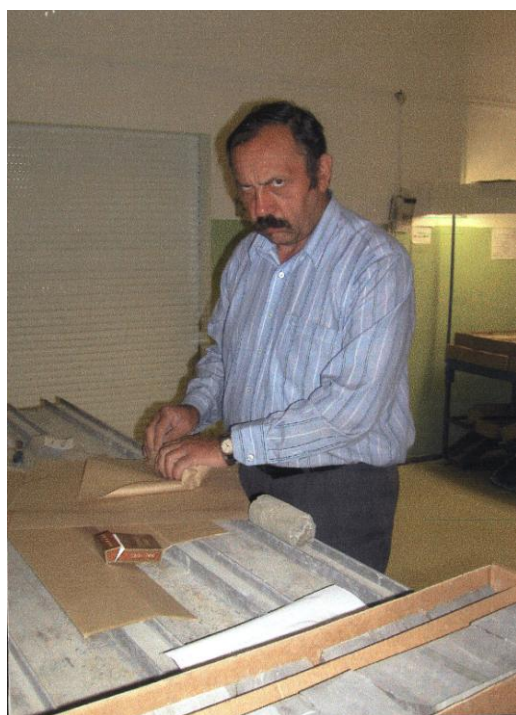
Размножено с готового оригинал-макета в типографии
ООО «ИРА УТК», 620219, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42

АЛЕКСЕЕВ
Валерий
Порфирьевич



Доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой литологии и геологии горючих ископаемых Уральского государственного горного университета.

Основные научные интересы: общие вопросы литологии, фациально-циклический анализ терригенных толщ. Особенно детально изучаются юрские отложения Урала, Северного Казахстана, Западной, Южной и Восточной Сибири, вмещающие горючие полезные ископаемые (нефть, газ, уголь).



Автор и соавтор 225 научных и учебно-методических работ, 15 из которых вышли отдельными изданиями. Руководитель секции литологии твердых горючих ископаемых Межведомственного литологического комитета. Ответственный редактор Межвузовского научного тематического сборника “Геология угольных месторождений”.

E-mail: igg.lggi@usmga.ru