В. П. Алексеев

НЕФТЕГАЗОВАЯ ЛИТОЛОГИЯ

Учебное пособие

Екатеринбург, 2019

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

В. П. Алексеев

НЕФТЕГАЗОВАЯ ЛИТОЛОГИЯ

Учебное пособие

Екатеринбург – 2019

УДК 552.5 : 553.98
А47

Алексеев В. П.
Нефтегазовая литология: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. 576 с.
ISBN 978-5-8019-0451-1

Пособие, состоящее из пяти частей, по сути представляет собой обширную презентацию из чертежей, схем и таблиц. В нем последовательно рассмотрены все аспекты, касающиеся изучения осадочных толщ, включающих горючие полезные ископаемые (прежде всего нефть и газ). Особое внимание уделено изучению генезиса отложений (фациальному составу) как в целом, так и для Западно-Сибирского осадочного мегабассейна.

Для студентов и аспирантов, обучающихся по специальностям нефтегазового профиля.

Табл. 146. Илл. 698. Библ. 480 назв.

Рецензенты:
• В. Г. Кузнецов, профессор каф. литологии Российского гос. университета нефти и газа им. И. М. Губкина, д. г.-м. н.
• А. В. Маслов, зав. лабораторией литологии Института геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН, д. г.-м. н., чл.-корр. РАН
• А. В. Ступакова, зав. каф. геологии и геохимии горючих ископаемых Московского гос. университета им. М. В. Ломоносова, проф., д. г.-м. н.

Печатается по решению Учебно-методического совета
Уральского государственного горного университета.

На лицевой и оборотной сторонах обложки: керн разведочных скважин, выложенный в коробки длиной 1 м.

УДК 552.5 : 553.98

© Уральский гос. горный ун-т, 2019

ISBN 978-5-8019-0451-1

© Алексеев В. П., 2019

Светлой памяти МУДРЫХ, чьи биографии приведены в книге, с которыми автор был и не был знаком.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Слова мудрых – как иглы и как вбитые гвозди, и составители их – от единого пастыря.

Екклесиаст 11.12

Ушедший в историю XX век дал множество примеров кардинального переосмысления, казалось бы, устоявшихся и непреложных представлений (это не говоря о появлении абсолютно новых реалий в виде атомных реакций, компьютерных технологий и проч., и проч.). Такими примерами, естественно, оказалась не обделена и геология, хотя в целом она осталась более привержена традиционалистским подходам, нежели многие другие отрасли знания. «Внутри» же геологии, пожалуй, едва ли не наибольший застой в развитии взглядов оказался присущ учению об осадочных породах (ОП). В этом заключен своеобразный парадокс, поскольку именно таковые наиболее доступны для изучения, покрывая 2/3 суши, а также, по мнению многих и многих геологов, являются наиболее простыми для изучения. Последний взгляд был (да во многом и остается) присущ именно советской/российской геологии, достаточно открыто отдававшей предпочтение различным «полигенным и полихронным» комплексам с их сложной природой, с трудом поддающихся однозначной расшифровке («сколько геологов – столько и мнений»).

Существенно по-иному в том же XX веке обстояли дела в зарубежной (англоязычной) геологии. Здесь седиментология (термин, весьма близкий к литологии, но имеющий и ряд отличий) во многом ассоциируется со стратиграфией и благодаря этому является одной из ведущих отраслей геологического знания. Такое значение подчеркивается и сосредоточением в ОП преобладающего объема полезных ископаемых (по разным оценкам, от 80 до 95 % в стоимостном выражении), среди которых особое значение имеют топливно-энергетические ресурсы.

Известные события на рубеже 1980-1990-х гг., приведшие к распаду СССР, привели геологию постсоветской России по сути к тем же представлениям, на которых зарубежная геология существовала и развивалась в течение всего XX в. Вкратце они могут быть сведены к преобладающему значению именно осадочной оболочки Земли как объекта первоочередных исследований. При этом основное внимание уделяется тем участкам земной коры, которые содержат нефтегазовые ресурсы либо благоприятны для их открытия.

Таким образом, сочетание именно двух основополагающих понятий: «литология» (lithology) и «геология нефти и газа» (geology of oil and gas) – лежит в основе предлагаемого курса. Особо следует оговориться, что он во многом наследует указанные дисциплины, зачастую повторяя их. В то же время ряд положений и аспектов характеризуется некоторым эмерджентным (лат. emergo – появляюсь, возникаю) свойством, то есть свойством целого, не сводимым к сумме свойств составляющих. Именно последней причиной и вызвано написание предлагаемого учебно-

го пособия, которое наряду с указанными выше составляющими геологического знания тесно связано с учением о формациях, стратиграфией и рядом других дисциплин.

Пособие строго структурировано. Помимо введения и заключения оно состоит из пяти практически одинаковых по своему объему частей. В каждой части содержится от 14 до 17 глав, которые делятся преимущественно на три (редко две или четыре) темы. В свою очередь, темы в основном состоят также из трех разделов. Каждая тема содержит некоторое количество рисунков и таблиц (от 2 до 7, чаще 4-5), которые имеют сквозную нумерацию *внутри темы*. Таким образом, индекс рисунка II.6.3 означает, что он расположен во второй части пособия («Фациальный анализ»), принадлежит к шестой теме («Заливы и лагуны») и имеет в ней третий порядковый номер. Такая же индексация присвоена и таблицам.

В конце каждой из частей приведен список основных, дополнительных и специальных (для тем) источников. Эти работы не повторяются, хотя многие из них, в особенности те, которые имеют обобщающий характер, могли бы быть использованы многократно. Такой «одноразовый» подход продиктован двумя соображениями: 1) строгой структурализацией материалов, о чем шла речь выше; 2) стремлением возможно шире показать спектр отечественной литературы по осадочным породам (в последнюю с максимально возможной широтой включены и переводные издания). Пособие в целом заключает библиографический список, включающий те источники, из которых заимствованы использованные определения, чертежи и схемы. Обратим внимание заинтересованного читателя, что даже известная работа, ссылка на которую есть в списке литературы к конкретной части или теме, могла не попасть в общий библиографический список, если у нее не использована какая-то часть в виде цитаты, рисунка или таблицы. В то же время большинство обобщающих исследований наличествуют в обоих вариантах библиографических описаний.

ВВЕДЕНИЕ

Вв.1. ПРИНЦИПЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ И СТРУКТУРА ПОСОБИЯ

Последние десятилетия характеризуются принципиальной сменой подачи информации на самых разных уровнях и во всех отраслях знания. Это выражено в широком диапазоне предъявляемых **презентаций** (лат. praesento– представление) – пакета документов, чаще всего в виде набора слайдов, организованных в единой среде. Главным преимуществом презентации является ее ориентированность на зрительный аппарат, являющийся основным инструментом познания, особенно – для бессознательного восприятия (рис. Вв.1).

Рис. Вв.1. Пропускная способность сознательного и бессознательного восприятия (T. Norretranders, 1998; см. А. Каптерев, 2014, стр. 26)

На нижней диаграмме данные представлены в Кбит/с, что в 1024 раза быстрее, чем в бит/с (верхняя диаграмма)

Принципиальным продолжением этих сведений служит старая английская поговорка: «Одна картинка стоит тысячи слов». Как зрительное восприятие эффективнее слухового, так и информативный чертеж (рисунок, график, таблица) эффективнее многословного текста. В нашем представлении подобный чертеж адекватен 2-5 страницам текста, а в ряде случаев просто незаменим (к примеру, геологическая карта или стратиграфическая колонка, которые в текстовом варианте невозможно представить). Общая схема визуального восприятия приведена на рис. Вв.2.

Рис. Вв.2. Визуальное восприятие: от момента, когда свет попадает в глаза, до распознавания и понимания (Г. Одде, 2014)

Свет, попадая в наши глаза, стимулирует сетчатку, а это провоцирует пересылку импульсов с массовым параллелизмом в графическую память. Графическая память служит очень краткосрочным буфером и процессором, который убеждается, что мы всегда поддерживаем четкую картину мира. Кроме этого графическая память обогащает проходящую через нее информацию посредством восприятия основных визуальных атрибутов, таких как формы, очертания, относительные размеры и участки цвета. Их называют предвнимательными атрибутами.

Базовая визуальная информация из графической памяти передается визуальной оперативной памяти – другой форме краткосрочного хранилища, сильно лимитированная емкость которого дает начало известному ограничению в «семь, плюс или минус два» предмета, которые мы можем помнить в конкретный момент времени. Чтобы мы могли распознавать объекты и сцены, описываемый до сих пор канал («восходящая обработка») сходится в визуальной оперативной памяти с каналом, приводящим элементы и ассоциации, полученные из долговременной памяти («нисходящая обработка»). Принципиально важно следующее. Чтобы максимизировать мощность и эффективность визуализации, мы должны стремиться закодировать как можно больше информации в предвнимательных деталях, воспринимаемых во время восходящей обработки.

Констатируем, что сегодняшний образовательный процесс стремительно переходит на новые технологии обучения. К примеру, всего лишь за два последних десятилетия стало нормой излагать лекционный материал в виде презентаций. Более того, издан учебник, не содержащий текста, а состоящий из рисунков и схем (Н. В. Короновский, Г. В. Брянцева, 2011). В таком же ключе составлено и предлагаемое учебное пособие. Принципиальная структура изложения материала показана на рис. Вв.3.

Рис. Вв.3. Тринитарная структура предлагаемого пособия: подробно о тринитарности и/или тернарности можно посмотреть на сайте www.trinitas.ru, а применительно к литологии – в работе (В. П. Алексеев, Э. О. Амон, 2017)

Треугольник своим основанием базируется на понятиях «презентация» и «**лоскутное**» или patchwork. Отчасти оно инспирировано тем, что объем занятий,

отводимых на получение и усвоение знаний по той или иной «традиционной» дисциплине, неуклонно сокращается. Это особенно заметно в ходе составления новых учебных планов и в полной мере относится к учению об осадочных породах. В то же время необходимость создания цельного представления о дисциплине сохраняется. Одним из выходов из создавшегося «цугцванга» является составление презентаций с большим количеством слайдов. При соблюдении известного правила Г. Кавасаки 10-20-30 (количество слайдов – длительность доклада – размер шрифта), количество слайдов на полуторачасовую лекцию составило бы 45, или 1 слайд на 2 минуты. (К этому показателю близко количество фотографий или схем в учебнике Н. Короновского и Г. Брянцевой: в среднем 25 на одну из 27 предложенных лекций.)

Нами использована иная схема представления материалов, формулируемая как 12 (3÷4)–90 – ненормируемо. Это означает, что количество чертежей (рисунков, схем) на 90-минутную лекцию составило (в среднем) 12: по 4 чертежа на 3 раздела темы, с нерегламентируемым размером кегля.

Вершина треугольника на рис. Вв.3 отведена **верификации** (лат. verus – истинный + facere – делаю) – важнейшему этапу любых выполняемых исследований, а геологических в условиях невозможности прямого воспроизведения процессов – в особенности. Наконец, суммированием всех рассмотренных этапов работ определяется их жизнеспособность, или **валидность** (лат. validus – сильный, здоровый, достойный). В общем виде это проиллюстрировано на схеме (рис. Вв.4).

Рис. Вв.4. Верификация и валидация при моделировании (R. Sargent, 1998; с изменениями и дополнениями):

1 – создание моделей; *2* – верификация; *3* – валидация

Широкое использование верификации в предлагаемом пособии, способствующее его валидации, находится в мейнстриме современных исследований, связанных с их компьютеризацией. Они созвучны использованию **гипертекста** (англ. hypertext), представляющему «перекрестное» использование текстовых ссылок, но, поскольку прежде всего относятся к чертежам, более соотносятся с определением гиперграфика (греч. hyper – над, сверх; чрезмерно + graphikas – письменный). Поскольку «прямое» использование этих терминов слишком условно, можно говорить о *геологической* (*точнее, литологической*) *суперграфике*, реализованной в повторении чертежей, имеющих близкие смысл и содержание.

Вв.2. ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ, ИХ ФОРМИРОВАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ

Занимая лишь около 5 % общего объема стратисферы, осадочные породы тонким слоем (1 : 3 000, или 0,03 % сравнительно с радиусом Земли) средней толщиной 2,2 км покрывают бóльшую часть поверхности геоида, занимая примерно 75 % территории на континентах. Это позволило А. Е. Ферсману рассуждать о некоторых процессах осадкообразования как о «ржавчине» на поверхности Земли, а В. И. Вернадскому при обсуждении биологической оболочки – как о своего рода «плесени» (рис. Вв.5). Средняя толщина осадочного чехла континентов составляет 4,2 км, колеблясь от 0 (щиты) до 20-30 км и возможно более (складчатые зоны); в океанах – 0,3 км, с возможностью возрастания в зонах субдукции до 15 км.

Рис. Вв.5. Упрощенная диаграмма цикла формирования осадочных отложений, показывающая основные процессы, определяющие преобразование пород земной коры (Дж. Харбух, Г. Бонэм-Картер, 1974, с. 23).

Отвечает **рециклингу**: процессу повторного появления на земной поверхности или вблизи нее материала осадочного слоя, предварительно погруженного на значительную глубину и преобразованного в результате воздействия разных процессов (Геол. словарь, 2012)

Классификация осадочных пород в модельном виде приведена на рис. Вв.6.

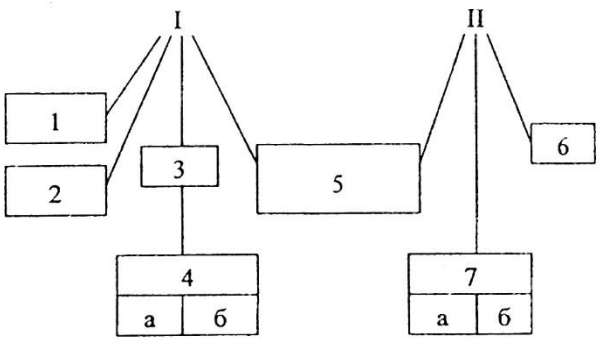


Рис. Вв.6. Упрощенная классификация осадочных пород (за исключением эпигенетических отложений) (Ф. Дж. Петтиджон, 1981, с. 31):

I – экзогенные породы, «кластические»: 1 – кластические осадки (тилль и тиллиты); 2 – пирокластические осадки (туфы и т.д.); 3 – элювий (почвы); 4 – эпикластические осадки, «перемытый элювий»: а – грубые (устойчивые – конгломераты и песчаники), б – тонкие (продукты гидролиза – глины); 5 – смешанные осадки (карбонатные, углистые глины, туффитовые глины и т. п.); II – эндогенные породы, «химические и биохимические»: 6 – органические остатки (уголь и т. д.); 7 – химически осажденные осадки: а – водноосажденные известняки и доломиты, фосфориты, железосодержащие породы, кремни; б – эвапориты (галит, гипс, ангидрит и т. д.)

Многочисленными расчетами, проведенными разными авторами, получено, что подавляющая часть осадочных пород (95 % и более) представлена всего лишь *тремя* типами: песчаниками, глинистыми породами и известняками (s. lato). Их соотношение выглядит примерно следующим образом, %:

Песчаники	15-40	в среднем около	25
Глинистые породы	40-60	"	50
Известняки	15-30	"	20

Широко известное понятие «*литология*» (греч. lithos– камень + logos – слово, учение) охватывает учение об осадочных горных породах. В отечественной геологии оно прочно укоренилось в середине XX в. и связано прежде всего с работами Н. М. Страхова. В зарубежных исследованиях данное понятие очень близко к седиментологии (англ. Sedimentology), отличаясь от него рядом существенных аспектов (В. Г. Кузнецов, 2013). Прежде всего это относится к прочной ассоциации со стратиграфией (рис. Вв.7).

Рис. Вв.7. Соотношение между седиментологией, стратиграфией и осадочной петрологией (петрографией осадочных пород) (Ф. Дж. Петтиджон, 1981, с. 10)

Взаимоотношение литологии и седиментологии в отечественных исследованиях хорошо иллюстрирует рис. Вв.8, на котором хорошо видна главенствующая роль литологии.

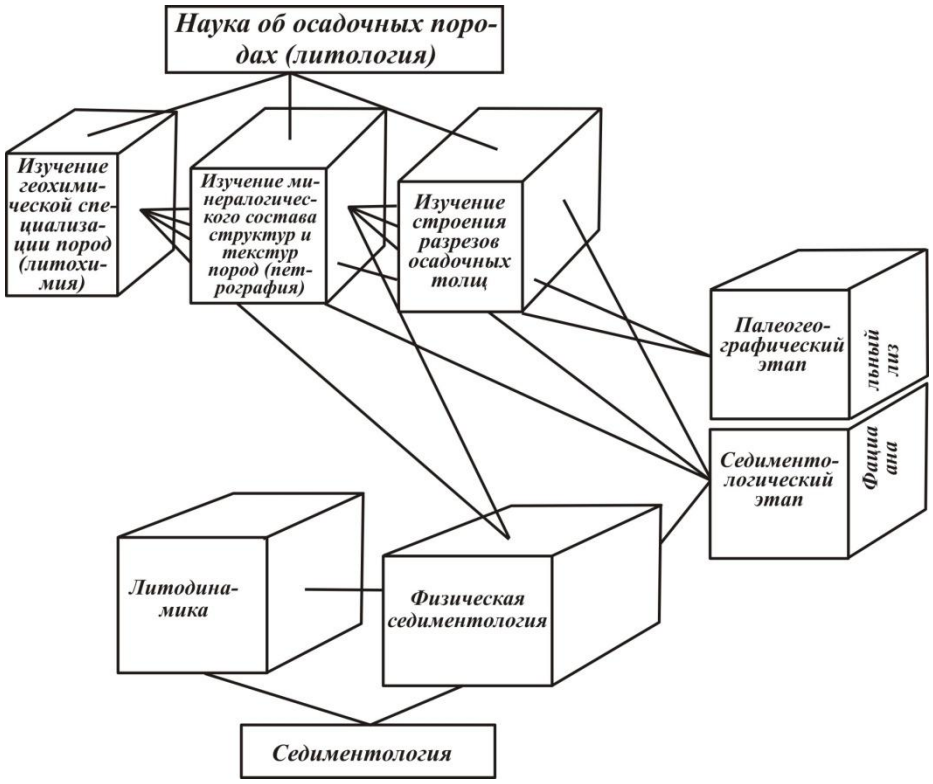


Рис. Вв.8. Общая структура литологии (С. И. Романовский, 1977, с. 44)

Вв.3. НЕФТЕГАЗОВАЯ ЛИТОЛОГИЯ: СОДЕРЖАНИЕ ПОСОБИЯ

«Отправными точками» для составления пособия послужили сведения, приведенные в табл. Вв.1 и Вв.2.

Таблица Вв.1

Относительное значение осадочных (экзогенных) полезных ископаемых в мировых запасах (Л. В. Пустовалов, 1964)

Виды ископаемого	1	2	3	Виды ископаемого	1	2	3
Энергетические ресурсы							
Гидроэнергия (рек, приливов и др.)	100	—	—	Известняки, мел, гипс	100	—	—
				Нефть, горючие сланцы	100	—	—
Нефть и горючие газы	100	—	—	Сера самородная	90	—	10
Ископаемые угли	100	—	—	Каменная соль	100	—	—
Горючие сланцы	100	—	—	Йод-бромное сырье*	85	—	15
Торф	100	—	—	(Г. Берг, 1937, Д.П.			
Атомное сырье (урановые руды)* (Н.Г. Зонтов, 1959)	90	—	10	Сердюченко, 1963)			
				Сырье цветной металлургии			
Сырье черной металлургии				Медные руды* (В.М. Попов, 1963)	72	—	28
Железные руды (Ф. Персиваль, 1955)	90	—	10	Свинцово-цинковые руды* (Ф.И. Вольфсон, Е.М. Некрасов, 1963)	—	50	50
Флюсы (известняки)	100	—	—				
Коксующиеся угли	100	—	—	Никелевые руды* (А.А. Глазковский, 1963)	76	—	24
Марганцевые руды	100	—	—				
Хромовые руды (Р. Стенли, 1962)	7	—	93	Оловянные руды* (В.К. Чайковский, 1963)	50	—	50
Формовочные пески	100	—	—	Бокситы (алюминиевые руды)	100	—	—
Строительные материалы (цементное сырье)				Магниевые руды	100	—	—
				Титановые руды (С.Я. Каганович, 1962)	80	—	20
Известняки, мергели	100	—	—	Кобальтовые руды* (Н.А. Быховер, 1963)	80	—	20
Глины	100	—	—				
Щебень, гравий, песок	100	—	—	Цирконо-гафниевые руды* (С.Я. Каганович, 1963)	100	—	—
Химическое сырье							
Фосфатное сырье** (Б.М. Гиммельфарб, 1962)	80	—	20	Тантало-ниобиевые руды* (С.Я. Каганович, 1962)	75	—	25
Калийные соли	100	—	—	Редкоземельные (монацитовые)* руды (С.Я. Каганович, 1962)	80	—	20

Примечание. Мировые запасы, %: 1 – осадочные (экзогенные) руды; 2 – руды спорного происхождения; 3 – магматические (эндогенные) руды.

* Для капиталистических стран

** Для Советского Союза

Таблица Вв.2

Соотношение ресурсов углеводородов в коллекторах различных литологических типов, % (В. Г. Кузнецов, 2012, с. 12)

Литологические типы коллекторов	Нефть	Газ	Источник
Песчаные	63,9		Klemma, 1971
Карбонатные	34,0		
Другие	1,2		
Терригенные	28,4	64,1	Бакиров, 1972
Карбонатные	44,0	28,1	
Смешанные	27,0	7,8	
Песчаные	62		«Нефтяные и газовые...», 1973
Карбонатные	38		
Песчаные:			Муди, 1978
число месторождений	59,3	-	
запасы	52,2	-	
Карбонатные:			Муди, 1978
число месторождений	40,7	-	
запасы	47,8	-	
Песчаные	58	76,5	«Газовые и газоконденсатные...», 1983
Карбонатные	42	23,5	
Карбонатные:			Габриэлянц и др., 1989
число залежей	26	17	
запасы	47	27	
Остальные типы:			
число залежей	74	83	
запасы	53	73	

Примечание. Х. Клемме учтены запасы 241 месторождений, М. Хэлбути и другими рассмотрен баланс по 187 нефтяным и 79 газовым месторождениям, запасы которых в нефтяном эквиваленте более 68,5 млн т. Дж. Муди проанализировал 198 месторождений-гигантов с запасами более 68,5 млн т, в которых заключено 67 % мировых извлекаемых запасов. А. А. Бакиров обобщил материалы по 45 нефтяным и 12 газовым месторождениям. Г. А. Габриэлянц с соавторами использовали данные по 509 крупным и гигантским месторождениям

При изложении материалов в полной мере учитывались как процессы эволюции в геологической истории, так и цикличность в формировании осадочных толщ и связанных с ними полезных ископаемых (рис. Вв.9).

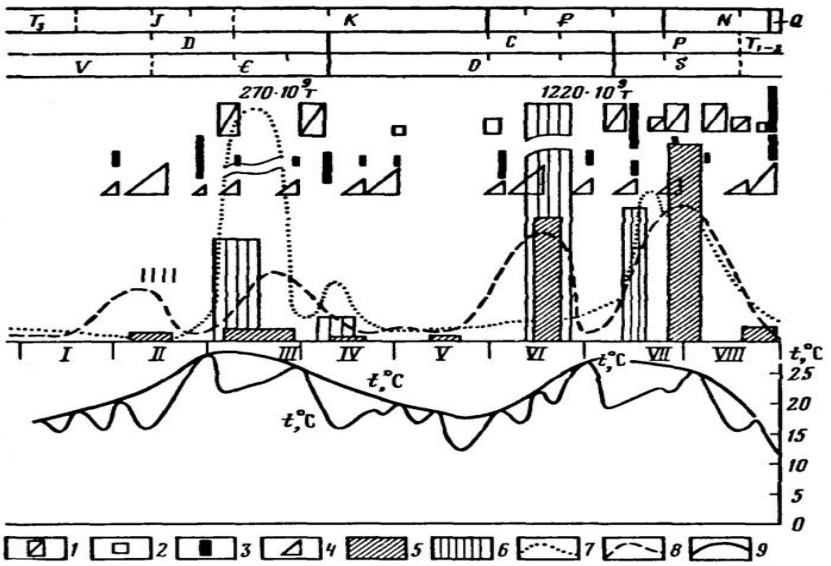


Рис. Вв.9. Идеализированная картина рудонакопления в течение галактического года (Ю. М. Малиновский, 1990; 2009, с. 64 и др.):

1 – калийные соли; 2 – галиты; 3 – марганцевые руды; 4 – бокситы; 5 – фосфориты; 6 – горючие сланцы; 7 – нефть и газ; 8 – каменные угли; 9 – палеотемпературы вод морей Северного полушария

Непосредственная структура пособия в основном соответствует **индуктивному** (лат. induction – наведение) подходу к изучению объектов, что в обобщенном виде иллюстрирует рис. Вв.10.

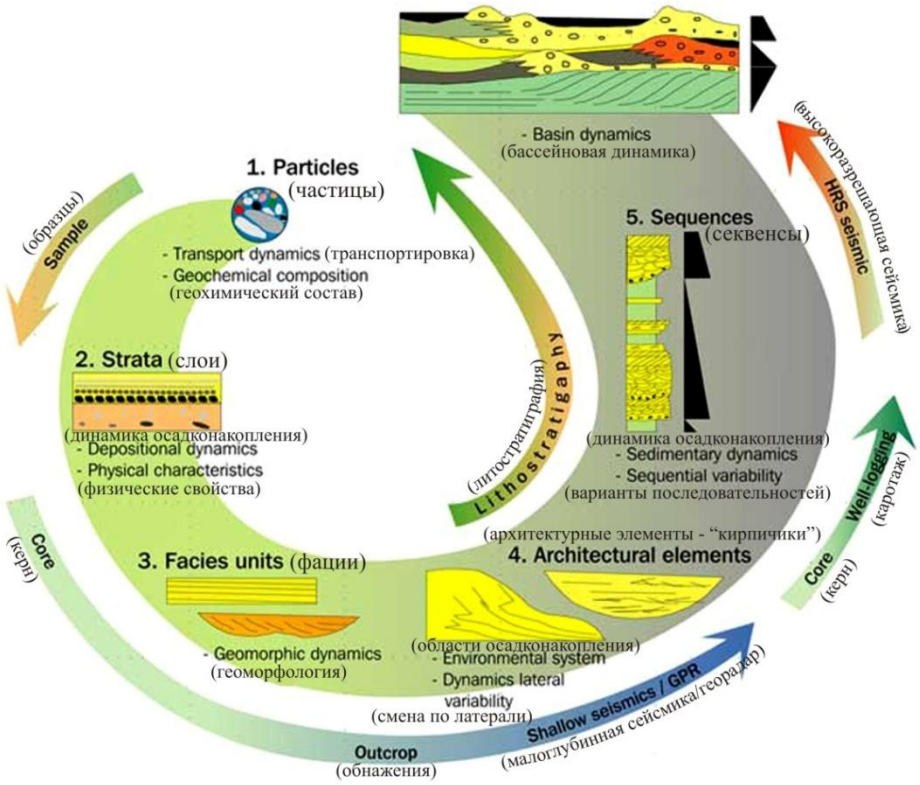


Рис. Вв.10. Соотношение структурных иерархических последовательностей (J. Heinz&Th. Aigner, 2003)

Все этапы изложения сведений по мере возможности нацелены на взаимосвязь с геологией нефти и газа. Тесная взаимообусловленность процессов осадконакопления и формирования нефтегазовых ловушек аксиоматична и в принципиальном виде показана на рис. Вв.11.

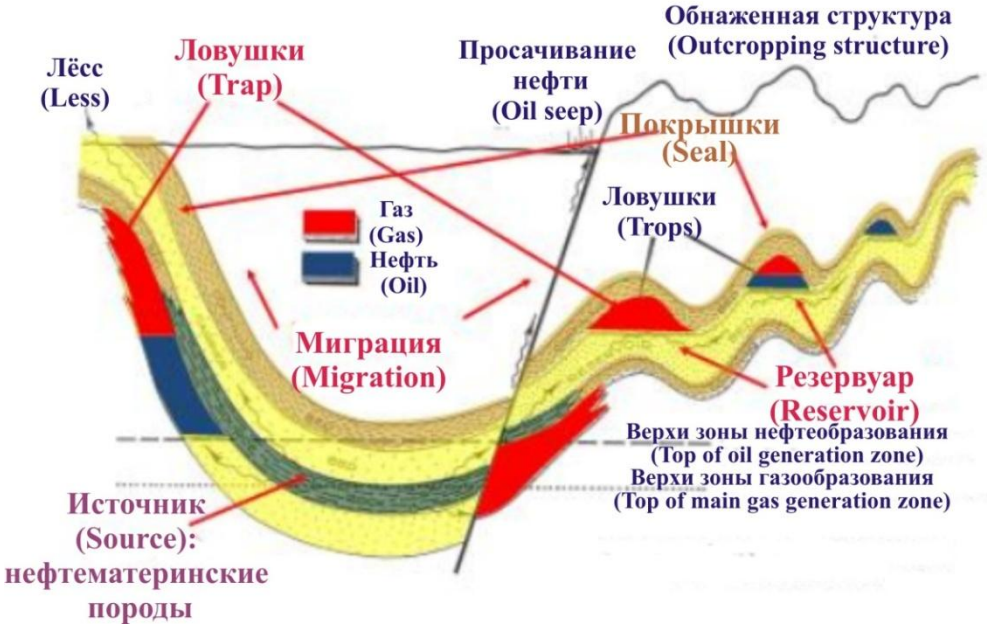


Рис. Вв.11. Формирование залежей нефти и газа (www.ektinteractiv.com/upstream-vs-downstream)

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО КУРСУ «НЕФТЕГАЗОВАЯ ЛИТОЛОГИЯ»

Основная

Бижу-Дюваль Б. Седиментационная геология: пер. с англ. М.-Ижевск: ИКИ, 2012. 704 с.

Геология для нефтяников. М.-Ижевск: ИКИ, 2011. 360 с.

Кузнецов В. Г. Литология природных резервуаров нефти и газа: учебник для вузов. М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2012. 260 с.

Дополнительная

Алексеев В. П. Литология: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2004. 253 с.

Бурлин Ю. К., Конюхов А. И., Карнюшина Е. Е. Литология нефтегазоносных толщ: учеб. пособие для вузов. М.: Недра, 1991. 286 с.

Ежова А. В. Литология: учебник. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 336 с.

Иванов М. К., Бурлин Ю. К., Калмыков Г. А. и др. Петрофизические методы исследования кернового материала. (Терригенные отложения): учеб. пособие в 2-х книгах. Кн. 1. М.: Изд-во МГУ, 2008. 102 с.

Лидер М. Седиментология. Процессы и продукты: пер. с англ. М.: Мир, 1986. 439 с.

Малиновский Ю. М. Нефтегазовая литология: учеб. пособие. М.: Изд-во РУДН, 2009. 217 с.

Петтиджон Ф. Дж. Осадочные породы: пер. с. англ. М.: Недра, 1981. 751 с.

Седиментология: пер. с польск. М.: Недра, 1976. 646 с.

Селли Р. К. Введение в седиментологию: пер. с англ. М.: Недра, 1981. 370 с.

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

ЧАСТЬ I

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

* * *

Во введении было указано, что осадочные породы широко распространены и содержат более 90 % полезных ископаемых, используемых человеком (см. табл. Вв.1). Поэтому их всестороннему изучению уделяется пристальное внимание. Во второй половине XX столетия опубликован ряд руководств по исследованию осадочных пород, имеющих комплексный характер. Среди них особенно выделяется двухтомник «Методы изучения осадочных пород» (1957), изданный по инициативе и под редакцией выдающегося советского литолога, академика Николая Михайловича СТРАХОВА. По ряду позиций это издание сохраняет свою актуальность, хотя лабораторное оборудование за прошедшие полвека, естественно, неузнаваемо изменилось.

Вплоть до начала 90-х гг. XX в. в отечественной литературе публиковалось большое количество различных руководств по методам изучения осадочных пород широкого диапазона (как относительно методов, так и самих пород). Однако известные события последних десятилетий показали существенную стагнацию в данном вопросе. В итоге получилось так, что издания прошлых лет существенно устарели по многим позициям.

Создавшуюся лакуну частично заполнило учебное пособие А. В. Маслова «Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных» (2005). В нем впервые в довольно исчерпывающем (хотя и сжатом) виде рассмотрены актуальные вопросы, касающиеся получения и обработки сведений, изложенных во многих работах иностранных исследователей, далеко продвинувшихся вперед за почти тридцать лет стагнации российской геологии.

Однако даже и это пособие не охватило всех достижений седиментологии (прежде всего зарубежной) в части изучения осадочных пород. Более того, интенсивное развитие технических средств исследования, компьютерного моделирования и других аспектов исследований постоянно дают новые примеры использования как достаточно рутинных, так и прецизионных методов в практическом плане. Прежде всего это относится именно к нефтегазовой литологии, где сосредоточены наибольшие усилия по совершенствованию методов изучения отложений, вмещающих углеводородное (УВ) сырье. Именно здесь наметился существенный прогресс в практике многопланового изучения осадочных пород – от упомянутых прецизионных или высокоточных исследований до обработки массивов исходных данных практически любого объема.

Изложенное определяет *двуединство* материалов, представленных в I части пособия. Первая (преобладающая) сторона относится к классическим методам изучения осадочных пород, которые прошли проверку временем и прочно вошли в «арсенал» литологов. Вторая заключается в показе некоторых современных методов и рассмотрении тех вопросов, которые они призваны решать. В целом эта часть пособия ориентирована на изучение **терригенных пород**, с которыми связаны основные ресурсы нефти и газа (см. табл. Вв.2).

РАБОТА С КЕРНОМ

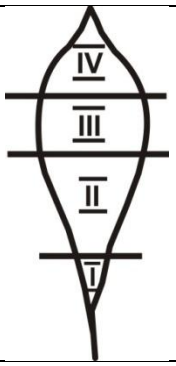
Нефтегазопоисковые и нефтеразведочные работы, связанные с изучением «открытых» территорий, то есть «полевые» исследования в прямом смысле этого слова, давно «канули в лету». Уже более ста лет все основные работы по изучению нефтегазовых ресурсов выполняются посредством бурения скважин, а главным источником информации является извлекаемый при этом керн (нем. kern – ядро, сущность; англ. core).

I.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1.1. Иерархия слоевых единиц

Таблица I.1.1

Ранговая шкала геологических тел

Уровни организации		Объекты (геологические тела)	Инварианты седиментогенеза (СГ), по С. И. Романовскому (1985)	Коллекторы (уровни см. на рис. I.1.1)	Эмерджентное свойство (свойство целого, не сводимое к сумме свойств слагающих элементов)
группа	ранг				
Структурно-формационная	6	Формационные комплексы; осадочные бассейны	–	–	–
	5	Формации			Единство геотектонических условий и палеогеографической обстановки
	4	Наборы пород: литоциклы (циклиты)	ЦиклоСГ		Направленность смены типов пород и их комплексов
Минерально-петрографическая	3	Породы; слои ≈ пласты; литоритмы (ритмиты)	СтратоСГ		Устойчивое сочетание минералов; простая повторяемость ограниченного набора слойков и слоев
	2	Минералы	ГранулоСГ		
	1*	Молекулы	–		–

*Справочно, поскольку собственно геологическими телами они не являются.

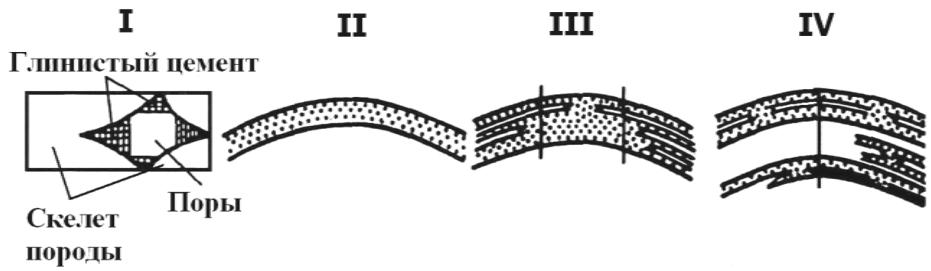


Рис. I.1.1. Схема выделения структурных условий геологической неоднородности (В. Г. Каналин и др., 2006, с. 88): I – уровень элементарного объема породы с оценкой минерального состава скелета и количества цементирующего вещества; II – уровень геологических тел, сложенных единым литологическим типом пород, в данном случае уровень песчаных пластов и (или) пропластков; III – уровень сложнопостроенных геологических тел, представляющих систему гидродинамически связанных пластов и (или) пропластков; IV – уровень геологических тел, представляющих систему гидродинамически не связанных пластов, каждый из которых в общем случае представляет систему гидродинамически связанных пластов и (или) пропластков

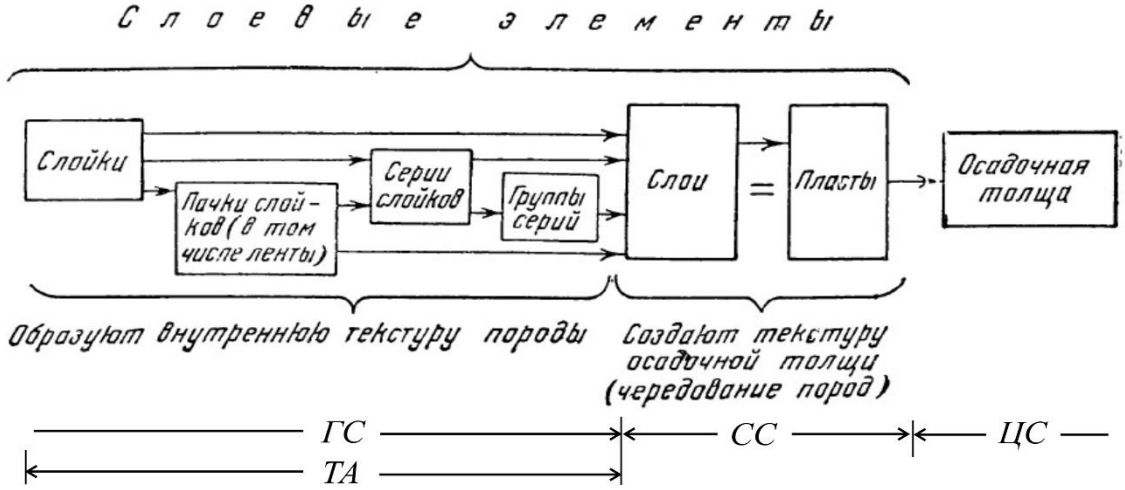


Рис. I.1.2. Схема соотношения и соподчиненности слоевых элементов низших рангов в осадочных толщах (по Л. Н. Ботвинкиной, 1962, с. 149; с дополнениями):

ТА – текстурный анализ; структурные инварианты седиментогенеза: *ГС* – гранулоседиментогенез, *СС* – стратоседиментогенез, *ЦС* – циклоседиментогенез (по С. И. Романовскому, 1985): см. табл.I.1.1.

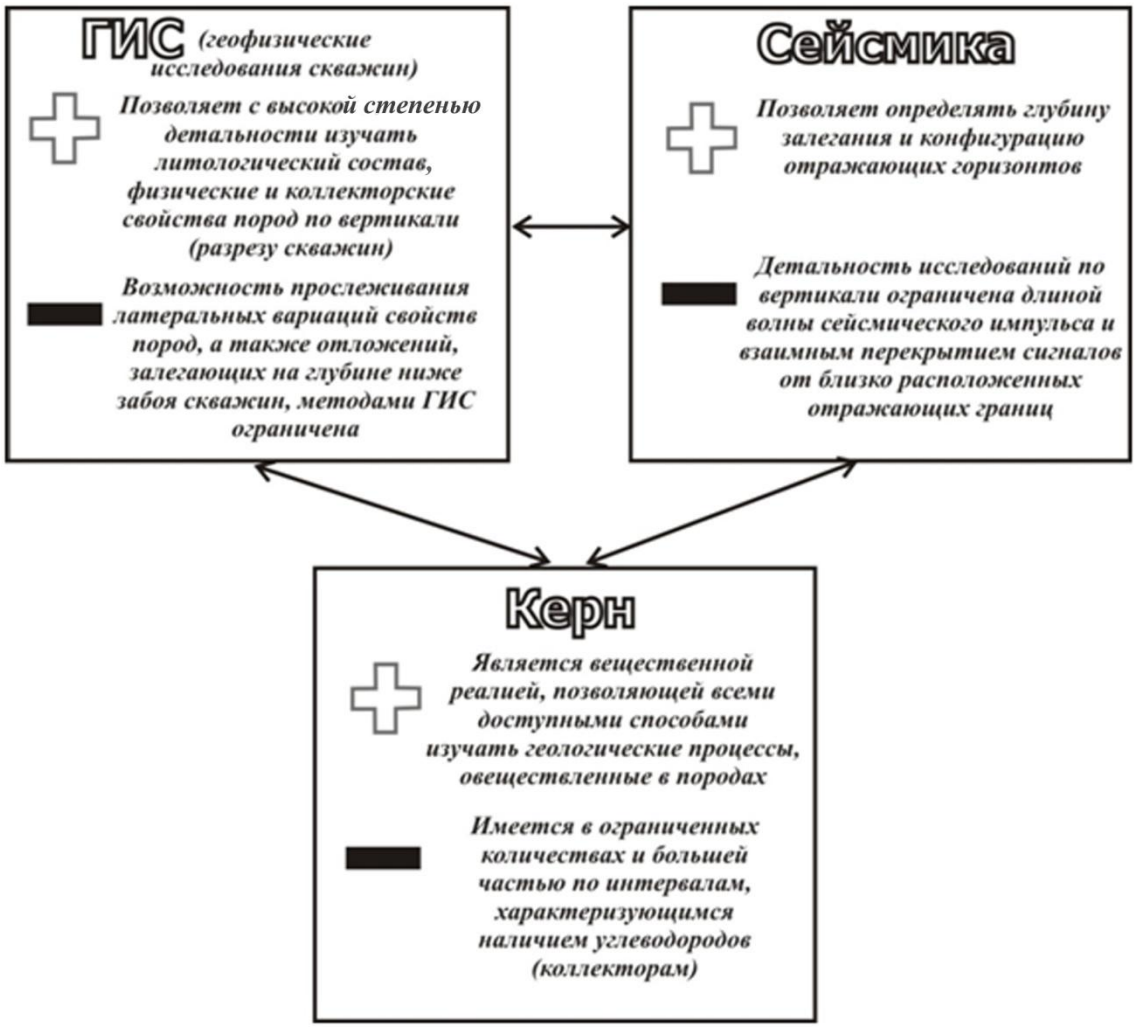


Рис. I.1.3. Триединство методов изучения объектов, исследуемых нефтегазовой литологией. Их содержание определяет роль каждого в иерархии слоевых единиц (см. табл. I.1.1)

I.1.2. Выделение слоев

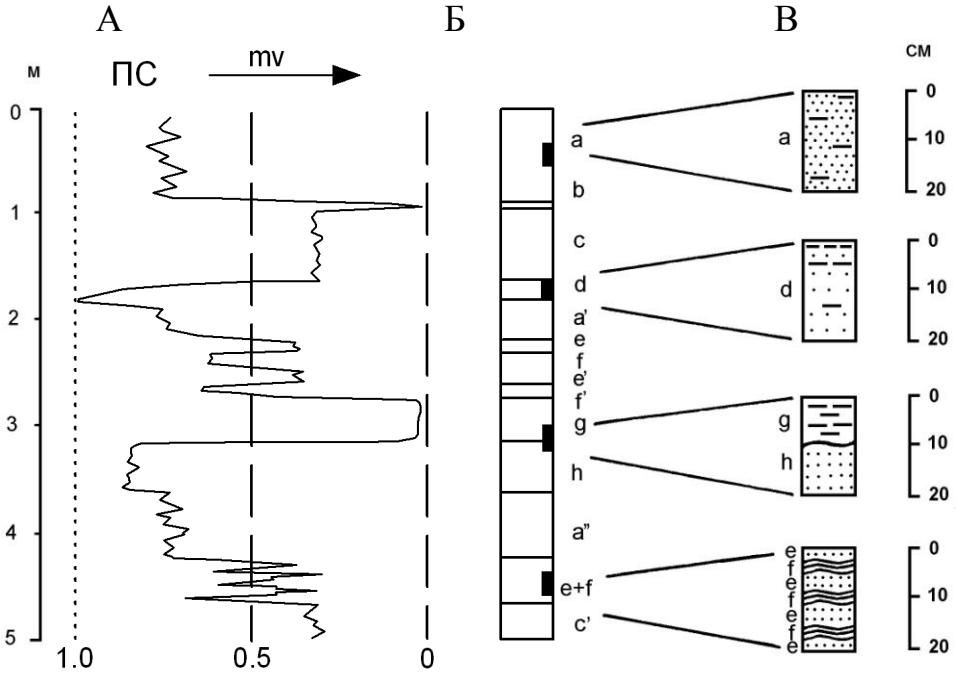


Рис. I.1.4. Принципиальная схема выделения слоев:

А – кривая метода потенциалов собственной поляризации (ПС): точками обозначена линия «чистых песков»; штрихами справа – линия «чистых глин»; 0 – 1,0 – интенсивность аномалий в условных единицах;

Б – выделяемые слои (*a, b*, …, *h*); при этом знаки ’ ” показывают, что данные слои тождественны предыдущим, имеющим то же буквенное обозначение; зачернены интервалы, соответствующие образцам на колонке В;

В – образцы (сверху вниз): из однородного слоя a; слоя с направленно изменяющимися признаками *d*; контакта слоев *g* и *h*; тонкого чередования слоев (слойков, серий слойков) *e* и *f*

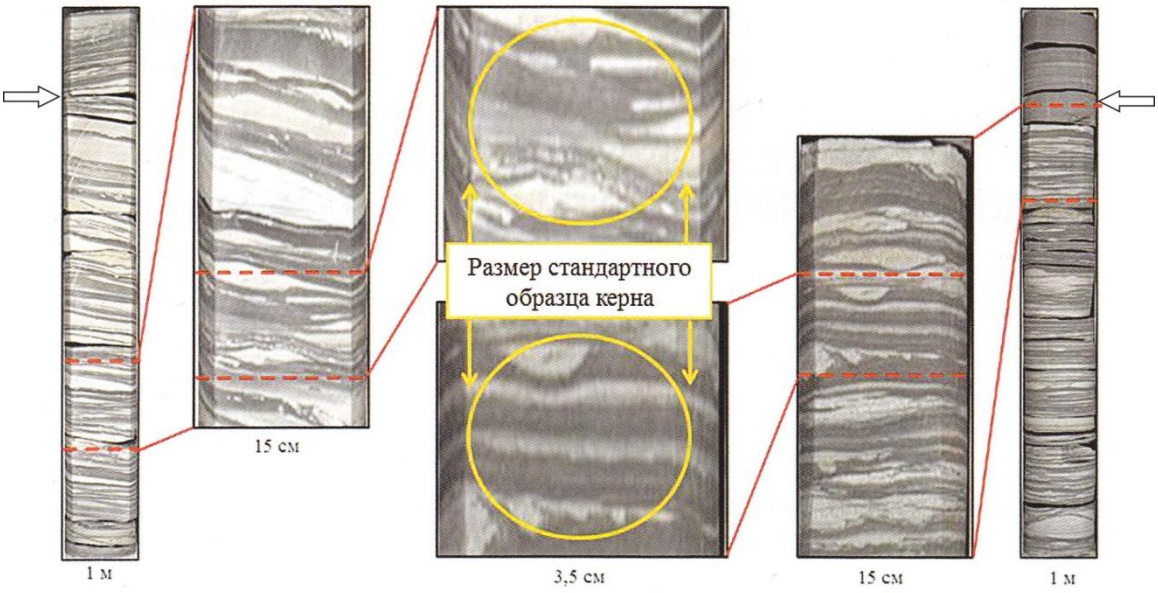


Рис. I.1.5. Пример слоистой неоднородности на фотографиях керна (А. В. Сорокина и др., 2016).

Выделяются четкие контакты слоев по типу g/h (см. рис. I.1.4): в левой колонке по резкому контакту со сменой углов падения; в правой – по смене типов пород (обозначены двойными стрелками).

Основная часть керна представлена частым переслаиванием контрастных типов пород с толщиной слойков и их серий от нескольких миллиметров до первых сантиметров (e и f на рис. I.1.4).

Для дифференциации тонкослоистого разреза на самостоятельные типы пород предложен метод **микропрофилирования** (МкП). На рис. I.1.6 красным отображены зоны сигнала аргиллита, желтым – алевролита, зеленым – песчаника. Шаг анализа составляет около 1 мм.

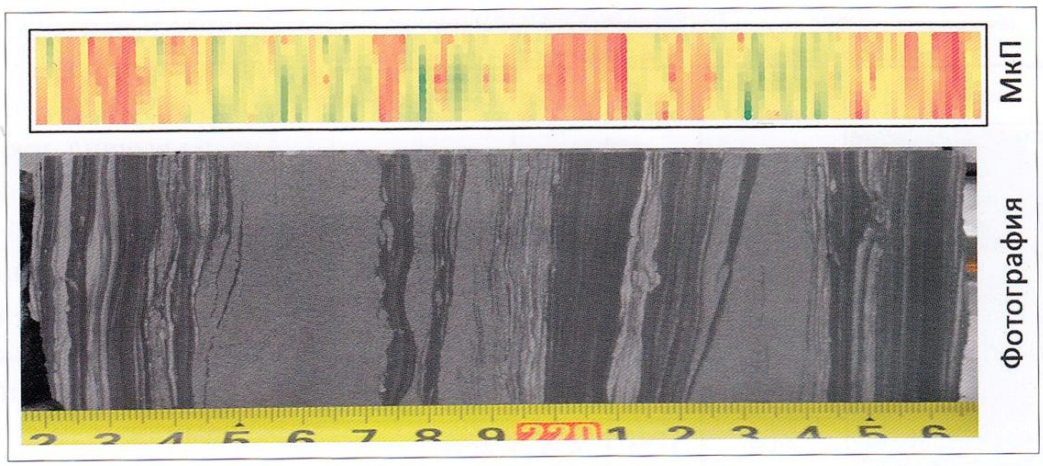


Рис. I.1.6. Пример визуализации литологического анализа керна по данным МкП с фотографией данного участка (А. Н. Смирнов, 2016)

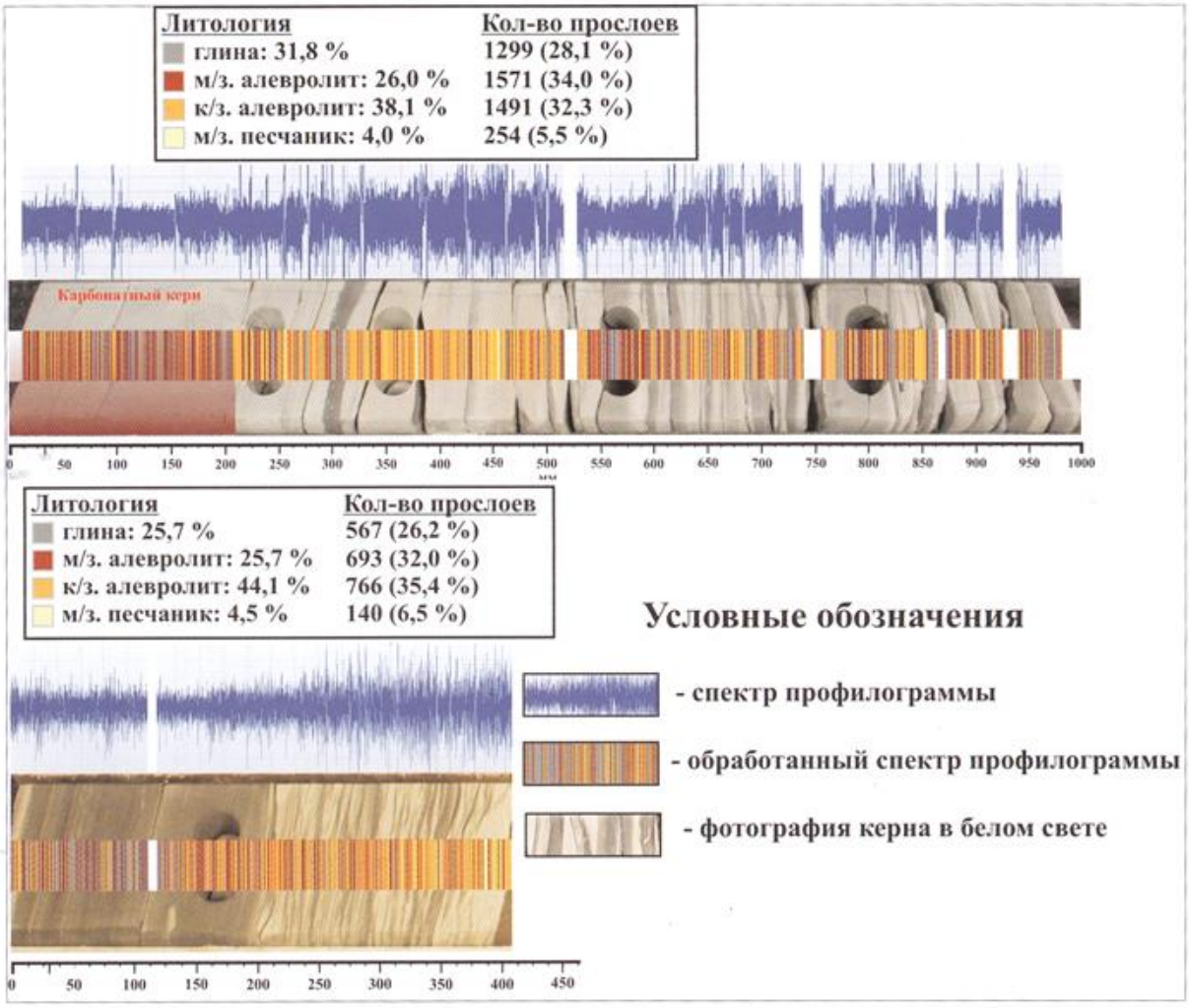


Рис. I.1.7. Профилограммы, полученные с поверхности срезов полноразмерного керна, и результаты их интерпретации (викуловская свита) (М. Ю. Зубков, А. А. Ишков, 2016)

I.1.3. Этапность и последовательность изучения керна

Набор методов изучения керна и последовательность их выполнения весьма сходны в разных организациях, выполняющих эти работы. Следует отметить, что они постоянно совершенствуются и пополняются новейшим аппаратурным и программным обеспечением.

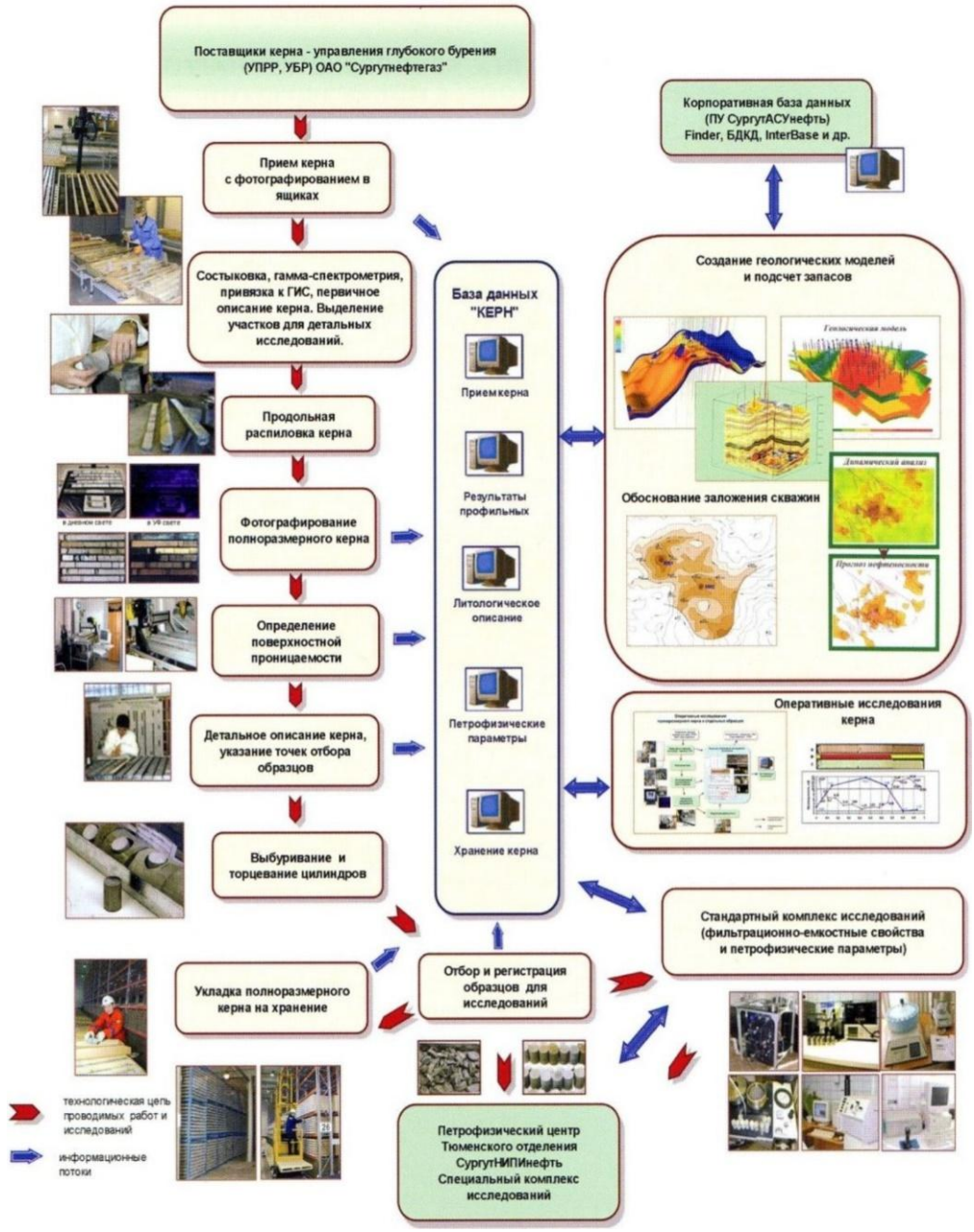


Рис. I.1.8. Основные этапы базового комплекса исследования керна (И. Ш. Усманов, 2006)

«Частота отбора образцов керна для комплексных лабораторных исследований определяется литологическим составом, изменчивостью физических свойств и характером насыщения изучаемых пород. Образцы пород должны быть отобраны не менее чем через 0,5 м мощности продуктивной части выдержанного пласта и не менее чем через 0,25-0,3 м для невыдержанного пласта и неконсолидированных (рыхлых) пород. В анизотропных пластах типа флиш интервал отбора следует уменьшить до представительности не менее одного образца на каждый прослой. В трещиноватых и кавернозных нефте- и водонасыщенных пластах интервал отбора образцов должен быть снижен до 0,1 м» (Порядок отбора…, 1985. п. 7.5).

Аналитические работы выполняются по одному образцу (или образцам, отобранным из одного места), что обеспечивает высокую сходимость получаемых результатов. Рекомендуемая частота анализов (по какому количеству проб они проводятся) показана в табл. I.1.2, а объем образцов (проб) – в табл. I.1.3.

Таблица I.1.2

Типовой комплекс лабораторных петрофизических исследований

(Порядок отбора…, 1985, прил. 8, с сокращениями)

№ п/п	Параметры	Частость анализов, %			Параметры, необходимые для оперативной интерпретации данных ГИС	Параметры, необходимые для обобщающей интерпретации данных ГИС и подсчета запасов
		в атмосферных условиях		в пластовых условиях		
		основные	дополнит.	дополнительные		
	Литолого-петрографические, структура и текстура порового пространства					
1	Вещественный и гранулометрический состав,	20				+
	в т.ч. минеральный состав глин	10				+
2	Карбонатность и нерастворимый остаток	20				+
3	Микроструктура порового пространства, трещиноватость		10			+
4	Другие исследования: палеонтологические, палинологические, геохимические и др.	Определяется геологическим заданием				
	Плотностные и фильтрационно-емкостные					
1	Плотность минералогическая	20			+	+
2	Плотность объемная	20			+	+
3	Пористость общая	20			+	+
4	Пористость открытая	100		10	+	+
5	Каверновая емкость	100	только для кавернозных пород		+	+
6	Проницаемость абсолютная	100		10	+	+
7	Проницаемость фазовая		10			+
8	Первоначальная нефтеводонасыщенность	100	только для керна, отобранного с применением растворов на нефтяной основе			+
9	Остаточная водонасыщенность	50			+	+
10	Коэффициент вытеснения		10			+
11	Коэффициент смачиваемости		10			+

Таблица I.1.3

Тип пробы и навеска для проведения аналитических работ

(М. К. Иванов и др., 2008, кн. 1, с. 56)

Виды работ или анализов	Тип пробы	Минимальная навеска
ФЕС	Цилиндр	30×30 мм
Растровый электронный микроскоп	Скол	Площадь 0,25 кв. см
Изготовление прозрачного шлифа	– ″ –	2 кв. см
Изготовление прозрачного шлифа без покровного стекла	– ″ –	2 кв. см
Рентгенофазовый анализ	– ″ –	До 20 г
Карбонатность	Порошок 0,1 мм	2 г
Углерод органический	Пудра (200 меш)	2 г
Термический анализ (дериватография)	Порошок 0,1 мм	0,5 г
Нейтронно-активационный анализ	– ″ –	0,1 г
Гамма-спектрометрия	Дробленый материал	> 200 г
Рентгенофлюоресцентный анализ	Пудра (200 меш)	1 г
Шлифы для F-радиографии	Скол	Площадь 2 кв. см
Определение концентраций элементов под сканирующим электронным микроскопом	Шлиф (без покровного стекла)	Шлиф
Гранулометрия	Скол	20-50 г
Спектральный анализ (содержание B, Li)	Пудра (200 меш)	3 г

I.2. ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ: КОНСТИТУТИВНЫЕ ПРИЗНАКИ

Литотип (литологический тип породы) – 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» (А. В. Македонов, 1985, с. 9).

I.2.1. Размерность частиц

Классификация и рассмотрение кластолитов производятся по их структуре: размерности и соотношению частиц, слагающих породу. Достаточно уверенно устанавливаются естественные границы, отвечающие следующим природным процессам:

1) 0,004 или 0,005 мм: граница между пылеватыми (глинистыми) и алевритовыми частицами – в осаждении более мелких частиц сильно развиты процессы коагуляции;

2) 0,05 или 0,0625 мм: граница между классами алевритовых и песчаных пород, обусловленная механизмом их переноса (взвесь – сальтация) и подчеркнутая первым *дефицитом* фракций 0,03-0,06 мм, характерным для разрушения минералов;

3) 2,0 мм: граница между песками и гравием, отчасти также обусловленная механизмом переноса и главное – подчеркнутая вторым дефицитом 1,4-4 мм, связанным с разрушением обломков пород (более крупные фракции почти не содержат минералов).

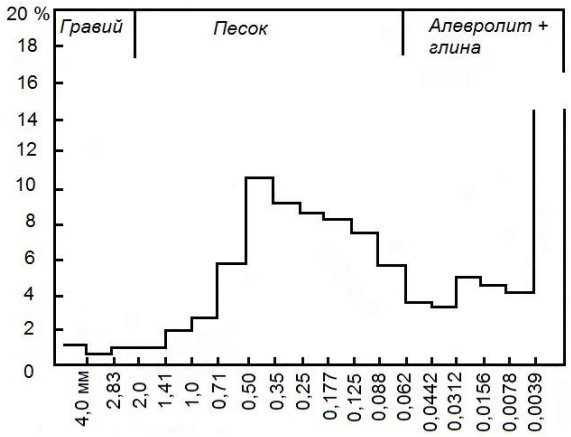


Рис. I.2.1. Дефицит фракций (С. И. Романовский, 1977):

гистограмма, составленная Р. Вольфом (1914) по данным 930 гранулометрических анализов.

Устойчивый дефицит на рубеже ~ 0,05 мм

Таблица I.2.1

Типы пород по их гранулометрической размерности

Линейный размер частиц *S*, мм: Десятичные шкалы "простая"			с уточнением		Шкала Φ ("фи") $\Phi = -\log_2 S$			Породы			Названия в английской литературе		Преобладающий способ перемещения частиц
Гравелит		1,00	Гравелит		2	2,00	-1	Гравий, гравелит			Granule	Gravel	Волочением, качением
					1	1,00	0	Пески, песчаники	грубозернистый		Very coarse	Sand	Сальтацией
Песчаник	кз	0,50	Песчаник	кз	1/2	0,50	1		крупнозернистый		Coarse		
	сз	0,25		сз	1/4	0,25	2		среднезернистый		Medium		
	мз	0,10		мз	1/8	0,125	3		мелкозернистый		Fine		
Алевролит	кз	0,05		тз	1/16	0,0625	4		тонкозернистый		Very fine		
	мз	0,01	Алевролит		1/32	0,0312	5	Алевриты, алевролиты	крупнозернистый		Coarse	Silt	Во взвешенном состоянии
					1/64	0,0156	6		среднезернистый	визуально трудно различимы: описываются как мелкозернистый	Medium		
					1/128	0,0078	7		мелкозернистый		Fine		
Аргиллит			Аргиллит		1/256	0,0039	8		тонкозернистый		Very fine		
					...	...	...	Глина, аргиллит			Clay		Коллоидная суспензия

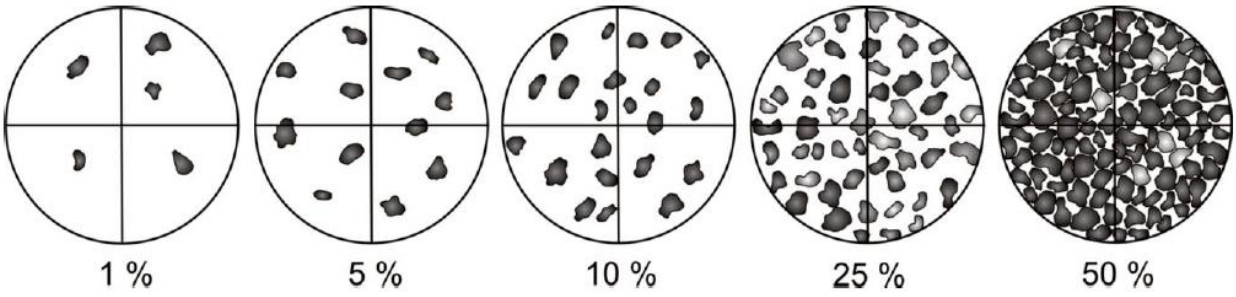


Рис. I.2.2. Трафареты М. С. Швецова для визуальной оценки содержания обломков в породе, иллюстрирующие обычное увеличение размерности частиц на ½ – 1½ градации по сравнению с подлинным значением

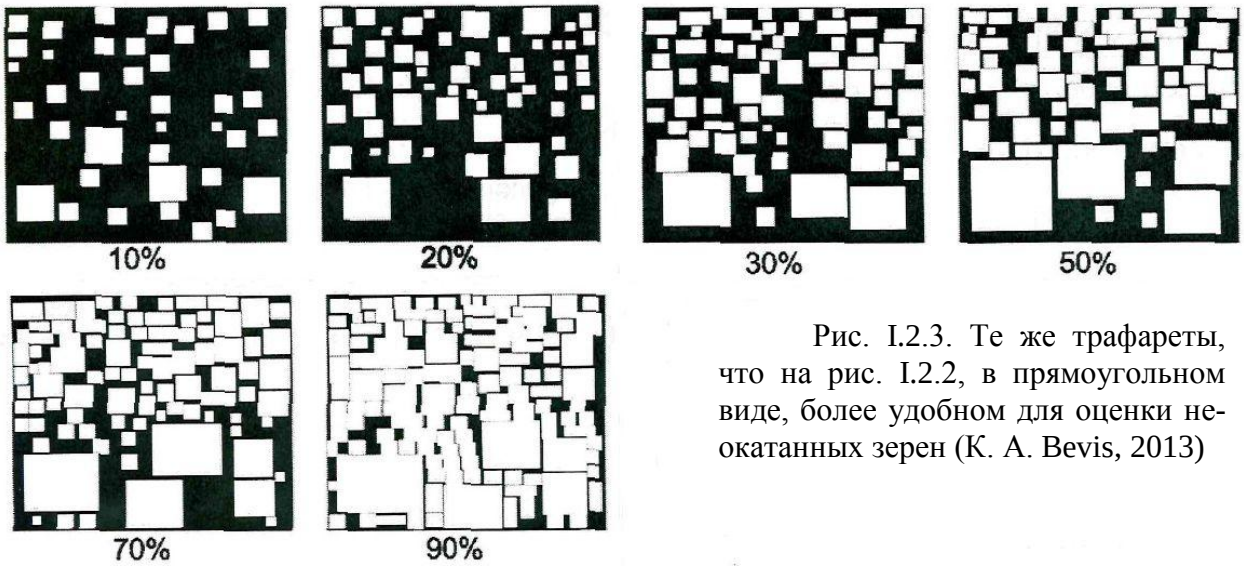


Рис. I.2.3. Те же трафареты, что на рис. I.2.2, в прямоугольном виде, более удобном для оценки неокатанных зерен (K. A. Bevis, 2013)

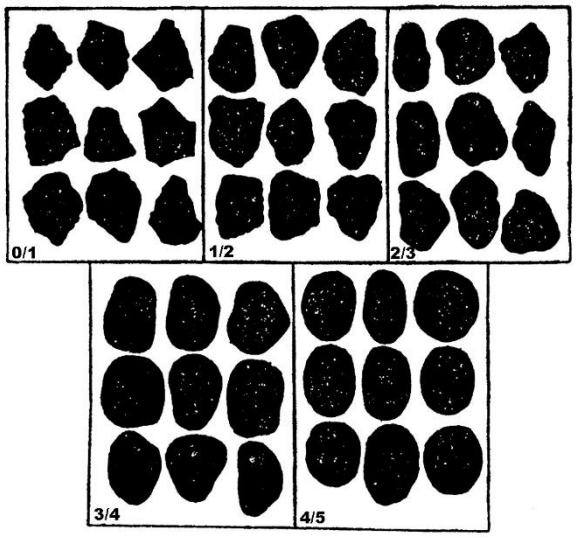


Рис. I.2.4. Шкала для определения окатанности обломков: в числителе – баллы, по А. В. Хабакову; в знаменателе – по Ф. Петтиджону. 0/1 – неокатанные, остроугольные; 1/2 – слегка окатанные, со сглаженными углами и ребрами; 2/3 – полуокатанные, со сглаженными ребрами, в которых сохраняются прямолинейные отрезки; 3/4 – окатанные, сохранившие только следы первоначальной огранки; 4/5 – хорошо окатанные

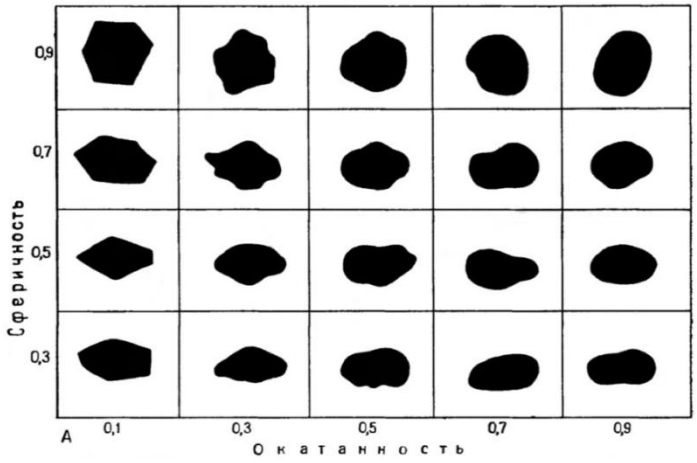


Рис. I.2.5. Эталоны, по У. Крамбейну и Л. Слоссу (Krambein, Sloss, 1951), с разделением на четыре класса сферичности (вертикальные колонки) и на пять классов окатанности (горизонтальные ряды); приведены количественные показатели сферичности и степени окатанности

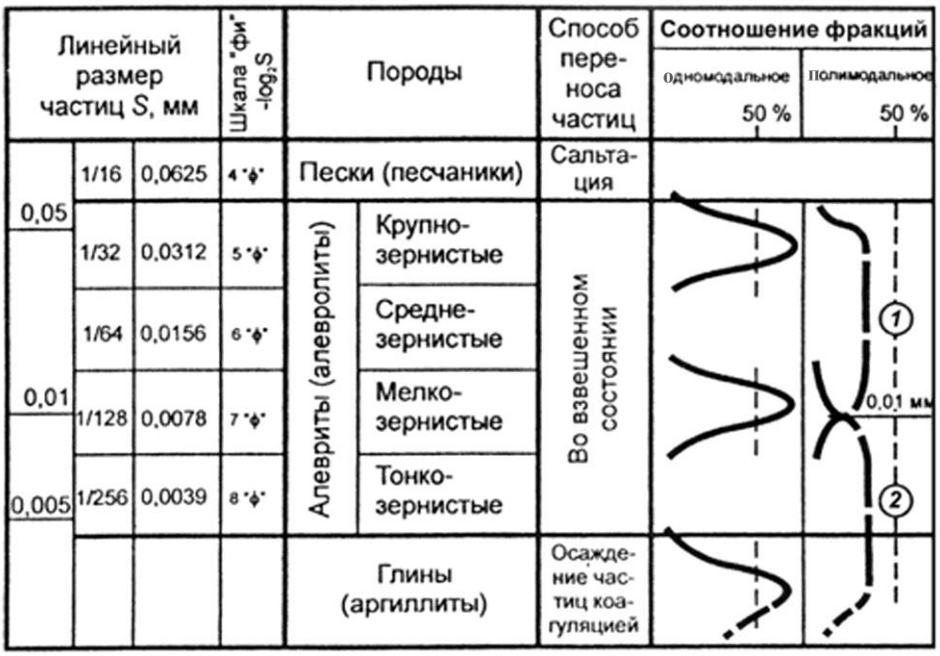


Рис. I.2.6. Классификация тонкоразмерных терригенных пород: *1* – алевролиты (silt) (мелко- и крупнозернистые); *2* – алевроаргиллиты (silt-rich mudstone)

I.2.2. Сортированность (соотношение фракций)

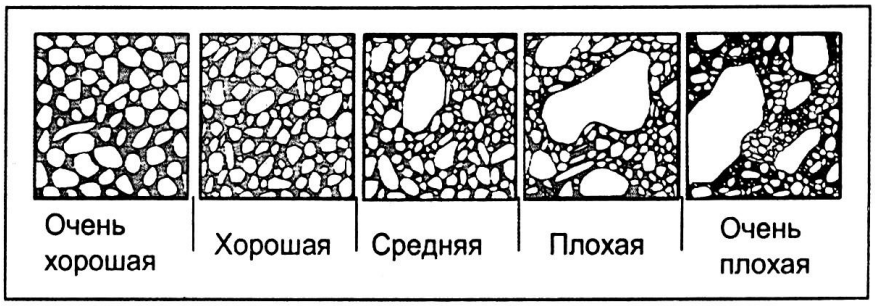


Рис. I.2.7. Эталон для визуального определения отсортированности отложений

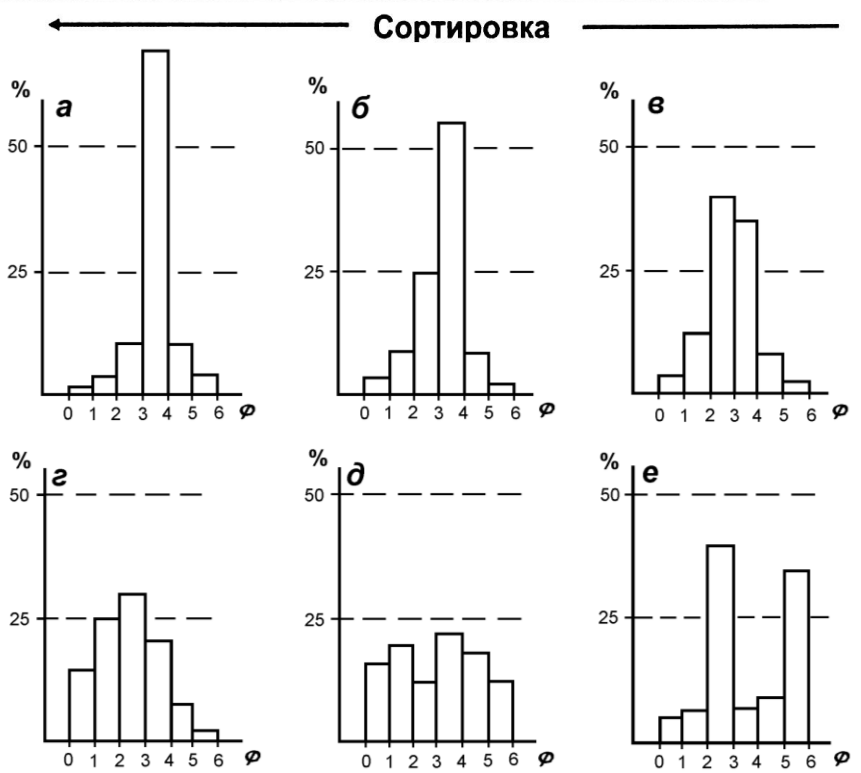


Рис. I.2.8. Гистограммы гранулометрического состава пород: *а* – очень хорошо сортированный тонкозернистый песчаник; *б* – хорошо сортированный тонкозернистый песчаник со значительной примесью мелкозернистого материала; *в* – среднесортированный тонко-мелкозернистый песчаник; *г* – плохосортированный разнозернистый песчаник; *д* – очень плохо сортированная порода (хлидолит) с повышенным участием средне-крупно и тонкозернистой песчаных и значительным содержанием алевритовых фракций; *е* – бимодальное сочетание мелкозернистого песчаника и мелкозернистого алевролита (ритмит)

I.2.3. Текстура (слоистость)

Л. Н. Ботвинкиной в специальной статье (Ботвинкина, 1965, б) предложено говорить о самостоятельном **текстурном анализе** (см. рис. I.1.2). Вплоть до настоящего времени не устарели ее основополагающие работы (Ботвинкина, 1962; 1965, а), краткое представление о которых дает рис. I.2.9.

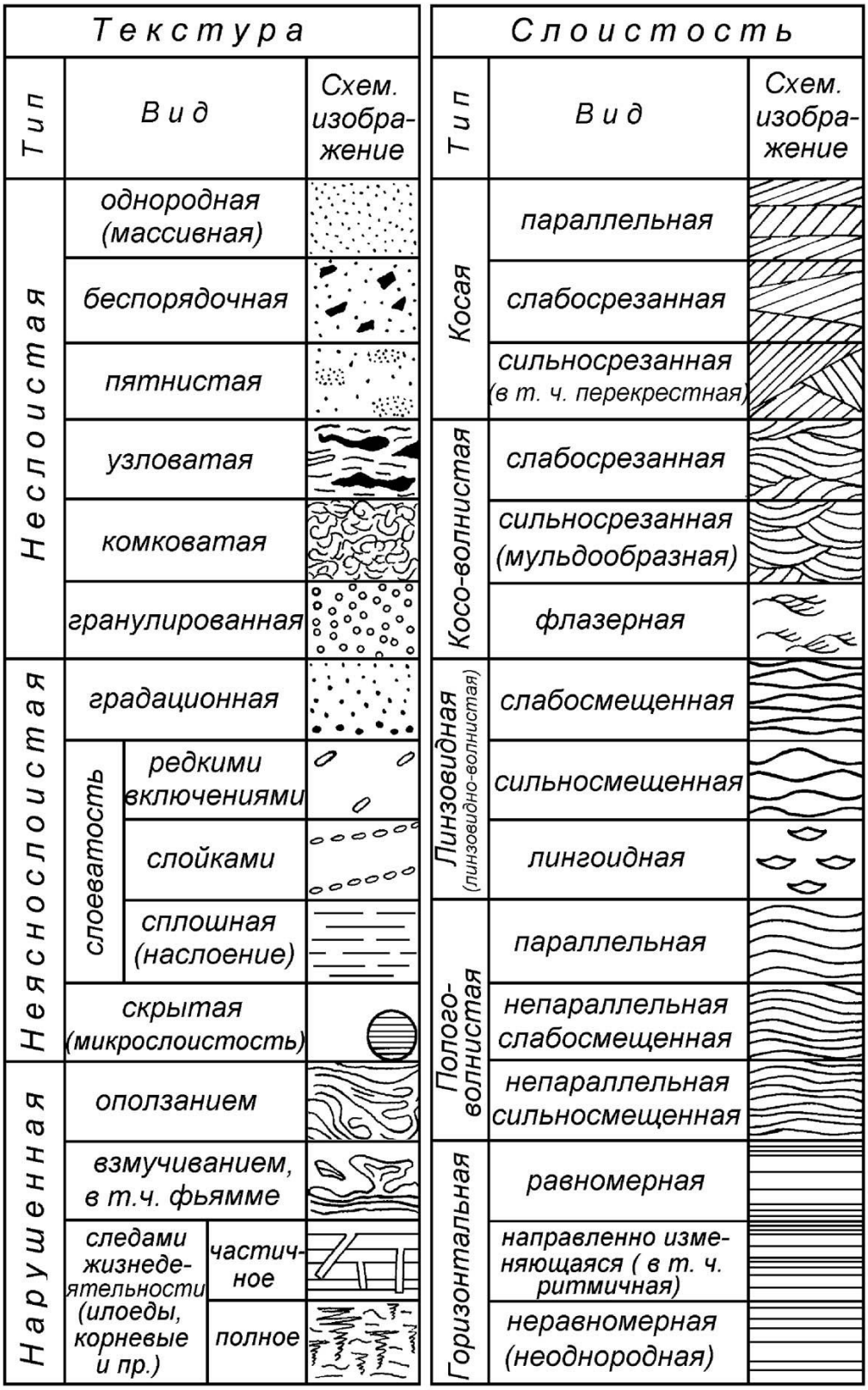


Рис. I.2.9. Классификация текстур (по Л. Н. Ботвинкиной, 1962, 1965)

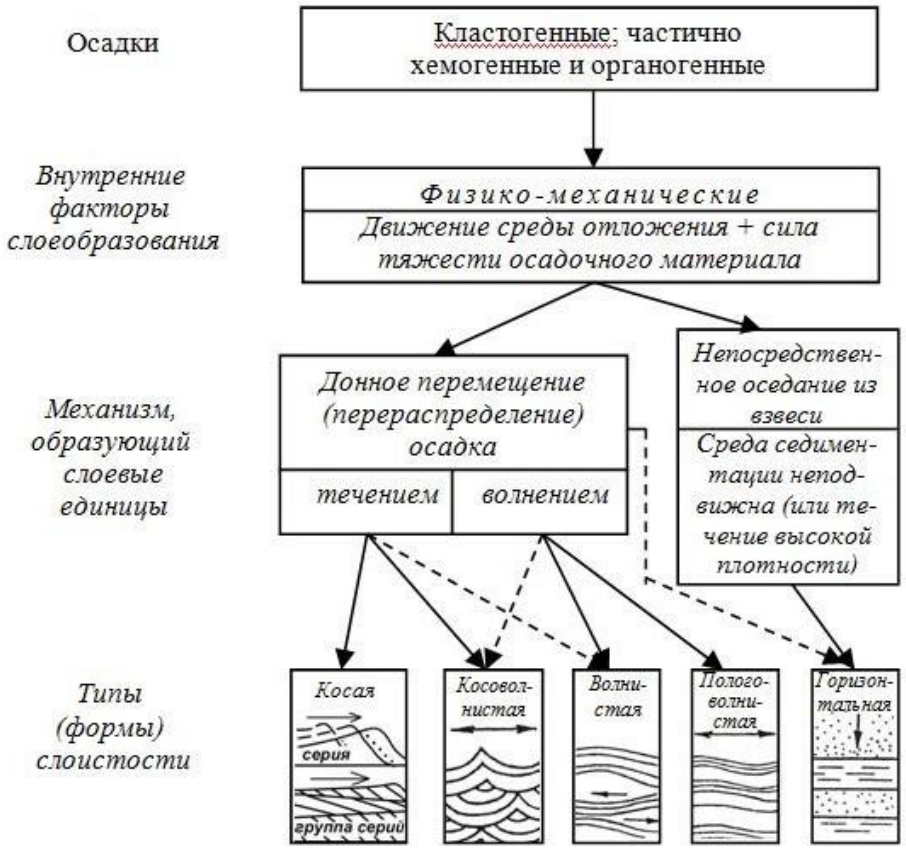


Рис. I.2.10. Зависимость типа (формы) слоистости от факторов и механизма слоеобразования (по Л. Н. Ботвинкиной, 1962, с. 70; с изменениями)

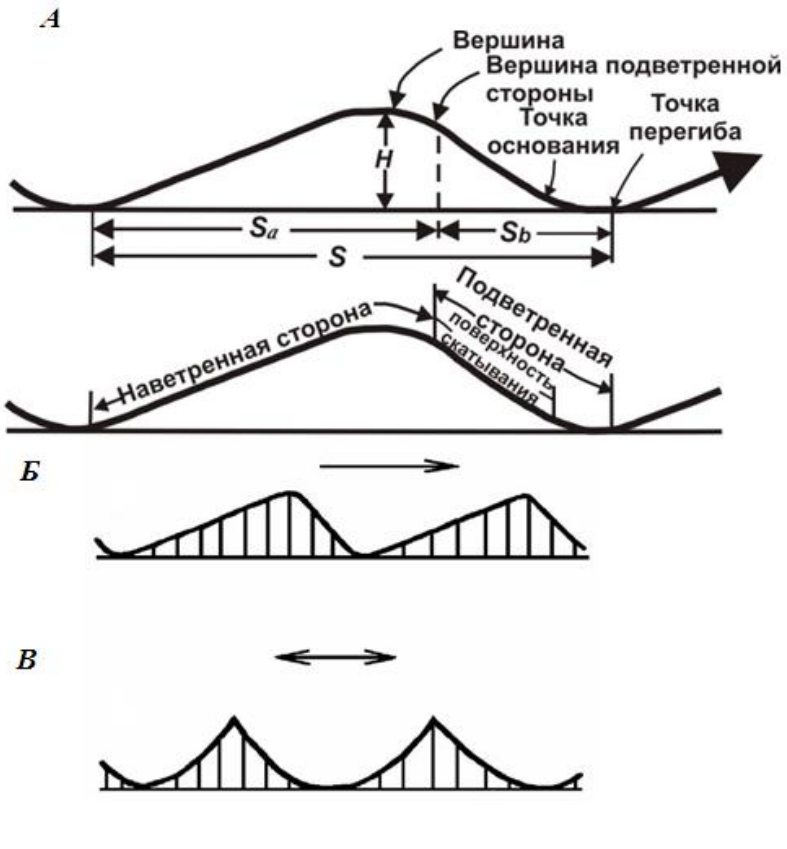


Рис. I.2.11. Рябь в осадочных текстурах:

А – схематический разрез знака ряби: вверху – параллельный течению и внизу – перпендикулярный вытянутости гребней (*S* – длина или интервал между знаками, в т. ч. S_a – пологого склона и S_b – крутого склона; *H* – высота); *Б* – рябь течения (стрелкой показано направление течения); *В* – рябь волнения (стрелкой показано меняющееся направление волн)

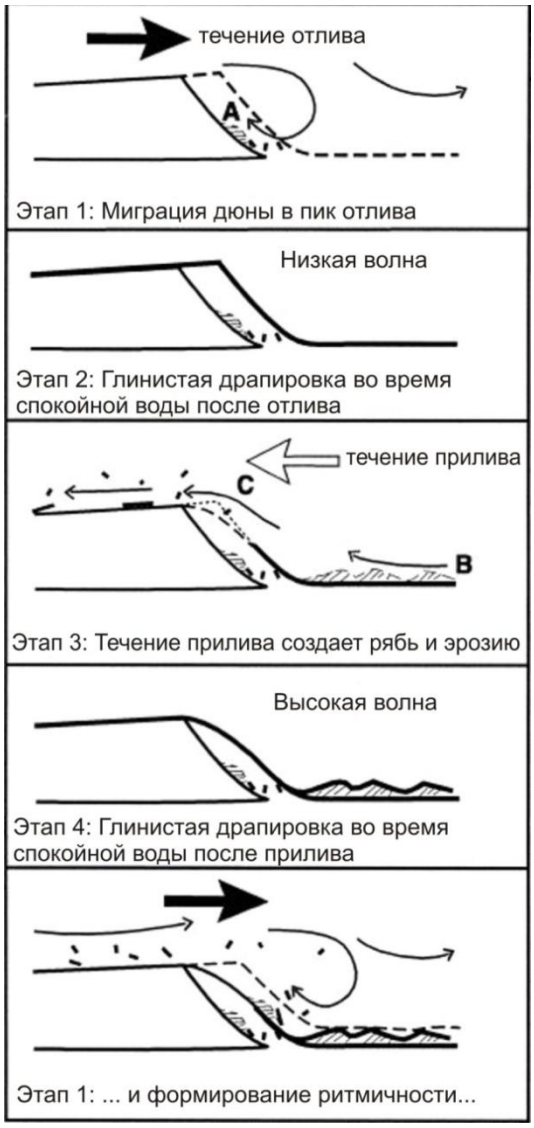


Рис. I.2.12. Миграция дюн (песчаных валов) при формировании приливно-отливных слойков (http: //jsedres.sepmonline.org/content/73/3/354/F11.large.jpg)

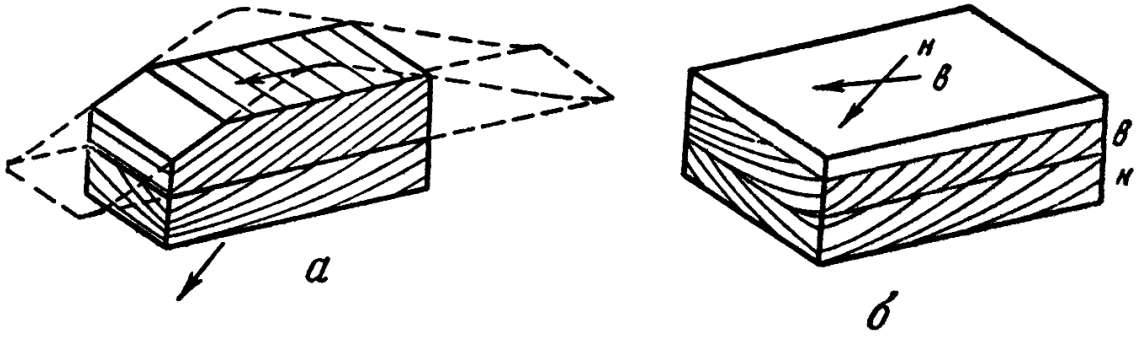


Рис. I.2.13. Изменение слоистости в зависимости от сечения (Л. Н. Ботвинкина, 1962, с. 176). Повторено в работе (В. Н. Шванов, 1969, с. 67), из которой приведена подрисуночная подпись: *а* – косая параллельная слоистость. Верхняя серия в перпендикулярном срезе кажется горизонтальной, но нижняя уже обнаруживает косой наклон слойков. Стрелкой указано направление течения, пунктиром – первоначальная форма песчаного вала; *б* – косая параллельная однонаправленная слоистость, видная в прямом срезе; в перпендикулярном к нему левом срезе обнаруживается направление падения слойков в разные стороны, но углы падения при этом весьма пологие, что указывает на сечение, близкое к фронтальному. Стрелки указывают направление течения для нижней (*н*) и верхней (*в*) косослоистых серий. На изменение направления течения указывает различие в углах падения косых слойков в смежных сериях и выполаживание их в сечении, расположенном косо по отношению к направлению течения

I.2.4. Морфология

В силу специфики исходного материала (керна скважин) в нашем распоряжении обычно имеется только линейная оценка морфологии (точнее – морфометрии) выделяемых слоев, в «формате» 1D (от англ. Dimension – измерение): см. рис. I.1.3. Таким образом, оценка морфологии слоевых единиц базируется преимущественно на изучении **контактов**.

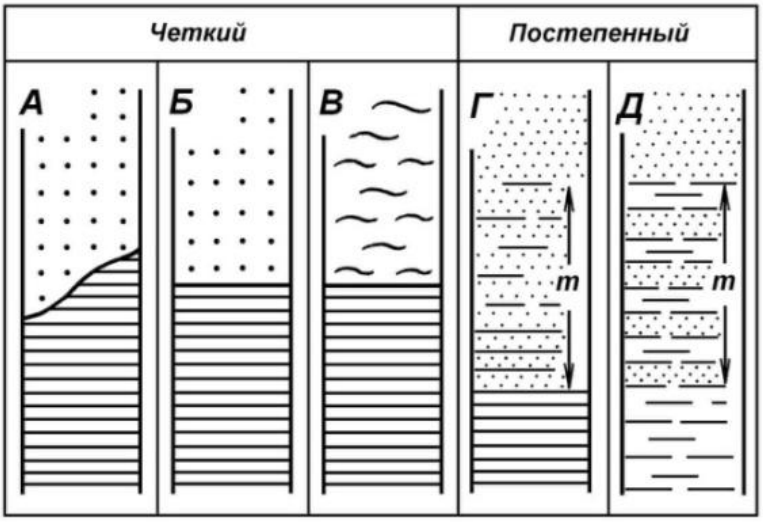


Рис. I.2.14. Характеристика основных видов контактов, показанных разными знаками (условно: точки – песчаники, линии – алевролиты и аргиллиты):

А – резкий, между совершенно разными типами пород (при налегании грубозернистых осадков на тонкозернистые фиксирует эрозию); Б – резкий, между существенно отличающимися типами пород, но без явно выраженных следов перерыва; В – отчетливый, между близкими типами пород (часто по изменению текстуры в одном гранулометрическом типе); Г – постепенный, при плавном переходе близких типов в интервале *m*; Д – через переслаивание разных типов в интервале *m* (для породы – ритмит)

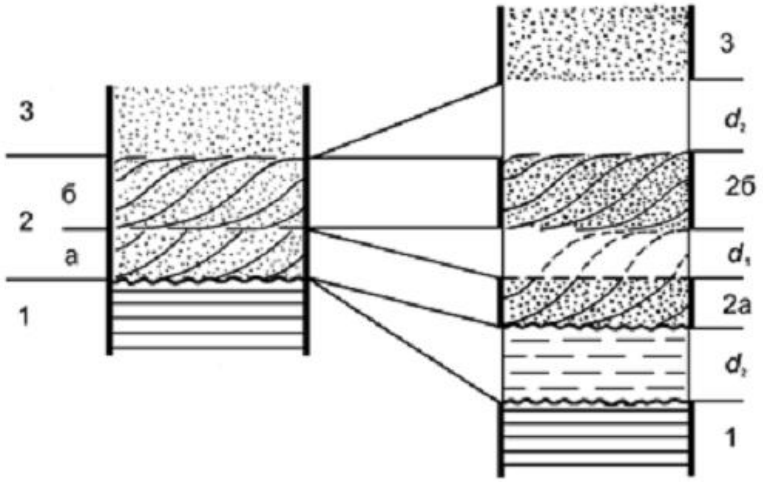


Рис. I.2.15. Схематическое изображение соотношения слоев и разделяющих их перерывов (диастем):

слева: чередование слоев: 1 – горизонтальнослоистый алевролит; 2 – косослоистый песчаник с двумя сериями слойков (а, б); 3 – массивный песчаник; справа: «развертка» во времени последовательности накопления осадков; d_1 – внутрислоевая диастема, показанная посредством «реставрации» серии косых слойков 2а в конфигурацию, аналогичной серии 2б («подбривание голов», по выражению Ю. А. Жемчужникова); d_2 – межслоевые диастемы, обусловленные размывом накопившихся перед этим слойков (контакт слоев 1 и 2; размытые слойки – штрихи на правой колонке) и отсутствием осадконакопления (контакт слоев 2 и 3)

Извлечение ненарушенного керна позволяет в ряде случаев реконструировать *процесс* или историю формирования контакта.

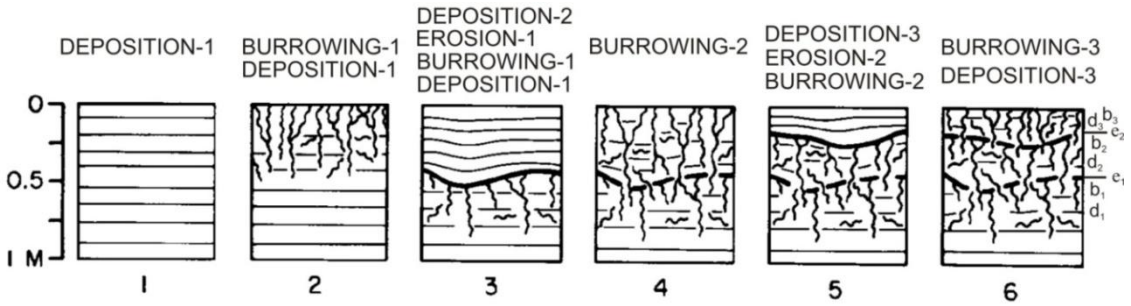


Рис. I.2.16. Наложение процессов осадконакопления (deposition – d), переработки осадков или биотурбации (burrowing – b) и эрозии (erosion – e) (R. H. Dott, 1983). Хорошо видно, что события между этапами осадконакопления и размыва 1 и 2 сильно замаскированы биотурбацией отложений

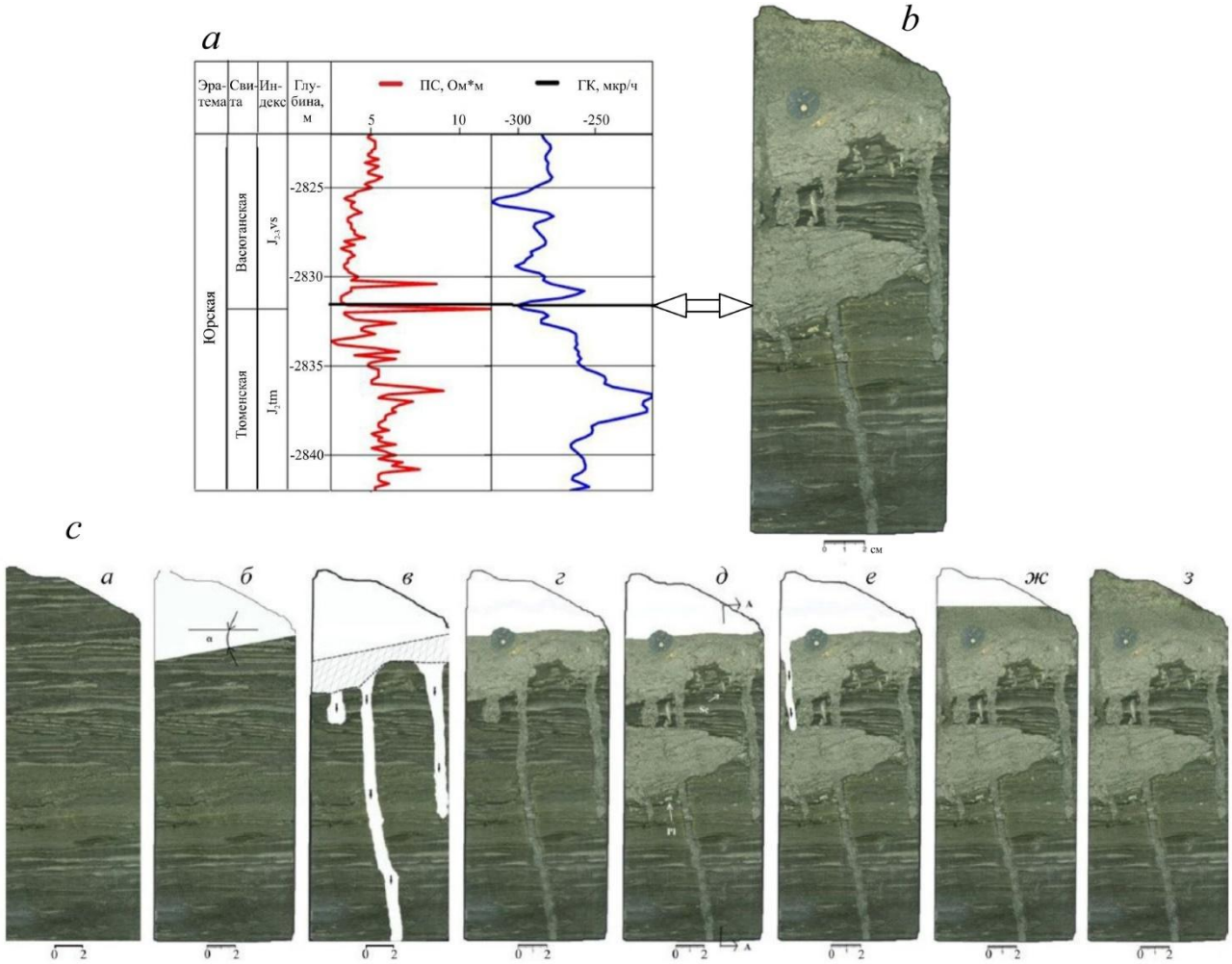


Рис. I.2.17. Реконструкция условий осадконакопления для контакта тюменской и васюганской свит (Широтное Приобье Западная Сибирь): *a* – фрагмент скважины и место отбора образца (показано стрелкой); *b* – сканированное изображение образца; *c* – этапы формирования отложений. Реконструкция А. В. Липяниной (В. П. Алексеев и др., 2016)

I.3. ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ: ИНДИКАТИВНЫЕ ПРИЗНАКИ

I.3.1. Растительные остатки

Остатки растительности (англ. plantresidues) присутствуют практически во всех терригенных породах и особенно характерны, естественно, для континентальных отложений (рис. I.3.1). Здесь они представлены полной гаммой: от хорошо сохранившихся листьев (их детальное изучение является предметом палеоботаники) до крупных стволов. Остатки растительности часто являются хорошим индикатором условий осадконакопления, при этом особенно важен не столько их видовой состав, сколько степень измельченности и сохранности.

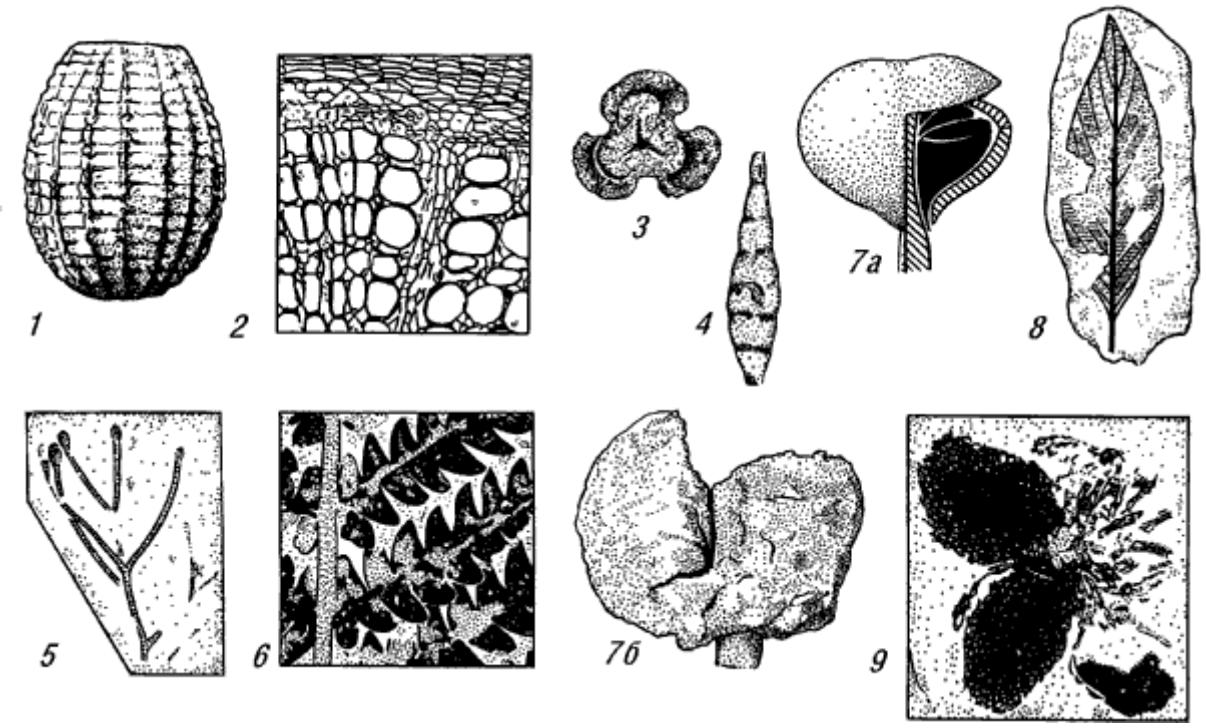


Рис. I.3.1. Остатки ископаемых растений (Ископаемые..., 1986): *1* – обызвествлённый оогоний харовой водоросли *Sycidium melo* из девона Ленинградской области; *2* – часть поперечного разреза минерализованного стебля *Sphe-nophyllum plurifoliatum* (членистостебельное; видны вторичная древесина и кора) из среднего карбона США; *3* – дисперсная спора *Tripartites vetustus,* вероятно, принадлежавшая папоротникам из нижнего карбона Англии; *4* – многоклеточная спора гриба *Diporicellaesporites sp.* из эоцена США; *5* – одно из древнейших высших растений *Steganotheca striata* из нижнего девона Южного Уэльса; *6* – отпечаток папоротника *Cladophlebis haiburnensis* из нижнего мела Буреинского бассейна; *7а, 7б* – семяносная капсула пельтаспермового голосеменного *Cardiolepis piniformis,* реконструкция (*7*в) и общий вид фитолеймы *(7б)* из верхней перми Печорского бассейна; *8* – отпечаток листа *Berhamniphyllum claibornense* (сем. крушиновых) из эоцена США; *9* – отпечаток цветка *Eoceltis dilcheri* (сем. ильмовых) из эоцена США

По *размеру* растительные остатки делятся на следующие группы (по протяженности, так как малая толщина обычно является следствием уплотнения): крупные – более 3 см, крупный детрит (лат. *detritus* – истертый) – 1-3 см, мелкий детрит – 0,5-1 см, сечка – 0,2-0,5 см, аттрит (лат. *attritus* – обтертый) – менее 0,2 см. Количество растительных остатков определяется приближенно, «на глаз», и может быть проверено как цветом черты на фарфоровой пластинке, так и определением по потере веса при сжигании (кроме высококарбонатных пород). При обилии органики (углистые породы) цвет черты темно-коричневый, буровато-черный, при большом количестве (слабоуглистые породы) светло-коричневый, буроватый. Даже весьма

небольшое количество растительной органики может придать породе очень темный, до черного цвет (черта остается светлой).

Характер органов растений определяется приближенно: стволы, ветки, стебли, корневища, корни, кора, древесина, листья – и сопровождается оценкой степени их *сохранности:* хорошая, средняя, плохая. Важную информацию несут остатки с хорошо сохранившейся ботанической структурой, прежде всего листья. Для фациальной диагностики очень важны *корневые остатки,* часто полностью изменяющие первичную структуру осадка («кучерявчики» Донбасса).

Кроме перечисленных признаков существенную информацию дает *положение* растительных остатков (равномерно по слою, концентрация в отдельных слоях, беспорядочное и т. д.).

Детальные палеофитологические исследования являются самостоятельным и часто самодостаточным методом исследования осадочных пород (М. В. Ошуркова, 1981). Одновременно с этим следует непременно учитывать, что изучение **фитоориктоценозов** (греч. phytos– растение + oryktos – ископаемый + koinos – общий), отражающих определенные условия осадконакопления, имеет большое значение не только для характеристики литологических типов пород, но и для фациальных реконструкций.

I.3.2. Ихнофоссилии и биотурбация

В последние десятилетия широкое развитие получило изучение следов жизнедеятельности организмов, определяемых как **ихнофоссилии** (греч. ichnos– след). Интенсивность их проявления в виде **биотурбации** определяется по шкале, приведенной на рис. I.3.2.

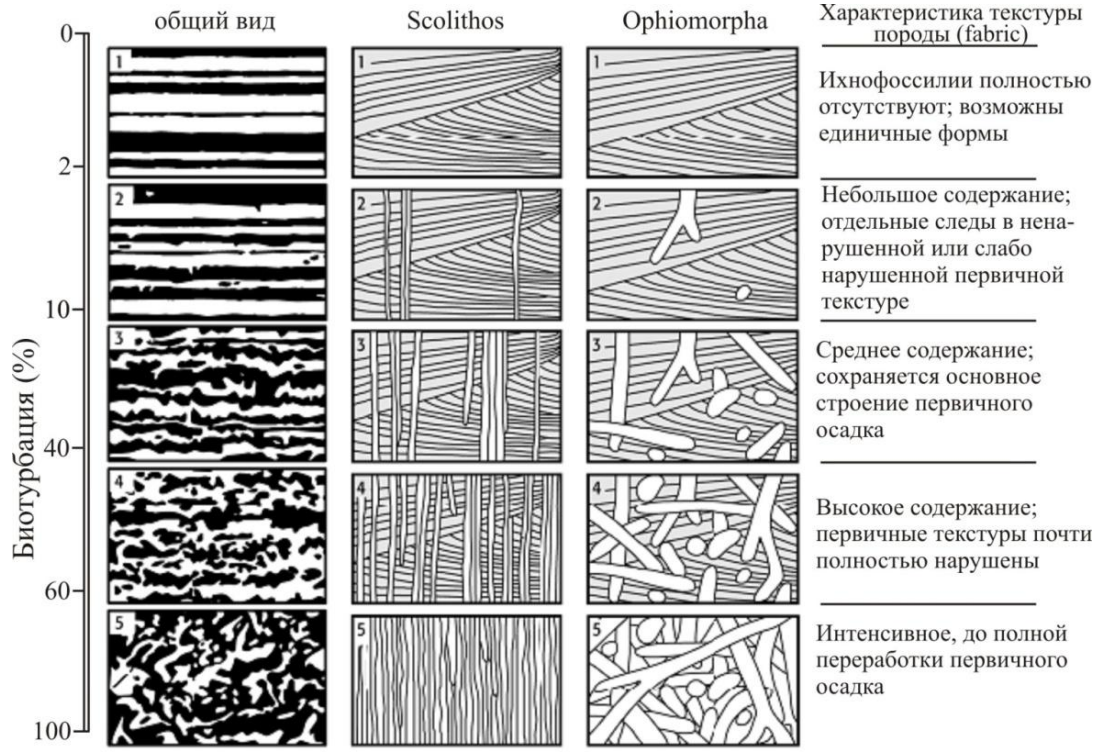


Рис. I.3.2. Ихнотекстурный индекс (ichnofabric index – ii), по Дрозер и Боттиер (Droser, Battjer, 1986): из (Р. Микулаш, А. Дронов, 2006, с. 63), с дополнениями

По комплексу ихнофоссилий устанавливаются **ихнофации**, впервые охарактеризованные А. Зейлахером в 1953 г. Более поздняя, уточненная схема приведена на рис. I.3.3. Пример изучения ихнофоссилий показа на рис. I.3.4.

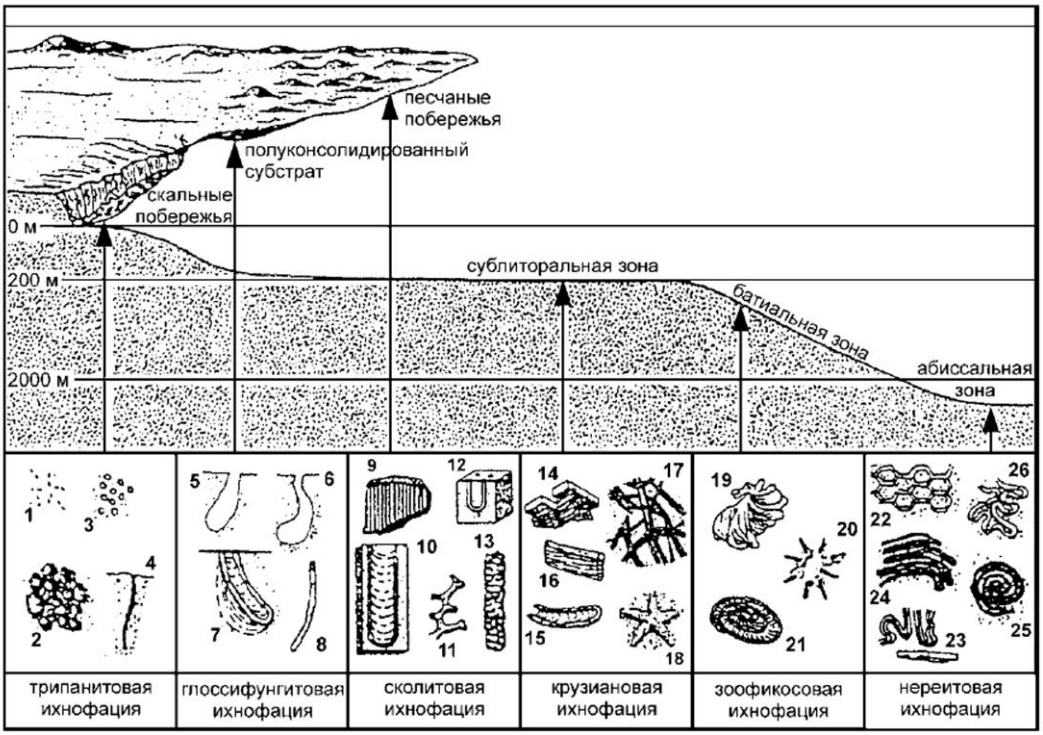


Рис. I.3.3. Схема расположения «классических» ихнофаций на идеализированном профиле (A. Seilacher, 1967; с уточнениями):

Ихнофоссилии: *1 – Caulostrepsis, 2 – Entobia, 3 – Circolites, 4 – Trypanites, 5-6 – Gastrochaenolites, 7 – Diplocraterion, 8 – Psilonichnus, 9 – Skolithos, 10 – Diplocraterion, 11 – Thalassinoides, 12 – Arenicolites, 13 – Ophiomorpha, 14 – Phycodes, 15 – Rhizocorallium, 16 – Teichichnus, 17 – Crossopodia, 18 – Asteriacites, 19 – Zoophycos, 20 – Lorenzinia, 21 – Zoophycos, 22 – Paleodictyon, 23 – Taphrhelminthopsis, 24 – Helminthoida, 25 – Spirorhaphe, 26 – Cosmorhaphe*

I.3.3. Карбонатность, конкреции и другие индикативные признаки

Среди других характеризующих породу параметров особое значение имеет *карбонатность,* нередко являющаяся весьма важным и даже определяющим признаком. Визуально карбонатность определяется прокапыванием 10 % соляной кислотой, по пятибалльной шкале: 0 – не реагирует, 1 – слабо вскипает в порошке, 2 – бурно в порошке, 3 – слабо в куске и 4 – бурно в куске. Важно не спутать бурную реакцию первично известковой породы и вторично образовавшейся *конкреции*.

Под **конкрецией** (лат. concretio – стяжение, сгущение) понимаются вторичные образования, достаточно ясно выделяемые среди основной, вмещающей породы и образующиеся за счет концентрации первично рассеянных компонентов. В терригенных породах осадочных нефтегазоносных бассейнов наиболее распространены конкреции сульфидов железа (пирит, марказит) с размерами от долей миллиметра до первых сантиметров, а также карбонатные конкреции (см. выше) в двух основных проявлениях: известковистом ($CaCO_3$) и железистом ($FeCO_3$) со всеми промежуточными вариациями. Вертикальное сечение (толщина) первых может достигать 2-3 метров; вторые – обычно ограничиваются первыми десятками сантиметров. Принципиальная схема образования конкреций приведена на рис. I.3.5.

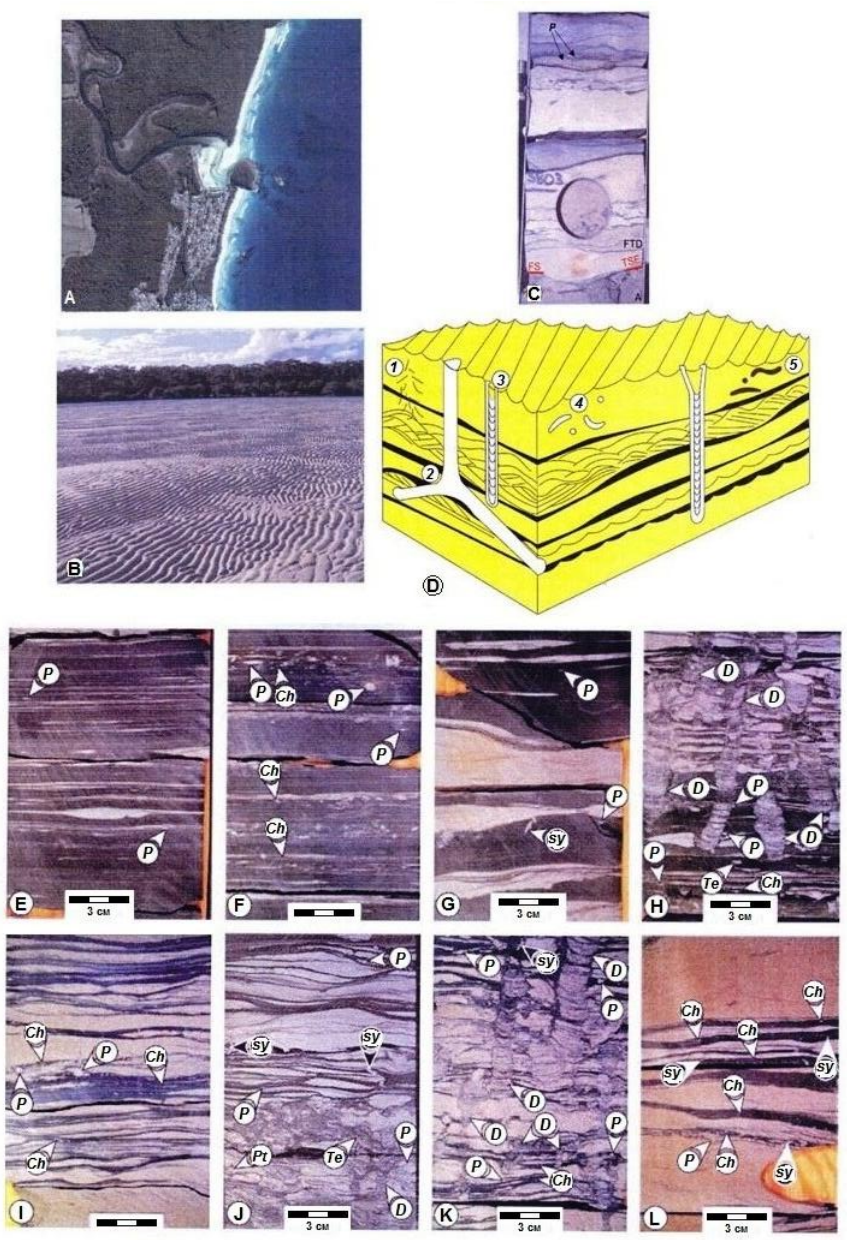


Рис. I.3.4. Ихнофоссилии в дельтовом комплексе (по Дж. Пембертону, 2004; из: О. С. Чернова, 2011, с. 70-71):

A, *B* – современный аналог активной приливной дельты в Новом Южном Уэльсе, протока Narrawallee (Австралия). Поверхность затопления (FS), трансгрессивно перекрывающая поверхность эрозии (TSE) с Palaeophycus.

C – ихнофации, характеризующие приливно-отливную дельту, представленные комплексами Cruziana/Skolithos, предпочитающими типичные жесткие воды, с изменчивым влиянием приливно-отливной энергии и морской среды: (1) следы бегства, (2) Thalassinoides, (3) Diplocraterion, (4) Palaeophycus, (5) Planolites.

F – линзовидно-слоистые аргиллиты – продельты с изолированными знаками ряби содержат редкие Planolites (P), Chondites (Ch).

G – керн с дистальной части фронта дельты – аргиллиты полосчатые со знаками нагрузки и трещинами синерезиса (sy), с редкими Planolites (P).

H – волнисто- и линзовидно-слоистое переслаивание с дистальной части фронта дельты (переход к продельте): Diplocraterion (D), Planolites (P), Teichichnus (Te), Chondrites (Ch).

I – волнистое переслаивание с удаленных частей фронта дельты с запечатанными знаками ряби (Planolites (P) и Chondrites (Ch)).

J – отложения дистальной части фронта дельты в нижней части образца интенсивно биотурбированные, характеризующие медленную и непрерывную скорость седиментации. Содержат ходы Diplocraterion (D), Teichichnus (Te), Planolites (P) and Palaeophycus tubularis (Pt). В верхней части образца видны запечатанные знаки ряби с илистыми драпировками, содержащие трещины синерезиса (sy) и Planolites (P).

K – отложения дистальных частей фронта дельты, характеризующие медленную скорость осадконакопления, на что указывают возросшая интенсивность биотурбаций и удлиненные норы Diplocraterion (D), с Planolites (P) и Chondrites (Ch). Трещины синерезиса (sy) в верхней части керна.

L – отложения фронта дельты, волнисто-слоистые, с трещинами синерезиса (sy) и темными илистыми драпировками включают: Chondrites (Ch) и Planolites (P)

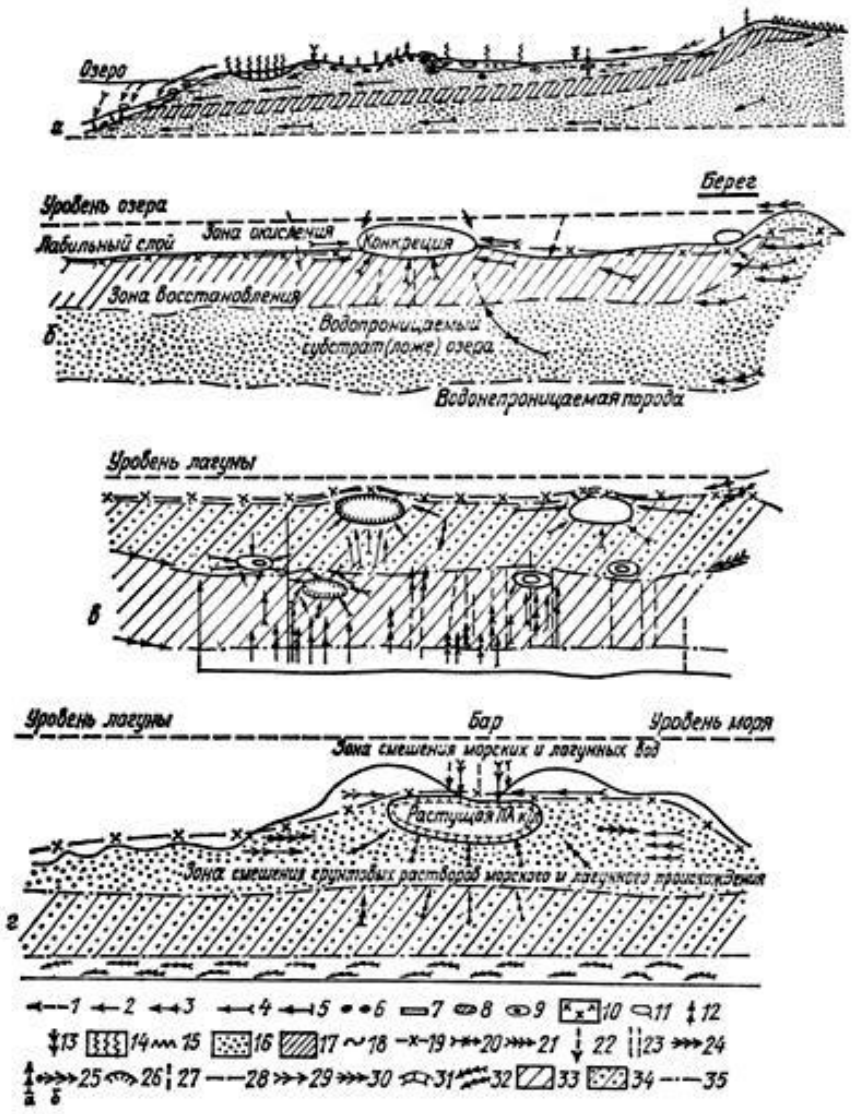


Рис. I.3.5. Схемы образования конкреций в современных гумидных фациях и в некоторых древних водоемах (Атлас конкреций, 1988): *а* – схема расположения озерных, болотных и почвенных конкреций лесной зоны и путей миграции конкрециеобразователей; *б* – предполагаемая схема некоторых условий роста современных озерных железистых конкреций; *в* – схема одного из этапов образования конкреций в глинистых донных илах Воркутской лагуны; *г* – предполагаемая схема формирования песчано-анкеритовых конкреционных линз и конкреций в баровом песке Воркутской лагуны в фазу перерыва седиментации в опресненно-лагунном цикле; *1* – направления садки солей железа из наддонной воды; *2* – пути инфильтрации грунтовых вод, относительно богатых Fe, CO_2 и HCO_3; *3* – пути потоков поверхностных вод; *4* – господствующие направления диффузии конкрециеобразователей (на *б* и *в* – Fe, на *г* – Ca, Mn, Fe); *5* – инфильтрация грунтовых болотных вод, богатых гумусом и CO_2, но бедных Fe; *6* – ортштейны; *7* – ортзанды; *8* – болотный сидерит; *9* – болотный бурый железняк; *10* – вивианит; *11* – озерные железистые конкреции; *12* – суглинки и супеси с еловым лесом; *13* – лес на песчаных, но слабодренированных почвах; *14* – низинный торфяник; *15* – верховой торфяник; *16* – водопроницаемый песчаный грунт; *17* – водонепроницаемый или слабоводопроницаемый грунт; *18* – поверхность осадка; *19* – господствующее положение окислительно-восстановительной границы; *20* – направления инфильтрации грунтовых вод через водопроницаемое ложе; *21* – направление грунтового потока в иле по уклону ложа; *22* – инфильтрация наддонных вод; *23* – корневые системы в иле, облегчающие инфильтрацию; *24* – направление диффузии и движения грунтовых вод; *25* – направление движения CO_2 и H_2S (а) и боковая инфильтрация грунтовых вод с ионами Fe, Mg и Ca (б); *26* – концентрическая зона превращения бикарбоната в карбонат и осаждения карбоната; *27* – начало образования диагенетических трещин; *28* – наддонная вода (уровень); *29* – инфильтрация смешанных лагунных и морских вод; *30* – направления инфильтрации опресненно-лагунных вод в баровые пески и диффузии иона Fe; *31* – зона выпадения конкрециеобразователя; *32* – погребенный торфяник; *33* – глинистые осадки; *34* – алеврито-глинистые осадки; *35* – контакты слоев. *Пак/л* – песчано-анкеритовая конкреционная линза (мегаконкреция)

Неравномерное уплотнение соседствующих различных по свойствам пород (например, глина – песок) может приводить к появлению трещин усыхания или **синерезиса** (греч. synairesis – сжатие, уменьшение). Их формирование хорошо видно на рис. I.3.6. Следует отметить, что при рассмотрении вертикального среза такие трещины можно легко спутать со следами жизнедеятельности ихнофоссилий. Вопрос легко разрешается при изучении поверхности наслоения (послойного среза**).**

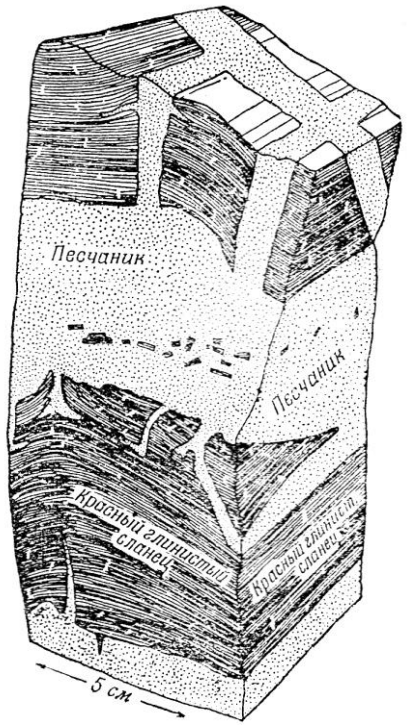


Рис. I.3.6. Трещины усыхания в пенсильванской формации Уомсутта, Массачусетс (Р. Шрок, 1950, с. 232)

Заполненные трещины не позволяют судить, находятся ли пласты в нормальном положении, но некоторые, различающиеся по форме неполные трещины являются надежным указателем кровли пласта. Боковые и находящиеся в основании флянцы песчаных заполнений представляют материал, намытый в боковые полости, которые возникли при слабом искривлении кверху слоев глинистого сланца около первоначальной трещины. В нижнем левом углу образца тонкая жилка песчаника оканчивается кверху в сланце. Главный слой песчаника содержит тонкую зону обломков глинистого сланца – свидетельство того, что одновременно с песком был отложен также тонкий слой ила; затем последний растрескался и распался, а обломки были захвачены утолщающимся слоем песка

Среди иных признаков достаточно специфичным является наличие **глауконита** и (или) **пирита**, хорошо определяемых по их характерному цвету – зеленому и металлическому желтому соответственно. Их высокое содержание обычно связывают с морскими условиями. Повышенное содержание глауконита чаще всего соотносят просто с повышенной глубиной осадконакопления; пирита – с резкой сменой обстановки, создающей геохимический барьер.

Цвет породы также относится к дополнительным признакам, поскольку для большинства терригенных пород характерна ахроматическая, от светло-серой до черной, окраска, почти исключительно зависящая от количества и степени измельченности органического материала растительного происхождения. Желтые и красно-коричневые оттенки обычно обусловлены наличием гидратов окиси железа, зеленые – его закисными соединениями; наличием хлорита, глауконита и пр.

Важным признаком является физическое состояние керна: к примеру, тонкая сланцеватость, нередко образующаяся после его хранения («дискование»); бугристый или раковистый излом и т. п. Информативны определения трещиноватости, наличие зеркал скольжения, особенно существенные при неполном выходе керна.

РАБОТА С МИКРОСКОПОМ

Большой пласт изучения осадочных пород связан с использованием традиционных оптических приборов (микроскоп, бинолупа). Они дают увеличение исходных объектов в 10-100 раз, что позволяет оценить ряд параметров исследуемых отложений.

I.4. ПЕТРОГРАФИЯ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД

I.4.1. Состав песчаников

Таблица I.4.1

Состав среднего песчаника, % (В. Н. Шванов, 1987, с. 8)

Минералы	Средний песчаник			
	по Ф. Петтиджону	по Ф. Кларку	Русской платформы (по А. Б. Ронову)	речной (по Ф. Петтиджону и др.)
Кварц	59	66,8	69,7	58
Полевые шпаты	22	11,5	15,3	22
Каолин	6	—	—	—
Хлорит	4	—	—	—
Карбонаты	6	11,1	1,8	—
Слюды	—	—	2,9	—
Окислы железа	2	1,8	—	—
Прочие, в том числе обломки пород	—	8,8	2,6	20

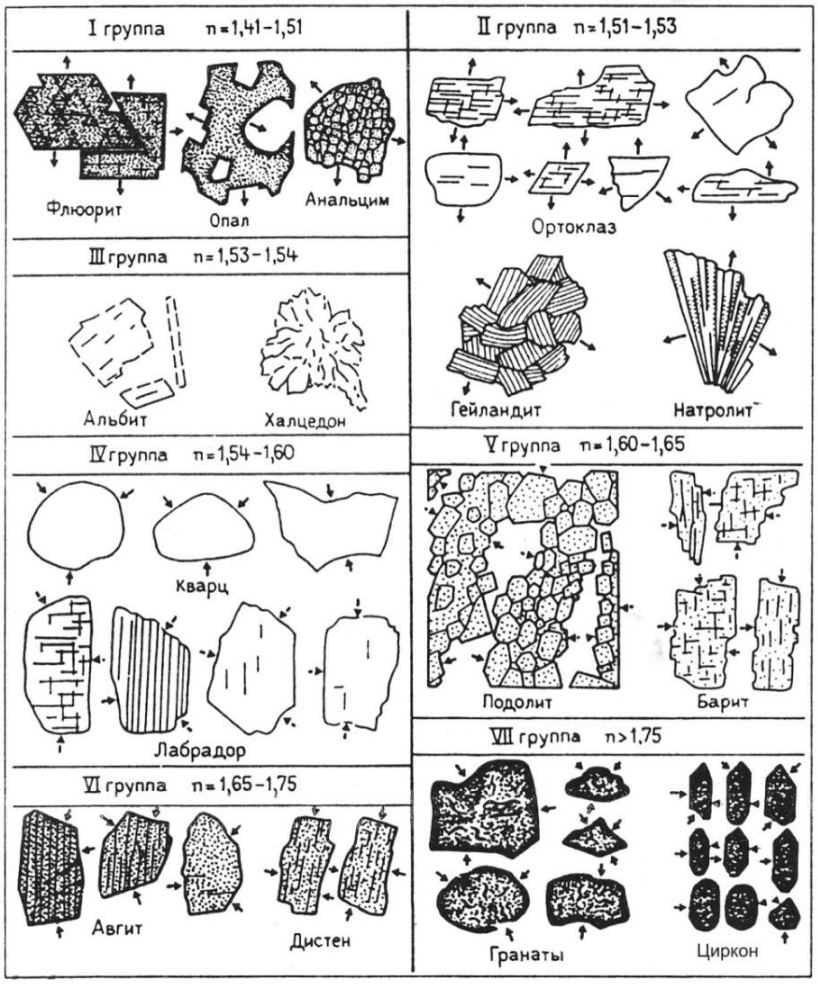


Рис. I.4.1. Изменение рельефа и шагреневой поверхности минералов в канадском бальзаме в зависимости от показателя преломления минералов (В. А. Наумов, 2016, с. 12). Стрелки указывают направление движения полоски Бекке при подъеме тубуса микроскопа. Ув. 80, без анализатора, I-VII – группы минералов

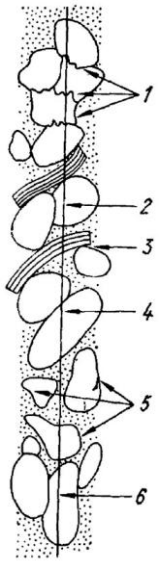


Рис. I.4.2. Пространственные соотношения и типы контактов между зернами (Ф. Петтиджон, П. Поттер, Р. Сивер, 1976, с. 92). Светлое – кварц, полоски – слюда, точки – матрикс. *1* – сутурный контакт; *2* – вогнуто-выпуклый контакт; *3* – точечный контакт; *4* – протяженный контакт; *5* – обособленные (плавающие) зерна; *6* – вогнуто-выпуклый контакт

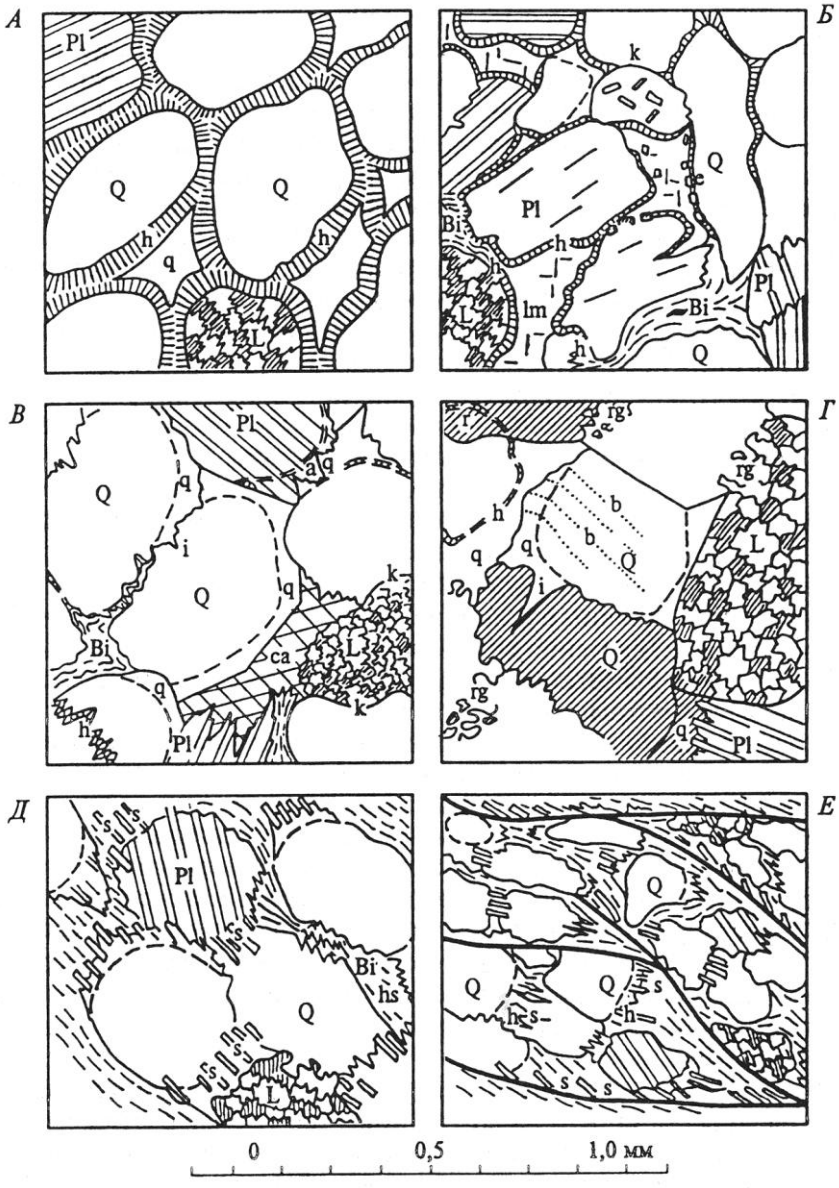


Рис. I.4.3. Зарисовки шлифов песчаников из различных зон катагенеза (*А* – слабого, или начального; *Б, В* – глубокого, или позднего) и метагенеза (*Г* – раннего; *Д, Е* – позднего) (О. В. Япаскурт, 2008а, с. 62).

Состав обломков: Q – кварц; Pl – плагиоклаз; L – литокласты; Bi – биотит.

Аутигенные образования: q – кварц (поровый и регенерационный); h – хлорит; s – гидрослюда и серицит; a – альбит; lm – ломонтит; ca – кальцит; e – эпидот.

Структуры: k – конформные; i – инкорпорационные; rg – рекристаллизационно-грануляционные бластические; b – полоски Бёма (в кварце)

I.4.2. Классификации песчаников

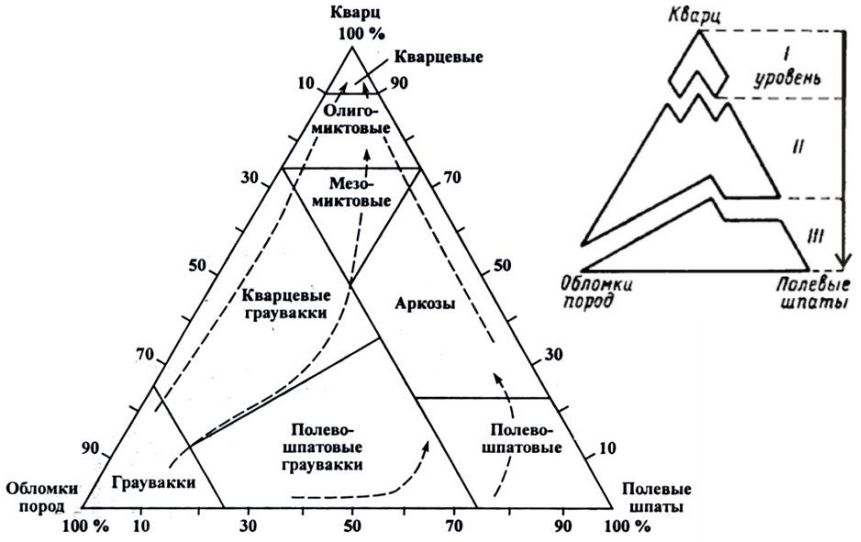


Рис. I.4.4. Отечественная классификация песчано-алевритовых пород по их минерально-петрографическому составу (В. Н. Шванов, 1987, с. 118).

Стрелками показаны направления «созревания» обломочного материала в зоне седиментогенеза

Справа вверху – тектоно-полимиктовые уровни – показатели интенсивности тектонического режима формирования осадочных пород (Граувакки, 1972б, с. 17): I – вялый режим платформ, II – разнообразные режимы платформ и складчатых областей, III – интенсивный режим в складчатых областях. Стрелка показывает возрастание интенсивности режима.

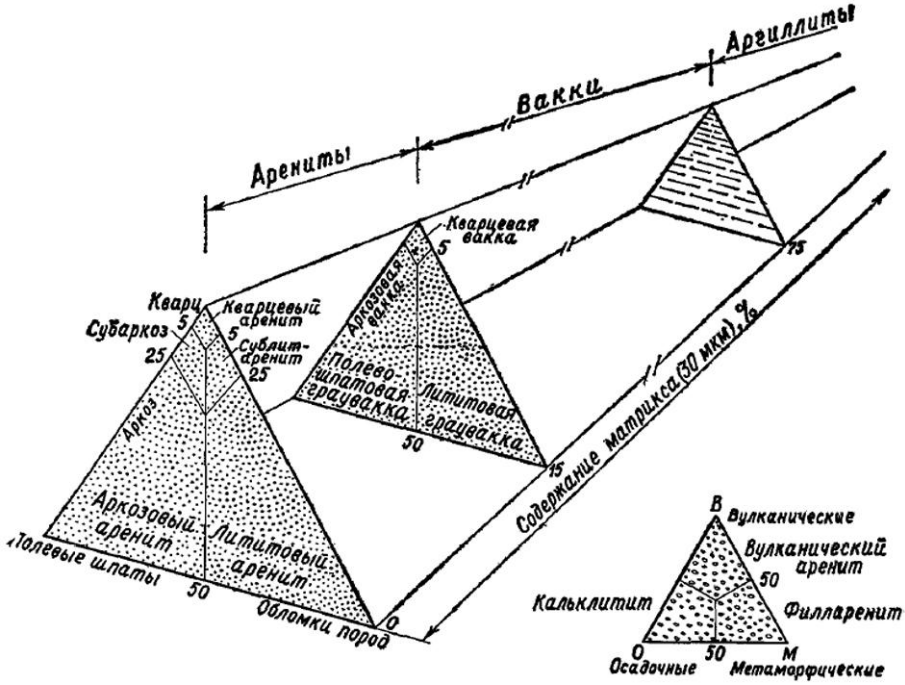


Рис. I.4.5. Зарубежная классификация терригенных песчаников (Ф. Петтиджон, П. Поттер, Р. Сивер, 1976, с. 145)

Аркоз – песчаник, образованный главным образом в результате разрушения гранита; любой полевошпатовый песчаник (полевого шпата до 25-30 % и более, и больше, чем обломков пород).

Грауваккa, как правило, песчаник с высоким содержанием обломков пород, в том числе и в матриксе.

I.4.3. Примеры песчаников и решаемых геологических задач

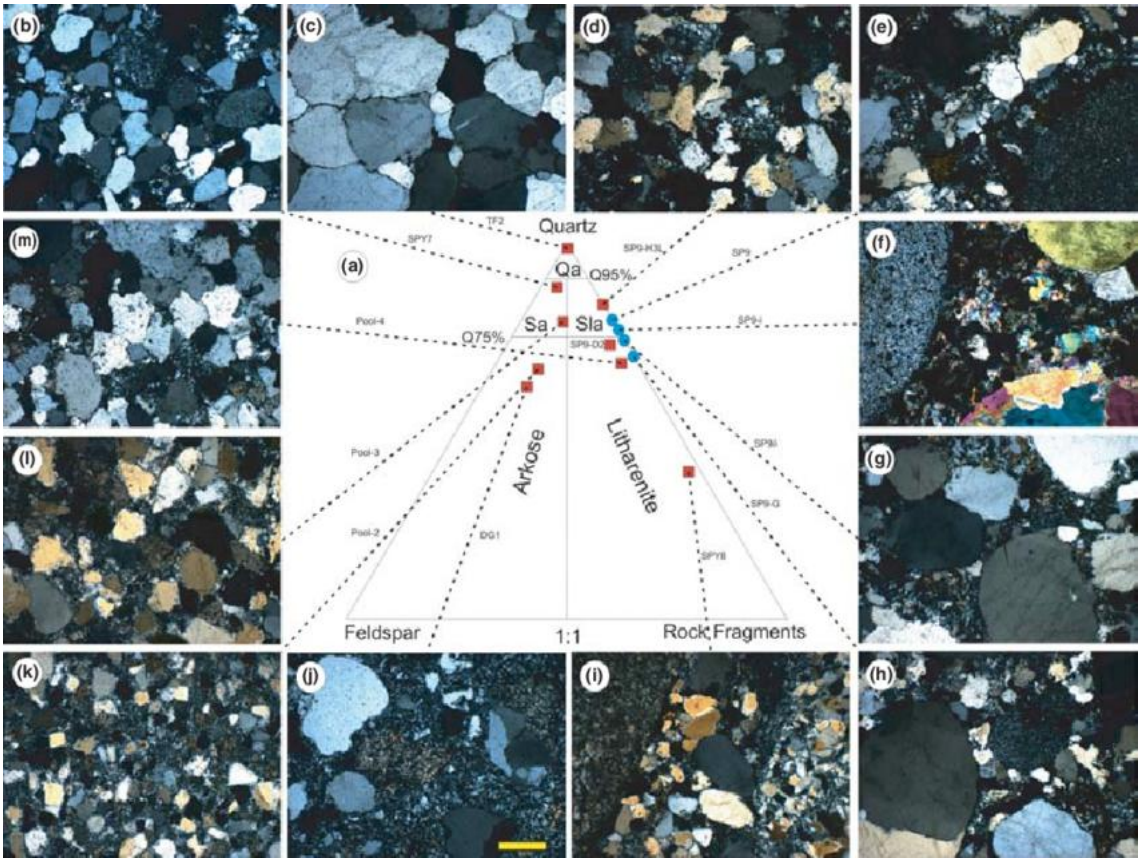


Рис. I.4.6. Аркозовые песчаники (Petrography of the SPEC. All images were taken under...)

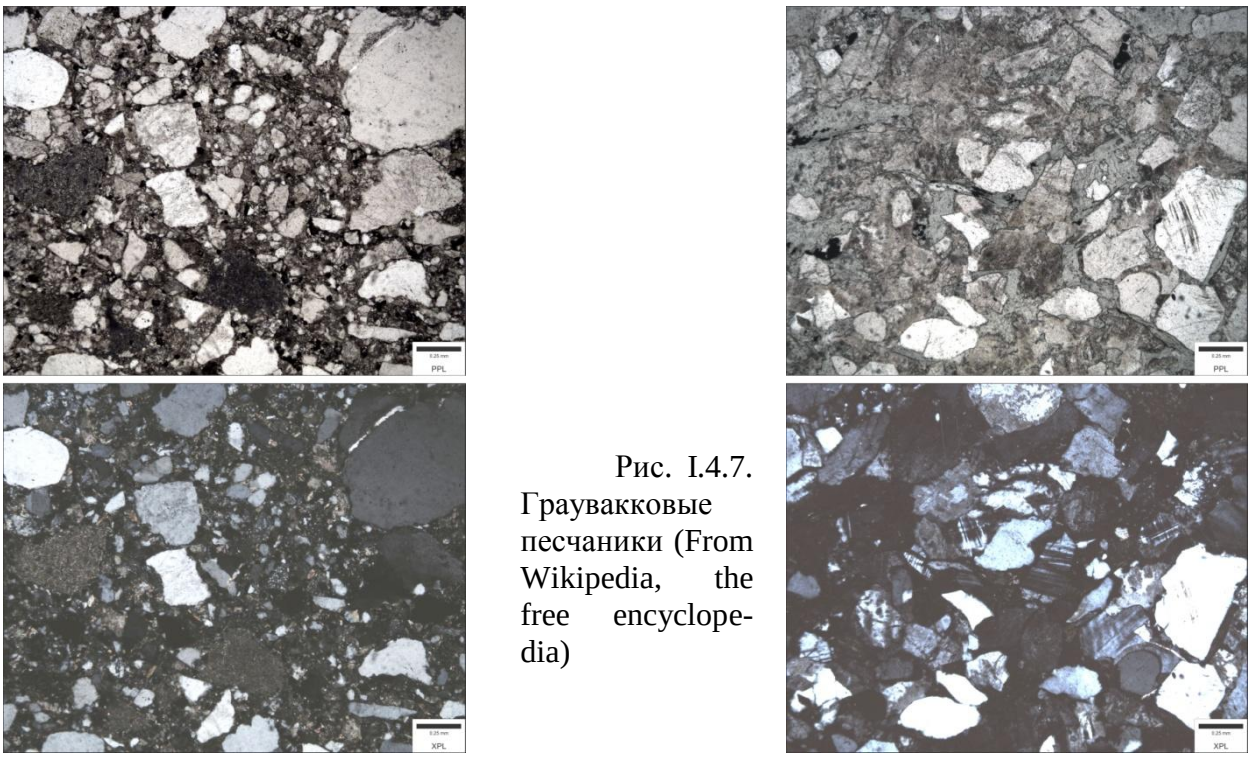


Рис. I.4.7. Граувакковые песчаники (From Wikipedia, the free encyclopedia)

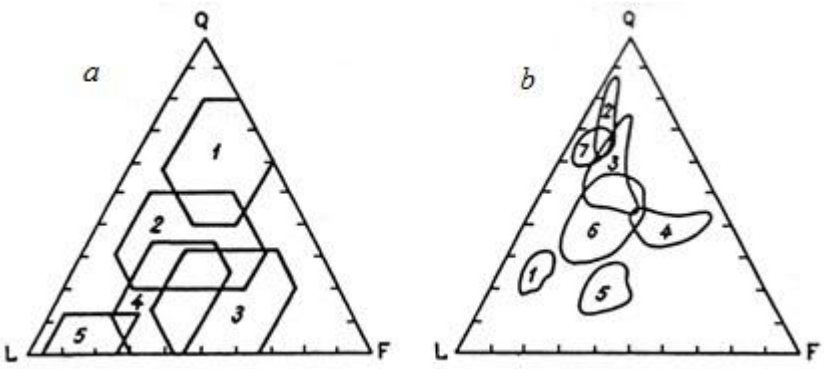


Рис. I.4.8. Классификационная диаграмма составов песчаных отложений для разных геотектонических обстановок современных бассейнов седиментации, по Maynard J.B., Vallony I.R., Ho-Shing Yu (1982) (*a*) и схема эволюции кластогенного песчаного вещества в отложениях верхоянского комплекса, по О. В. Япаскурту и В. Л. Косорукову (1995) (*b*): из (О. В. Япаскурт, 2008а, с. 255).

Цифрами обозначены поля фигуративных точек: *а*: 1 – континентальные окраины Атлантического океана, 2 и 3 – активные окраинные бассейны Тихого океана (2 – Калифорнийского и 3 – Андского типов), 4 – внутренние бассейны островодужного типа – Беринговоморский и др., 5 – внешние бассейны островодужного типа – Филиппинский и др., *б*: 1 – для отложений $D_{2\text{-}3}$, 2 – C_1, 3 – $C_{2\text{-}3}$ (низ), 4 – $C_{2\text{-}3}$ (верх), 5 – P_1, 6 – P_2 и 7 – T_3). В вершинах треугольников – 100 % содержания кварца (Q), полевых шпатов (F) и литокласт (L)

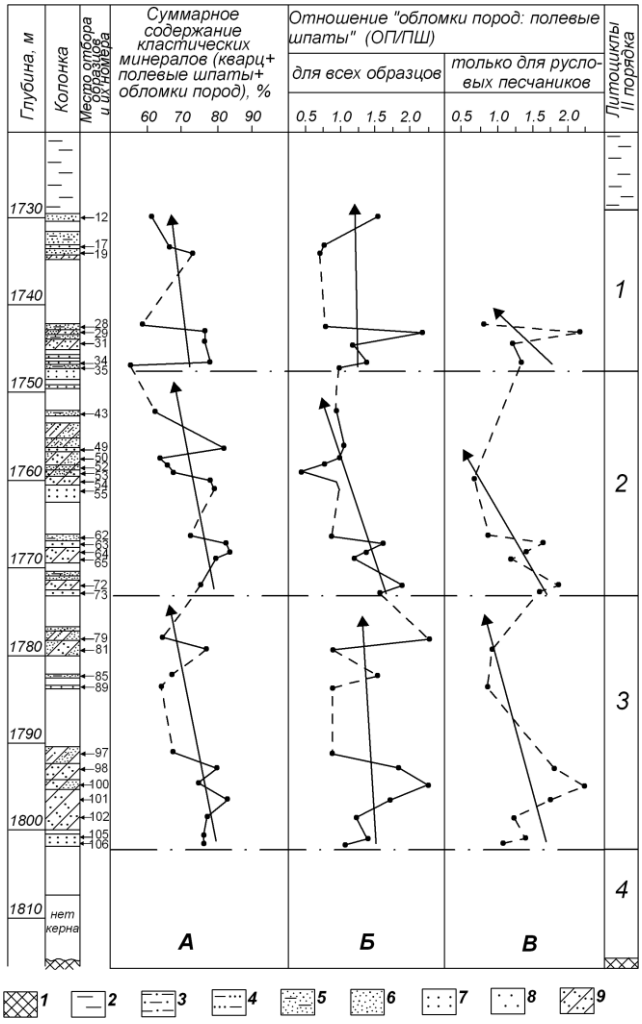


Рис. I.4.9. Песчаники в разрезе тюменской свиты по скв. 10320 Тальникового месторождения (Шаимский нефтегазоносный район, Западная Сибирь):

1 – подстилающие породы фундамента; *2* – перекрывающие отложения абалакской свиты; *3* – мелко- и *4* – крупнозернистые алевролиты;

5 – тонко-, *6* – мелко-, *7* – средне- и *8* – крупнозернистые песчаники;

9 – переслаивание разных гранулометрических типов слоями менее 0,4 м

По всем параметрам наблюдается их направленная смена, выраженная плавной сменой с последующими резкими скачками. Таковые совпадают с границами фациальных комплексов (литоциклов), выделенных при полевой документации.

I.5. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

I.5.1. Размерность частиц

Общие представления о размерности частиц, слагающих терригенные породы, приведены в п. I.2.1 «Размерность частиц» темы I.2 «Терригенные породы: конститутивные признаки». Представляется особенно важным, что данный признак может быть проверен **количественно**, то есть быть переведенным в объективную, независимую от наблюдателя (субъекта) форму.

Основным методом для гранулометрического анализа песчаников служит непосредственное измерение зерен с преобладающей размерностью 0,063 (1/16) – 2,00 мм. Оно производится посредством ситового анализа (для рыхлых или слабосцементированных пород) или в шлифах (для плотных пород). Последние в ряде случаев измельчаются (дробятся) перед выполнением замеров на ситах или под бинокуляром.

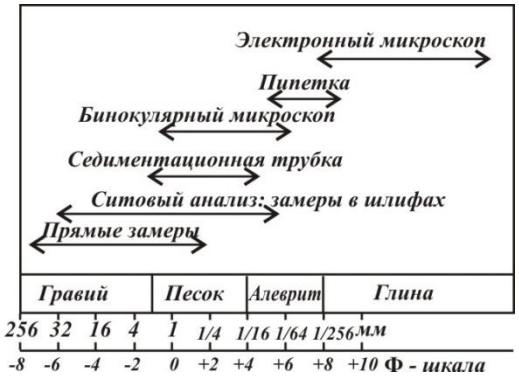


Рис. I.5.1. Границы применимости различных методов определения гранулометрического состава осадков (Ф. Петтиджон, П. Поттер, Р. Сивер, 1976, с. 71; с дополнением)

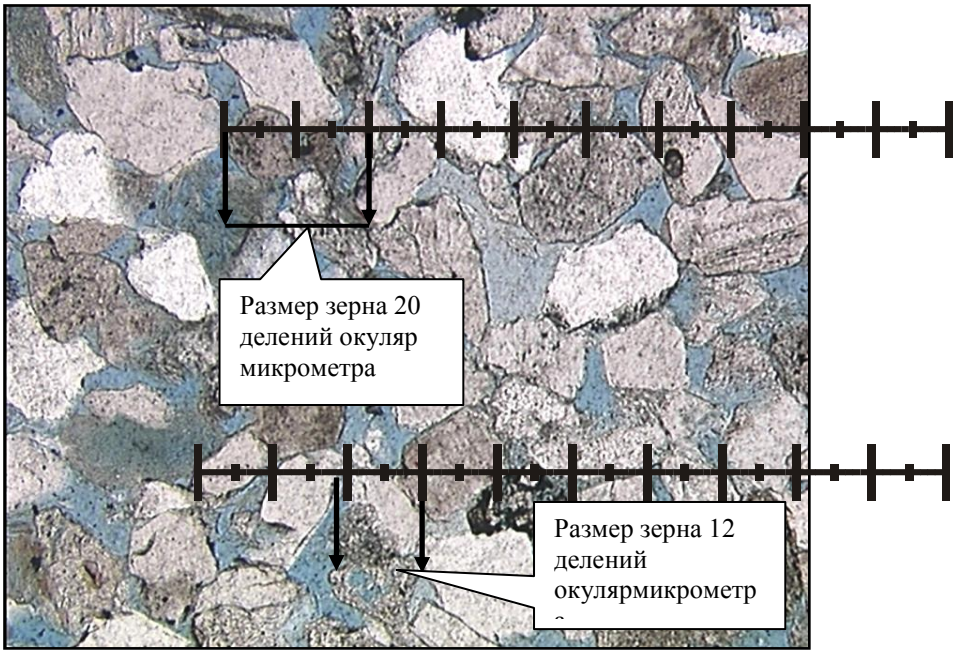


Рис. I.5.2. Измерение зерен в шлифе. Песчаник мелкозернистый алевритистый аркозовый с глинистым цементом. Поры преимущественно остаются свободными. Вид в проходящем свете. Увеличение 100×

Измерив 300-500 зерен, распределяют их по отдельным фракциям и затем высчитывают процентное содержание этих фракций.

Таблица I.5.1

Сопоставление разных шкал размерностей частиц и выделяемых типов терригенных пород

Породы по «десятичной» шкале			Шкала Батурина $\gamma = -10\log_{10}\frac{d}{d_0}$		Ф-шкала: $\varphi = -\log_2\frac{d}{d_0}$				
«простой»	с уточнением		мм	γ	мм	Ф	¼ Ф	породы	
Гравий (гравелит)					16 4	4	-4 -2	Галька (конгломерат)	
					3,36 2,83 2,38		-1,75 -1,5 -1,25	Гравий (гравелит)	
			2,000	-3	2,00	2	-1,0		
	Пески (песчаники)	грубозернистый	1,600	-2	1,68			Грубозернистый песок (песчаник)	
			1,250	-1	1,41		-0,75 -0,5		
			1,000	0	1,19 1,00	1	0,25 0,0		
крупнозернистый		крупнозернистый	0,800	1	0,84			Крупнозернистый песок (песчаник)	
			0,630	2	0,71		0,25 0,5		
			0,500	3	0,59 0,50	1/2	0,75 1,0		
среднезернистый		среднезернистый	0,400	4	0,42			Среднезернистый песок (песчаник)	
			0,315	5	0,35		1,25 1,5		
			0,250	6	0,30 0,25	1/4	1,75 2,0		
мелкозернистый		мелкозернистый	0,200	7	0,210			Мелкозернистый песок (песчаник)	
			0,160	8	0,177		2,25 2,5		
			0,125	9	0,149 0,125	1/8	2,75 3,0		
			0,100	10	0,105			Тонкозернистый песок (песчаник)	
крупнозернистый		тонкозернистый	0,080	11	0,088		3,25 3,5		
			0,063	12	0,074 0,0625	1/16	3,75 4,0		
			0,050	13	0,053		4,25	Крупнозернистый алеврит (алевролит)	
мелкозернистый	Алевриты (алевролиты)		0,040	14	0,044 0,037		4,5 4,75		
			0,031	15	0,031	1/32	5,0		
			0,025	16				Среднезернистый алеврит (алевролит)	Мелкозернистый алеврит (алевролит)
			0,020	17		1/64	6,0		
			0,016	18	0,0156				
			0,012	19				Мелкозернистый алеврит (алевролит)	
			0,010	20	0,0078	1/128	7,0		
			0,0008	21					
					0,0039	1/256	8,0	Тонкозернистый алеврит (алевролит)	
Глина (аргиллит)					0,00200 0,00098 0,00049 0,00024 0,00012 0,00006		9,0 10,0 11,0 12,0 13,0 14,0	Глина (аргиллит)	

При любых исследованиях следует использовать **только логарифмические шкалы**, как полностью удовлетворяющие природным процессам (П. Бак, 2014).

I.5.2. Сортированность (соотношение фракций)

В сжатом виде этот конститутивный признак охарактеризован в п. I.2.2, имеющем то же название. Обобщающие представления о фракционном составе песчаников приведены на рис. I.5.3.

a ***b***

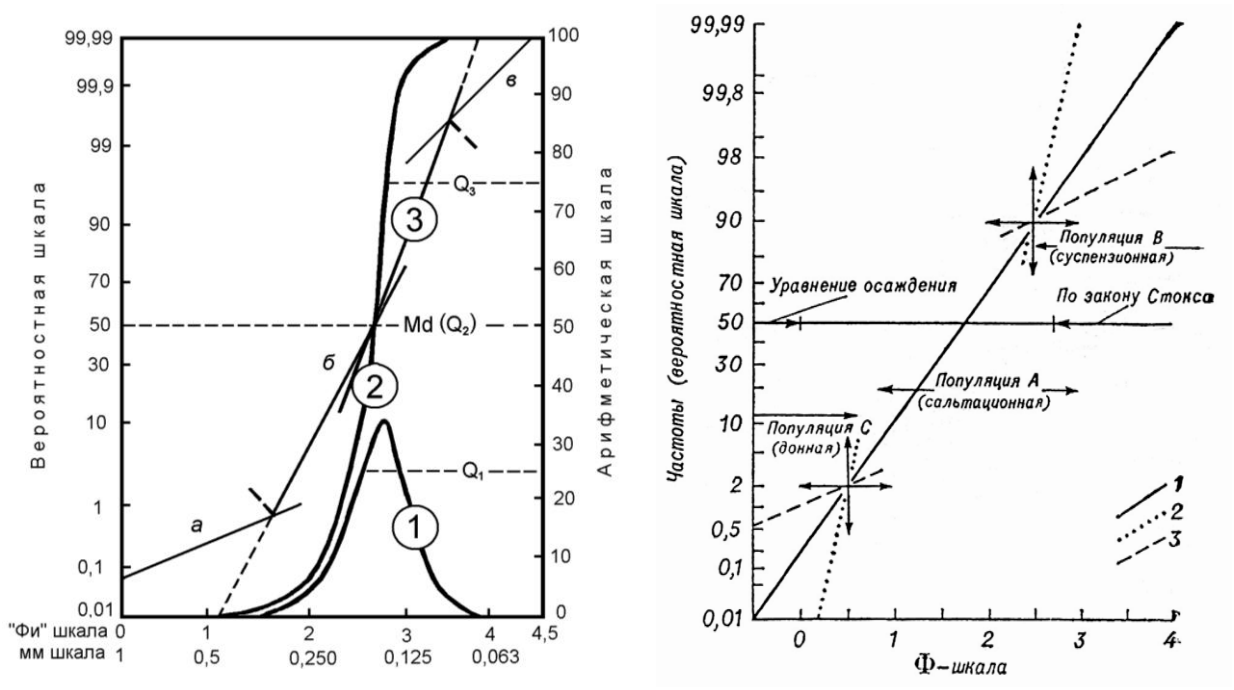


Рис. I.5.3. Распределение фракций в терригенных породах:

a – общая кривая и ее отрезки, по Дж. Вишеру (Visher, 1969): кривые: 1 – частотная; 2 – кумулятивная (наносятся по арифметической шкале); 3 – логовероятностная (наносится по логвероятностной шкале);

b – обоснование логнормальной модели распределения частиц (Sagoe, Visher, 1977); из: (Романовский, 1988, с. 165): *1* – логнормальное распределение, *2* – усеченный хвост распределения, *3* – популяция *B* или *C*

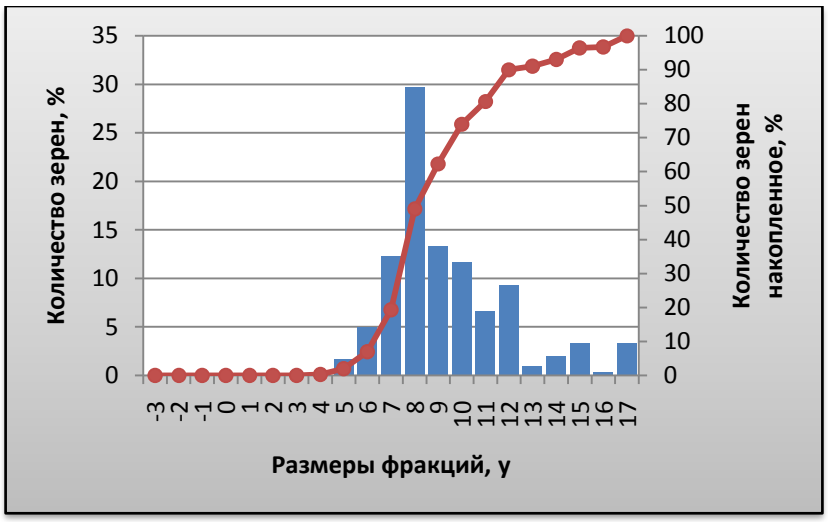


Рис. I.5.4. Гистограмма распределения зерен по фракциям и кумулятивная кривая

Таблица I.5.2

Графические и моментные параметры
(Ф. Петтиджон, П. Поттер, Р. Сивер, 1976, с. 75)

Наименование	Графическая формула	Моментная формула	Примечания
Среднее	$Me_{\varphi} = \frac{(\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84})}{3}$	Первый момент $\overline{\chi}_{\varphi} = \sum_{i=1}^{n} f_i \, m_{i\varphi}$	Все три параметра центральной тенденции отражают среднюю кинетическую энергию среды осаждения и особенности гранулометрического распределения осадков; f_i – доля от общего веса каждого гранулометрического класса, $m_i\varphi$– его среднее значение в φ- единицах
Медиана	$Md_{\varphi} = \varphi_{50}$		
Мода	M_{φ} – средняя точка наиболее обильного гранулометрического класса		
Индекс бимодальности	$Mi_{\varphi} = 1 + \frac{(\varphi_f - \varphi_c)}{2\varphi}$		Мера бимодальносги в случае ее присутствия; φ_j – средняя точка самой мелкой фракции; φ_c – средняя точка самой крупной фракции
Коэффициент сортировки	$\delta_1 = \frac{(\varphi_{84} - \varphi_{16})}{4} + \frac{(\varphi_{95} - \varphi_5)}{6.6}$	Второй момент $s_{\varphi} = [\sum_{i=1}^{n} f_i (M_{if} - \overline{\chi}_{\varphi})^2]^{1/2}$	Мера дисперсии, которая зависит от вариаций скорости и бимодальности
Асимметрия	$SK_1 = \frac{(\varphi_{84} + \varphi_{16} - 2\varphi_{50})}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{(\varphi_{95} + \varphi_5 - 2\varphi_{50})}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)}$	Третий момент $3_{\varphi} = \sum_{i=1}^{n} \frac{f_i (M_{if} - \overline{\chi}_{\varphi})^3}{S_{\varphi}^3}$	Мера асимметрии, направления выполаживающегося хвоста, который по широко распространенному мнению имеет важное значение для расшифровки условий седиментации. Асимметрия варьирует от +1.0 (положительная) через 0.0 (симметричная) до -1.0 (отрицательная)
Эксцесс	$K_G = \frac{(\varphi_{95} - \varphi_5)}{2.44(\varphi_{75} - \varphi_{25})}$	Четвертый момент $4_{\varphi} = \sum_{i=1}^{n} \frac{f_i (M_{if} - \overline{\chi}_{\varphi})^{43}}{S_{\varphi}^4}$	Мера остроконечности графика. Графической мерой является отношение коэффициента сортировки с центром при 90 % к коэффициенту сортировки с центром при 50 %. Ко = 1.0 для нормальной кривой. Ко > 1.0 для остроконечной кривой, Ко < 1.0 для уплощенной кривой распределения

Основными величинами, определяемыми при гранулометрическом анализе (рис. I.5.5), являются:

$x_{ср}$ – средний размер частиц, являющийся важнейшим гранулометрическим параметром. Он хорошо фиксирует положение эмпирического распределения состава на шкале размерностей и характеризует гидродинамический режим среды седиментации. В качестве $x_{ср}$ обычно выбирается медиана;

Md – медиана, делящая совокупность пополам;

Mo (мода) – средняя точка наиболее распространенного гранулометрического класса;

σ – коэффициент сортировки, характеризующий однородность материала (чем меньше значение σ, тем лучше сортированность породы). Для оценки сортировки частиц по фракциям применяются также стандартное отклонение, квантильные коэффициенты (S_0), коэффициент вариации (V) и относительная энтропия (H_r). Следует рассчитывать методом моментов, что особенно важно при бимодальном или полимодальном распределении частиц (рис. I.5.6);

A – коэффициент асимметрии;

E – эксцесс, мера остроконечности графика.

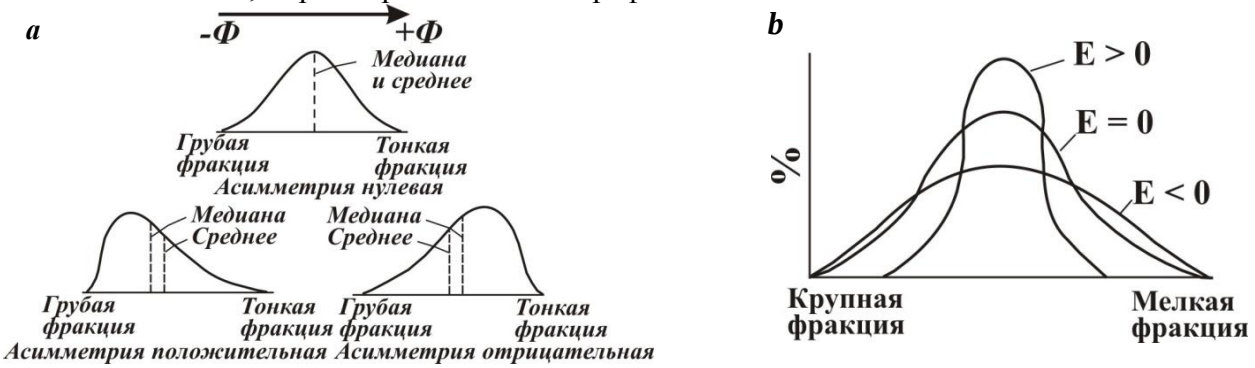


Рис. I.5.5. Основные характеристики распределения частиц при гранулометрическом анализе

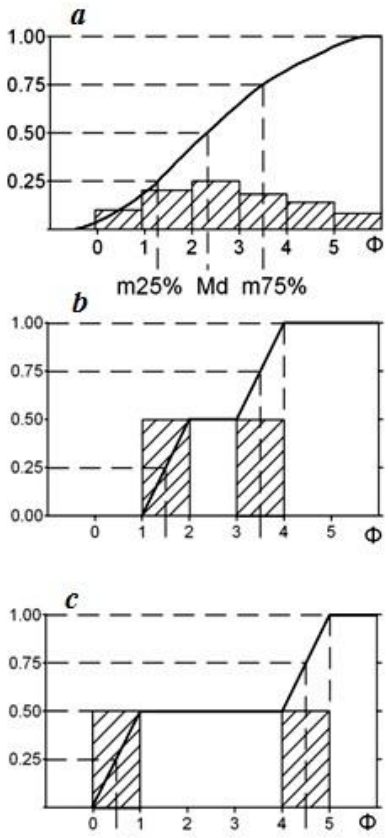


Рис. I.5.6. Различное распределение частиц по фракциям, приводящее к неверной оценке сортировки осадка с помощью коэффициента Траска, определяемого как соотношение квартилей с большим и меньшим размером частиц – Q_{25}/Q_{75}:

a – одномодальное распределение плохо сортированного песчаника (σ = 3);

b – наличие в породе двух, близких по размеру фракций разных популяций. При их идеальной сортировке по отдельности значение σ примерно соответствует случаю «*а*» (σ ~ 3);

c – то же, что и в случае «*б*», но с явно не оправданным завышением коэффициента Траска (σ ~ 15)

I.5.3. Интерпретация режимов седиментации

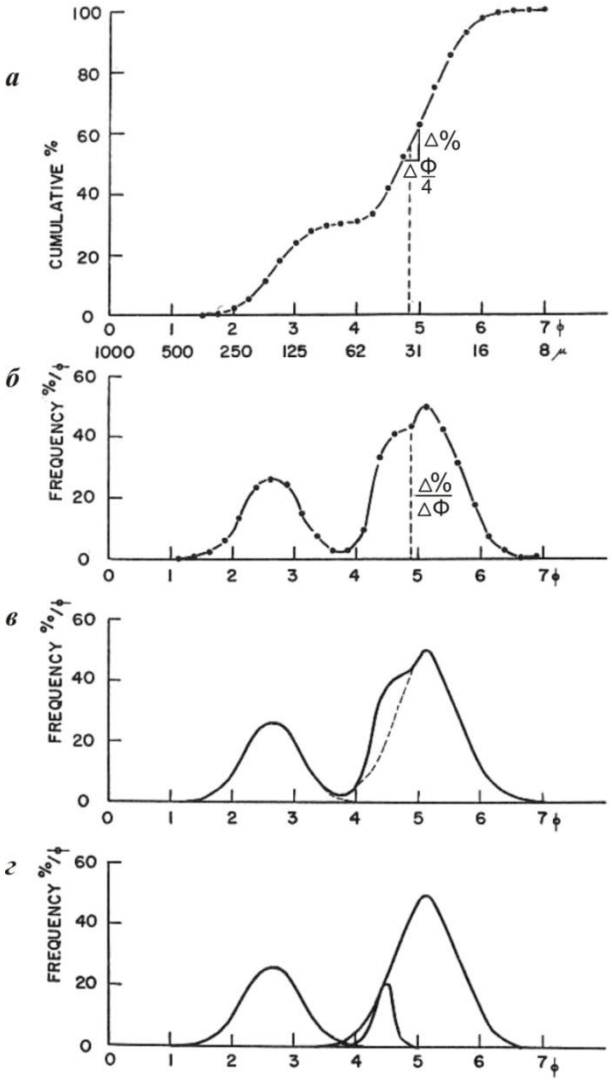


Рис. I.5.7. Построение кривой распределения и разложение полимодальной кривой распределения на отдельные компоненты (J. R. Curray, 1960; Н. М. Арутюнова, С. Г. Саркисян, 1969):

а – построение кумулятивной кривой, большой катет треугольника соответствует Δ%, а малый – $\Delta\frac{\Phi}{4}$; ***б*** – построение кривой распределения как производной кумулятивной кривой, пунктиром показана величина отношения Δ% к ΔΦ; ***в*** – первый шаг в расчленении полимодальной кривой распределения на компоненты распределения (полагая, что каждое из них является приблизительно логарифмически-нормальным); ***г*** – результирующие сложные распределения (полагая, что они являются симметричными и приблизительно нормальными)

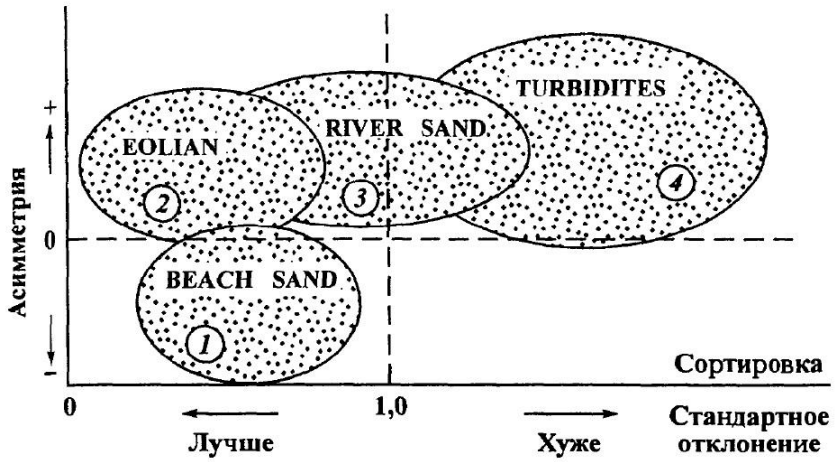


Рис. I.5.8. Соотношение отсортированности (среднеквадратичное, или стандартное, отклонение) и асимметрии в обломочных отложениях различных обстановок (по К. Бьёрликке, 1989; из: В. Г. Кузнецов, 2007, с. 243)

Отложения: *1* – пляжевые; *2* – эоловые; *3* – речные; 4 – турбидиты

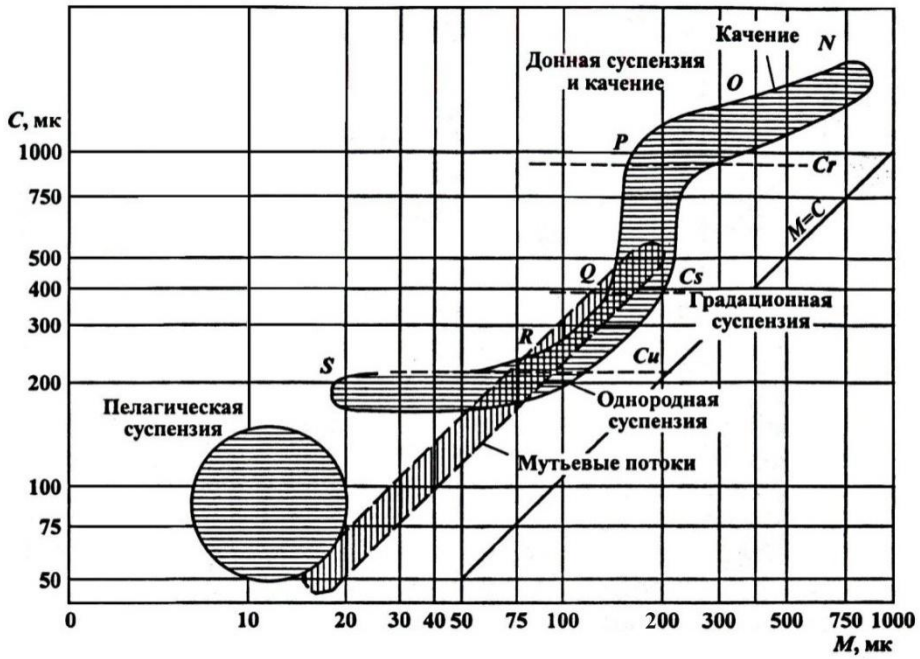


Рис. I.5.9. Диаграмма *CM* Р. Пассега для определения способа переноса осадков в водной среде: *C* – 1%-ный квантиль, характеризующий максимальную грузоподъемность потока; *M* – 50%-ный квантиль (медианный размер)

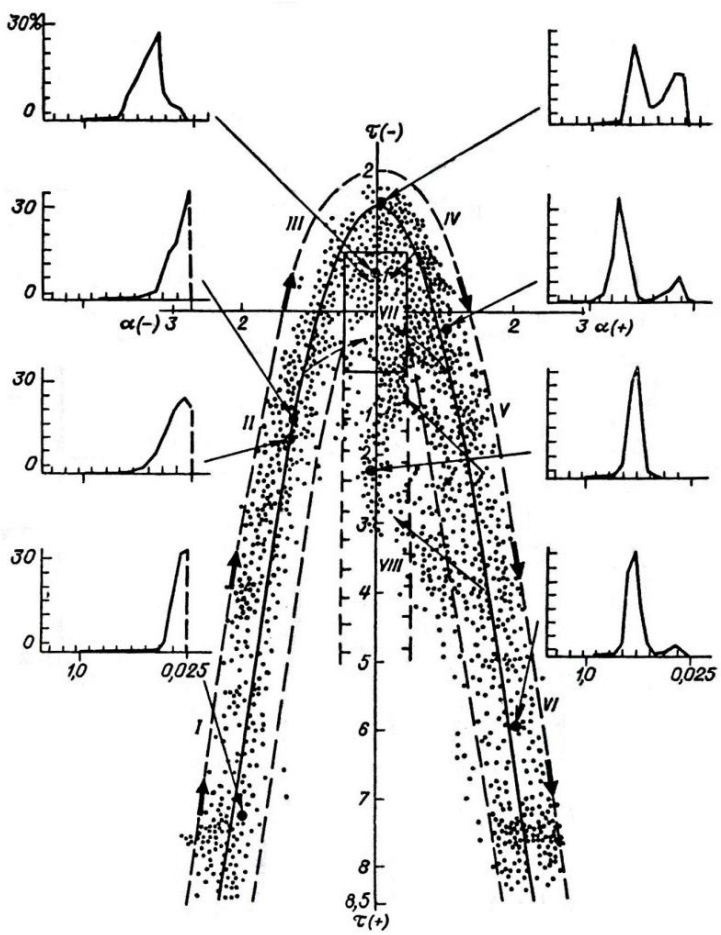


Рис. I.5.10. Динамогенетическая диаграмма Г. Ф. Рожкова (Методы палеогеографических ..., 1984, с. 62):

распределение точек-проб современных осадков различных фаций по значениям асимметрии и эксцесса по косвенному счету зерен:

I – застойные донные участки; II – донные течения или мутьевые потоки; III – континентальные речные фации; IV – сильные речные или вдольбереговые течения; V – выход волн на мелководье, накат; VI – побережье, сильный накат; VII – эоловая переработка речных осадков; VIII – выход волн на мелководье; α – асимметрия; τ – эксцесс

I.6. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

I.6.1. Выделение фракций и определение минералов

Рис. I.6.1. Последовательность выделения фракций (Методы изучения..., 1957. Т. 1, с. 371; с сокращениями)

Иммерсионный метод (лат. immersio – погружение) – определение показателей преломления (n) для изучаемых зерен. В основе метода лежит образование «*полоски Бекке*». При небольшом подъеме тубуса эта полоска движется в сторону вещества с более высоким n, при опускании – в обратную сторону. Используется стандартный набор из 98 жидкостей (от 1,408 до 1,780).

Группа	Показатели преломления	Рельеф	Шагреневая поверхность	Полоска Бекке при подъеме тубуса или при опускании столика микроскопа перемещается
I	< 1,51	Ясный	Отчетливая	На бальзам
II	1,51-1,53	Слабый	Отсутствует или слабая	На бальзам
III	1,53-1,54	Отсутствует		Не ясно
IV	1,54-1,60	Слабый	Отсутствует или слабая	На минерал
V	1,60-1,65	Ясный	Отчетливая	На минерал
VI	1,65-1,75	Резкий	Резкая	На минерал
VII	> 1,75	Очень резкий	Очень резкая	Не улавливается

Рис. I.6.2. Характеристика минералов (по В. Н. Лодочникову) относительно бальзама с n = 1,537

Таблица I.6.1

Сводная таблица минералов по фракциям (М. Н. Чуева, 1960, с. 172-173)

Фракции	Прозрачность минералов	Группы минералов							
		Самородные элементы	Сульфиды, сульфосоли и арсениды	Галоиды и окислы	Гидроокислы	Силикаты	Титанаты, титано-силикаты, танталониобаты	Карбонаты и сульфаты	Фосфаты, вольфраматы, молибдаты, арсенаты
Магнитная	Непрозрачные	Железо Магнитная платина Магнитное золото	Кубанит Пирротин	Магнетит Титано-магнетит					
Электромагнитная	Непрозрачные			Гематит Ильменит Лимонит Пиролюзит Хромит	Лимонит Псиломелан-вад		Колумбит—танталит		Вольфрамит Ферберит
	Прозрачные			Шпинель		Амфиболы Гельвин Гранаты Оливин Ортит Пироксены Ставролит Турмалин Эпидот	Астрофиллит Лампрофиллит Сфен Перовскит Пирохлор	Сидерит Ярозит	Гюбнерит Ксенотим Монацит
Тяжелая неэлектромагнитная	Непрозрачные	Висмут Золото Медь Олово Осмистый иридий Платина Свинец Серебро	Антимонит Арсенопирит Борнит Буланжерит Висмутин Галенит Кобальтин Ковеллин Марказит Молибденит Сперрилит Станнин Пентландит Пирит Тетрадимит Тетраэдрит Халькозин Халькопирит	Тенорит					
	Прозрачные	Алмаз	Аурипигмент Киноварь Реальгар Сфалерит	Кераргирит Флюорит Анатаз Брукит Валентинит Касситерит Кермезит Корунд Куприт Рутил Тунгстит Шпинель		Андалузит Волластонит Кианит Родонит Силлиманит Сподумен Топаз Тремолит Циркон		Азурит Базобисмутит Малахит Родохрозит Смитсонит Церуссит Ангидрит Англезит Барит	Апатит Ванадинит Вульфенит Пироморфит Повеллит Скородит Шеелит Штольцит Эритрин
Легкая	Непрозрачные	Графит							
	Прозрачные	Сера		Кварц		Берилл Гарниерит Полевые шпаты Слюды Хлориты Хризоколла		Алунит Гипс Доломит Кальцит	

I.6.2. Тяжелая фракция и терригенно-минеральные коэффициенты

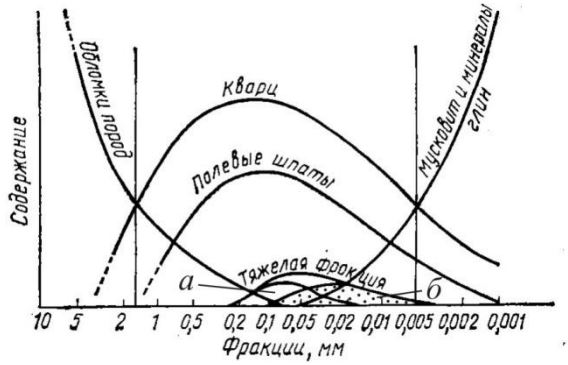


Рис. I.6.3. Схема соотношений между гранулометрическим и минералогическим составом в современных морских осадках (по Н. М. Страхову):

а – более легкие и твердые минералы (турмалин, эпидот, ставролит);

б (крап) – более тяжелые и мягкие (циркон, руды, апатит)

Рис. I.6.4. Схема соотношения объемов понятий: терригенные минералы, тяжелые минералы и акцессорные минералы (М. Г. Бергер, 1986, с. 12)

Минералы: *A* – терригенные; *B* – тяжелые, *C* – акцессорные; *1* – породообразующие терригенные минералы легкой фракции; *2* – породообразующие терригенные минералы тяжелой фракции; *3* – акцессорные терригенные минералы легкой фракции; *4* – акцессорные терригенные минералы тяжелой фракции; *5* – породообразующие аутигенные минералы тяжелой фракции; *6* – акцессорные аутигенные минералы тяжелой фракции; *7* – акцессорные аутигенные минералы легкой фракции

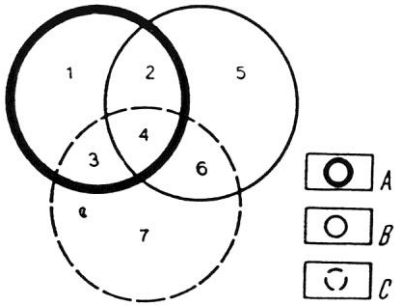


Таблица I.6.2

Классификация терригенных минералов тяжелой фракции (М. Г. Бергер, 1986, с. 210)

Химическая устойчивость (в условиях поверхностного выветривания)	Гидроаэродинамическая устойчивость		
	высокая	средняя	низкая
Высокая	I группа Циркон Рутил Ильменит+ +лейкоксен (частично) Хромит (хромшпинелиды) Монацит Ксенотим	II группа Лейкоксен (частично) Анатаз Брукит Шпинель (алюмошпинели) Ставролит Кианит	III группа Турмалин Силлиманит Андалузит
Средняя	IV группа Альмандин	V группа Пироп Титанит (частично)	VI группа Титанит (частично) Эпидот Цоизит Клиноцоизит Апатит (?)
Низкая	VII группа Магнетит	VIII группа Гранаты-уграндиты Некоторые пироксены (существенно железистые ортопироксены и др.)	IX группа Биотит Амфиболы Большинство пироксенов (диопсид, авгит, энстатит и др.) Оливин (основная часть)

Основной закон терригенной минералогии (М. Г. Бергер, 2009, с. 51): сходство или различие в поведении и эволюции различных терригенных минералов ***в одних и тех же условиях протекания осадочного процесса*** *определяются, главным образом, химической и гидроаэродинамической устойчивостью минералов.*

При использовании результатов минералогического анализа целесообразно использовать не содержания тех или иных минералов, а их соотношения: **терригенно-минеральные коэффициенты (ТМК)**. Их преимущества: 1) результаты могут применяться при сравнении анализов, выполненных по несколько разным методикам, так как отношения минералов остаются независимо от этого постоянными; 2) поскольку содержания минералов измеряются в замкнутой системе (100 %), привнос или разрушение какого-либо одного минерала искажает содержания других минералов, в то время как их отношения (коэффициенты) остаются постоянными (Методы палеогеографических ..., 1984).

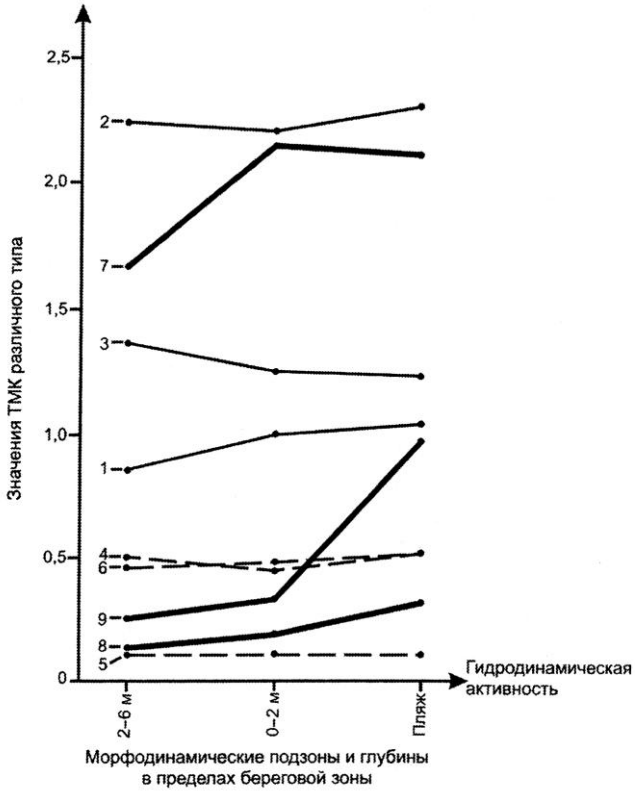


Рис. I.6.5. Значения терригенно-минералогических коэффициентов (ТМК) различного типа для современных отложений различных морфодинамических подзон морского дна дельты Нила (М. Г. Бергер, 2009, с. 161)

Терригенно-минеральные коэффициенты (ТМК):

• *петрофондовые* (источников сноса) – циркон/рутил (1), пироксены/амфиболы (2), ставролит/кианит (3);

• *тектоно-климатические* (химического выветривания) – турмалин/апатит (4), ставролит/гранат (5), эпидот-цоизит/амфиболы (6);

• *фациально-динамические* (гидродинамической активности) – циркон/турмалин (7), гранат/амфиболы (8), гранат/биотит (9)

Петрофондовые ТМК отражают соотношение близких минералов. Тем самым при их постоянстве можно судить о тождественности источников сноса (петрофонда). Изменения же, скорее всего, отражают смену в составе пород петрофонда. Группы I, V, IX в табл. I.6.2.

Тектоно-климатические ТМК определяются соотношением химически устойчивых минералов к химически неустойчивым, при их гидроаэродинамической эквивалентности (эквистабильность). Тем самым они являются индикаторными при палеоклиматических реконструкциях (увеличиваясь при деструкции химически неустойчивых минералов в зоне выветривания и пр.). Соотношение групп I/VII, II/VIII, III/IX в табл. I.6.2.

Гидроаэродинамические ТМК фиксируют относительное повышение «физически» устойчивых минералов, при их близкой устойчивости в химическом отношении. Соотношение групп I/III, IV/VI, VII/IX в табл. I.6.2.

I.6.2. Терригенно-минералогические ассоциации и провинции

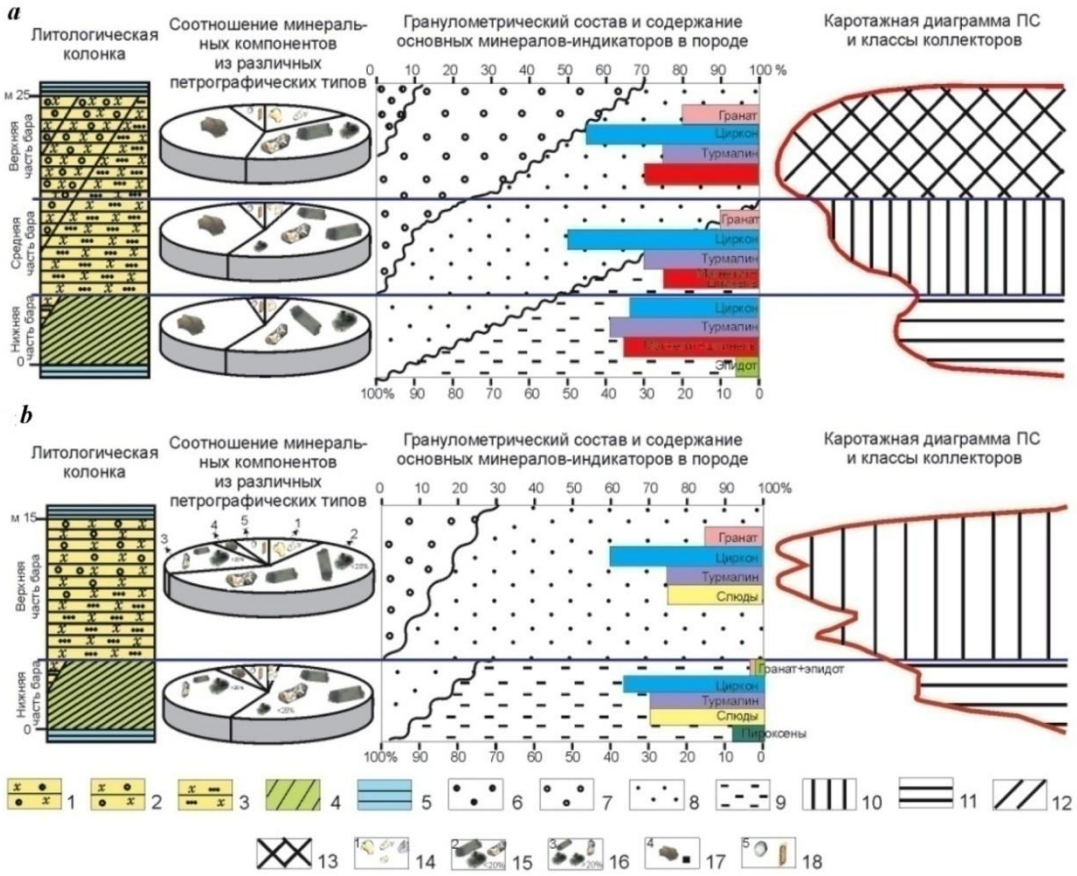


Рис. I.6.6. Терригенно-минералогическая модель прибрежного бара: ***a*** – Каймысовский свод, ***b*** – Сургутский свод (Л. С. Чернова, Н. А. Иванова, 2011):

песчаник: *1* – крупнозернистый, *2* – среднезернистый, *3* – мелкозернистый, *4* – алевролит, *5* – аргиллит; фракция: *6* – крупнозернистая, *7* – среднезернистая, *8* – мелкозернистая, *9* – алевритовая; класс коллекторов: *10* – IV, *11* – V-VI, *12* – IV-V, *13* – II-III; петрографические типы *14* – метаморфический (минералы: гранат, эпидот), *15* – гранитоидный с содержанием слюд до 20 % (минералы: турмалин, циркон, слюды), *16* – гранитоидный с содержанием слюд больше 20 % (минералы: турмалин, циркон, слюды), *17* – базитовый (минералы: шпинель, магнетит), *18* – осадочный (минералы: хорошо окатанные циркон, рутил)

Таблица I.6.3

Зависимость ассоциаций минералов в осадочных породах от состава пород в областях сноса
(Методы палеогеографических ..., 1984, с. 96)

Породы питающих провинций	Характерные ассоциации минералов осадочных пород	
	Породообразующие минералы	Акцессорные минералы
Магматические кислого состава (граниты, гранодиориты)	Кварц, полевые шпаты (микроклин, ортоклаз, кислый плагиоклаз), мусковит	Циркон, турмалин, апатит, монацит, биотит
Магматические основного состава (габбро, диабазы, базальты)	Обломки пород, основные плагиоклазы	Ильменит, лейкоксен, сфен, рутил, пироксены, амфиболы, минералы группы эпидота
Магматические ультраосновные (пироксениты, перидотиты, дуниты)	То же	Ильменит, магнетит, лейкоксен, пироксены, амфиболы, сфен, пикотит, хромит
Метаморфические (гнейсы, кристаллические сланцы)	Кварц, значительная часть которого имеет волнистое погасание и мозаичное строение	Дистен, ставролит, силлиманит, андалузит, гранаты, хлорит
Осадочные (древние или формировавшиеся в обстановке интенсивного выветривания)	Преимущественно кварц, в основном хорошо окатанный	Циркон, турмалин, рутил (зерна в основном хорошо окатанные)

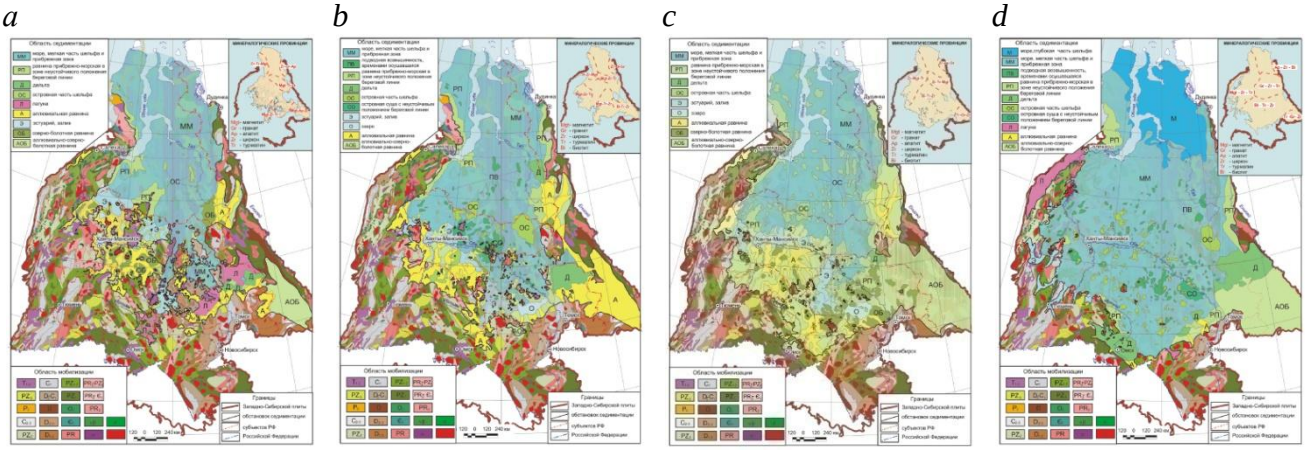


Рис. I.6.7. Минералогические провинции для отложений юрских горизонтов Западной Сибири: *a* – шараповского, *b* – надояхского, *c* – вымского, *d* – малышевского (Геологическое строение..., 2005):

Mgt – магнетит, Gr – гранат, Ap – апатит, Zr – циркон, Tr – турмалин, Bi – биотит

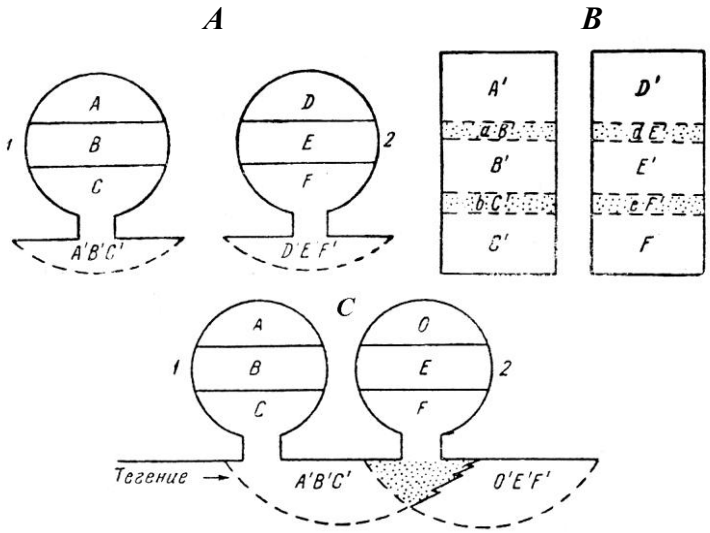


Рис. I.6.8. Распределение минералов в отложениях из питающих провинций 1 и 2 (Г. Б. Мильнер, 1934; 1968):

A – смешивание минеральных ассоциаций в процессе транспортировки (показано стрелкой) и отложения; ***B*** – сохранение первичных ассоциаций в разрезе, с формированием «промежуточных» ассоциаций, выделенных крапом; ***C*** – латеральное перемешивание ассоциаций в результате вдольберегового течения со сложной зубчатой перемежаемостью (зона смешивания также показана крапом)

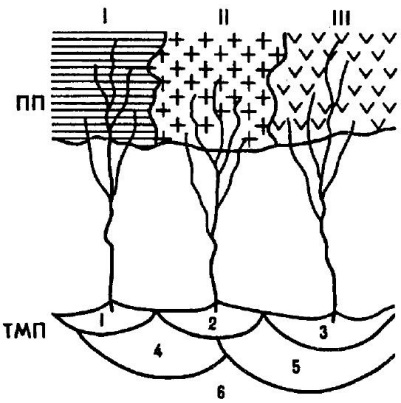


Рис. I.6.9. Соотношение питающих (ПП) и терригенно-минералогических (ТМП) провинций (В. Т. Фролов, 1998, с. 228).

Питающие провинции сложены: I – осадочными, II – изверженными, III – вулканическими породами. Терригенно-минералогические провинции: простые (1, 2, 3), сложные (4, 5) и наиболее сложные (6)

I.7. СТАДИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

I.7.1. Общие представления; изменения кластолитов

Возникновение осадочных образований	Последовательные стадии формирования осадочных образований										
		Генезис (рождение осадка)	Физическое, биохимическое, атмосферное, климатическое, наземное и подводное выветривание (гипергенез, гальмиролиз, эдафогенез и др.)					Седиментология	Седиментация	Седиментогенез	Бассейн осадконакопления	Осадочная геология
			Дезинтеграция и частичная миграция исходного материала, вовлекаемого в осадочный процесс									
			Новообразование аутигенных минералов и их ассоциаций ("первая стадия")									
			Мобилизация вещества наземная и подводная, ветровая, водная, ледовая, биогенная, гидротермальная, вулканическая и др.)									
			Кинетогенез – изменение вещества в процессе временной транспортировки ("вторая стадия")									
			Образование осадка с полностью сформировавшимся комплексом минералов и их ассоциаций ("третья стадия")									
			Терригенное	Биогенное	Хемогенное	Вулканогенное	Гидротермальное					
		Формирование	Диагенез					Литология	Литификация	Литогенез	Бассейн породообразования	
			Катагенез									
			Метагенез									
			Метаморфизм погружения (региональный)									

Рис. I.7.1. Схема осадочного процесса, особенно детально проработанная для стадии седиментогенеза (П. П. Тимофеев, 1994)

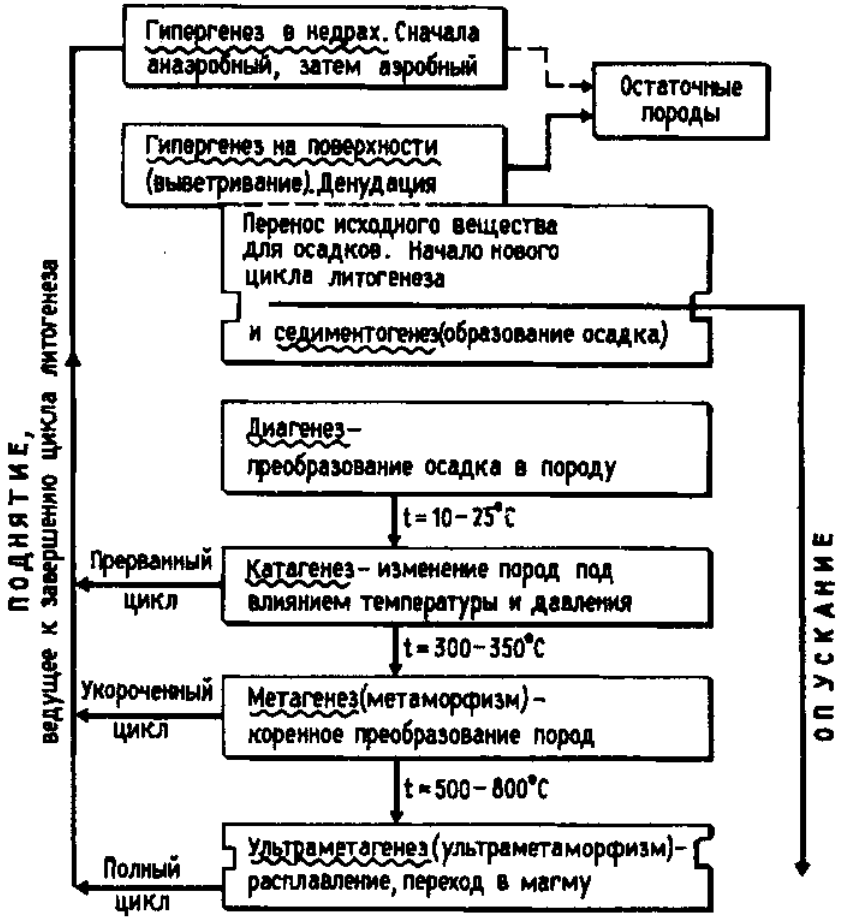


Рис. I.7.2. Общая схема стадий литогенеза, по Н. Б. Вассоевичу

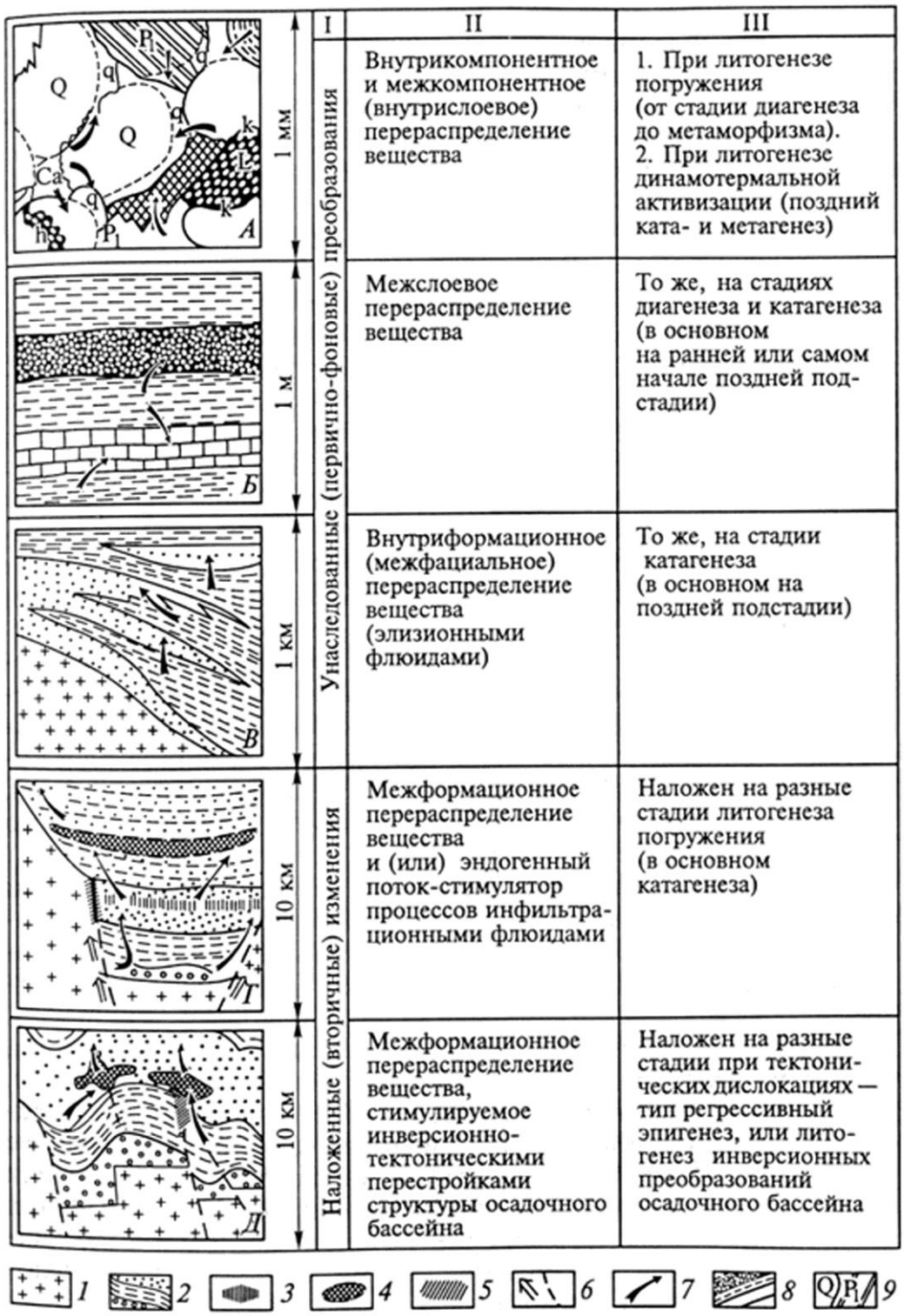


Рис. I.7.3. Схема ранжирования литогенетических преобразований и изменений осадочных пород и их комплексов (О. В. Япаскурт, 2008б, с. 74-75):

Слева – схематические модели различных категорий преобразований, унаследованных от состава исходных осадков (*А – В*) и наложенных изменений (*Г – Д*).

Справа: I – названия выделенных категорий; II – их масштабность применительно к способам перераспределения вещества; III – стадии и типы литогенеза, которые свойственны категориям *А-Д*; *1* – фундамент ОБ; *2* – различные комплексы осадочных пород; *3* – зоны децементации и возникновения вторичной пористости; *4* – вторичная карбонатизация; *5* – вторичная каолинитизация, цеолитизация и др. новообразования; *6* – потоки флюидов и тепловой энергии (стрелки) вдоль разломов (пунктир); *7* – потоки флюидов, возникших вследствие трансформации осадочных минеральных и органических компонентов; *8* – различные литотипы; *9* – кластогенные компоненты в песчанике (состав обломков: кварц, плагиоклаз, биотит, литокласты; аутигенные образования: кварц, альбит, хлорит, кальцит, коррозионные микроструктуры)

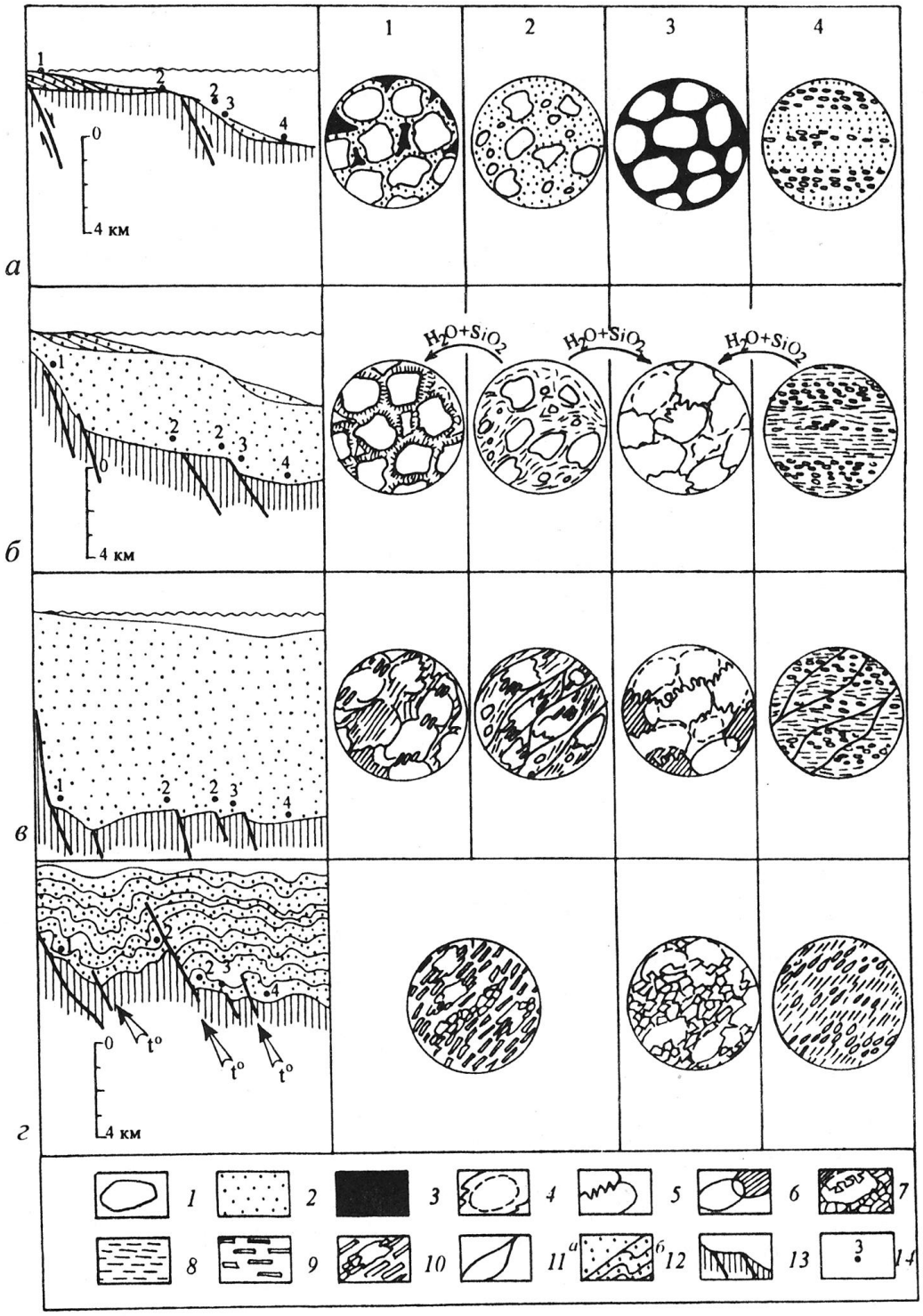


Рис. I.7.4. Схема измененности различных литотипов (1-4 в вертикальных графах) на одинаковых и разных этапах литогенеза и метаморфизма погружения (ряды *а* – *в*) и метаморфизма динамотермального типа (ряд *г*) (О. В. Япаскурт, 1999, с. 214-215):

I – II компоненты в шлифах: 1 – песчаные зерна кварца и других минералов, 2 – межзерновой алевропелитовый матрикс, 3 – поры, 4 – регенерированный кварц, 5 – микростилолитовые контакты зерен, 6 – рекристаллизационный бластез, 7 – рекристаллизационно-грануляционный бластез, 8 – агрегаты гидрослюд, серицита, хлорита, 9 – агрегаты крупночешуйчатых слюд или хлоритов с лепидобластовыми структурами, 10 – бластопсаммитовые структуры, 11 – кливажные швы, 12-14 – на разрезах (слева): 12 – осадочные отложения недислоцированные (*а*) и дислоцированные (*б*); 13 – фундамент породного бассейна с разломами; 14 – местонахождение и номер литотипа, отвечающего шлифу на зарисовках (справа)

I.7.2. Преобразования органического вещества

Таблица I.7.1

Схема преобразования двух рядов органического вещества пород осадочных бассейнов (И. Б. Волкова: из Литогеодинамика…, 1998, с. 415)

Стадии		Осадочное, угольное ОВ		Миграционное, битумное ОВ
Сингенез	Седиментогенез	Высокоорганизованные растительные биополимеры		
		Преимущественно лигнино-целлюлозный комплекс. Гуминовые кислоты, гумусовые вещества. Торф		Липидный комплекс (с повышенным содержанием водорода). Углеводороды (газы)
	Диагенез	Образование геополимеров под действием биогенного фактора в существенно анаэробных условиях		
		Возрастание содержания углерода в ОВ и показателя отражения ОВ	Образование ароматических и алифатических соединений углерода. Бурые угли, кероген горючих сланцев и пород, мацералы: витринит, фюзинит и др.	Увеличение роли углеводородных компонентов за счет остаточного накопления и возгонов из ОВ. Жидкие, газообразные углеводороды, озокерит, керит, асфальт. Повышенное содержание водорода
Эпигенез	Катагенез		Каменные угли, кероген, органические мацералы. Интенсивная генерация жидких углеводородов, в конце этапа — газообразных. Переход в антрациты, черные сланцы	Нефть, газы, твердые битумы: вюрцилит, альбертит, асфальтит (гильсонит, греэмит), повышенное содержание водорода. Эпи-, мезо-, катаимпсонит. Пироуглерод
	Метагенез		Метаантрациты, черные сланцы, кероген соответствующей стадии	Катаимпсонит (антраксолит), пирографит
Метаморфизм			На начальных фациях метаморфизма — суперантрацитовое ОВ, графитит	Антраксолит, пирографит, графит
			С амфиболитовой фации — графит разной степени кристалличности	

Рис. I.7.5. Показатель отражения витринита: ключ к моделированию и установлению значений для газово-нефтяного окна (T. G. Powell, L. R. Snowdon, 1987)

Таблица I.7.2

Палеотемпературные зоны осадочных пород и их нефтегазоносность

(Петрология…, 1987, с. 40)

Зона	Палеотемпература, °С	Показатели отражения витринита		Подзоны, °С	Нефтегазоносность при наличии керогена
		R_a, ‰	R_0, %		
		в воздухе	в иммерсии		
E	?	< 62	< 0,33	Не установлены	Как правило, не содержит залежей нефти вследствие окисления и аэрации углеводородов
D	< 100–200	62–93	0,33–1,29	< 100	При R_a = 62–72‰ и наличии хороших ловушек образуются промышленные залежи нефти и газа
				100–125	Основные запасы нефти и крупные залежи газа
				125–150	
				150–175	Присутствуют промышленные залежи нефти и главные запасы газа
				175–200	Небольшие промышленные залежи нефти, значительные месторождения газа
C	200–250	94–120	1,30–2,81	Не установлены	Редкие, обычно непромышленные залежи нефти. Нефть находится под большим давлением, дает эффектные, но быстро иссякающие фонтаны. Нередко положительные структуры оказываются пустыми. Промышленные залежи газа в верхней части зоны
B	250–275	121–130	2,82–3,41		Основная часть ранее образовавшихся углеводородов мигрировала в зоны, залегающие выше. Оставшееся ОВ при повышении температуры может генерировать небольшие количества углеводородных газов
A	< 275	< 130	< 3,40		То же, но оставшееся твердое ОВ мало способно генерировать углеводороды

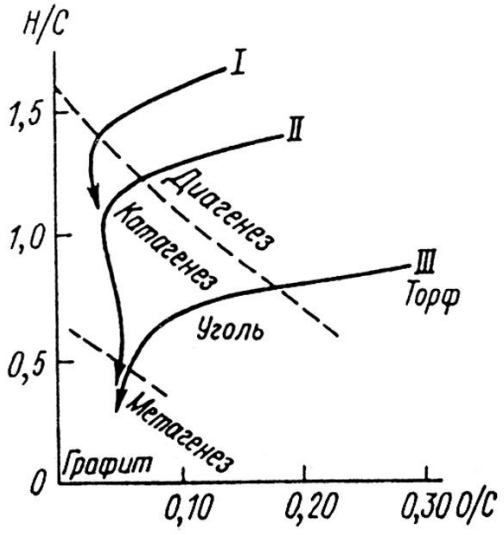


Рис. I.7.6. Положение различных типов органического вещества (ОВ) на диаграмме Ван-Кревелена (И. Б. Волкова, 1990, с. 34):

I – ОВ с высокими значениями H/C и низкими O/C, образующиеся в основном за счет остатков водорослей, обогащенных липидами;

II – ОВ со средними параметрами H/C и широким диапазоном O/C. В основном связано с планктоногенной органикой;

III – ОВ с низким значением H/C, в основном формирующееся из остатков наземной растительности

I.7.3. Сводная характеристика стадий литогенеза

Таблица I.7.3

Шкала метаморфизма углей по ГОСТу

Группа стадий метаморфизма	Стадия метаморфизма	Показатель отражения витринита в воздухе, 10 R_a, усл. ед.	Показатель отражения витринита в иммерсионном масле R_o, %	Класс
Буроугольная	O_1	Менее 58	Менее 0,30	02
	O_2	От 58 до 66 включ.	От 0,30 до 0,39 включ.	03
	O_3	» 67 » 69 »	» 0,40 » 0,49 »	04
Каменноугольная	I	От 70 до 76 включ.	От 0,50 до 0,64 включ.	05
	I—II	» 77 » 79 »	» 0,65 » 0,74 »	07
	II	» 80 » 82 »	» 0,75 » 0,84 »	08
	II—III	» 83 » 86 »	» 0,85 » 0,99 »	09
	III	» 87 » 90 »	» 1,00 » 1,14 »	11
	III—IV	» 91 » 93 »	» 1,15 » 1,29 »	12
	IV	» 94 » 97 »	» 1,30 » 1,49 »	14
	IV—V	» 98 » 102 »	» 1,50 » 1,74 »	16
	V	» 103 » 107 »	» 1,75 » 1,99 »	19
	VI	» 108 » 114 »	» 2,00 » 2,39 »	22
Антрацитовая	VII—VIII	От 115 до 123 включ.	От 2,40 до 2,99 включ.	27
	VIII—IX	» 124 » 131 »	» 3,00 » 3,59 »	33
	IX	» 132 » 142 »	» 3,60 » 4,49 »	40
	X	» 143 и более	» 4,50 и более	60

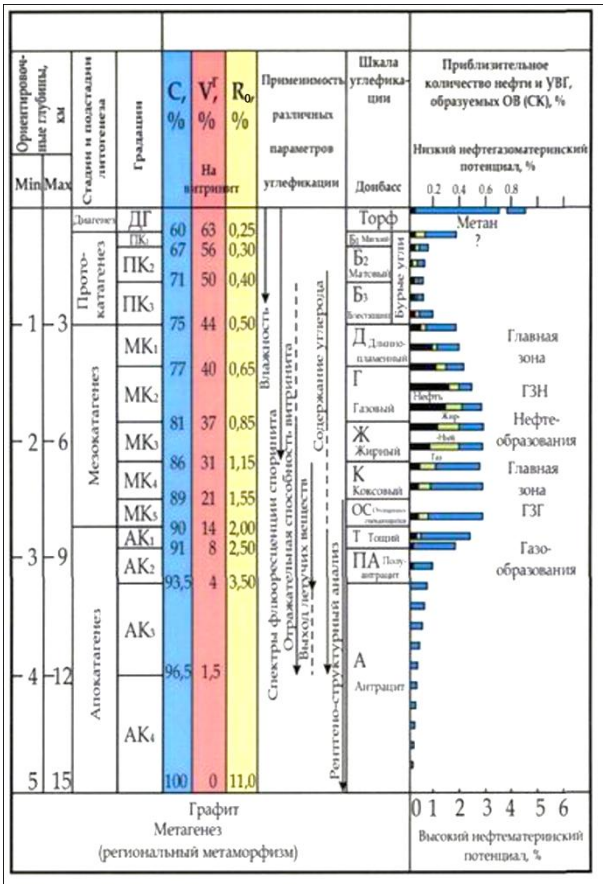


Рис. I.7.7. Шкала преобразований ОВ, по Н. Б. Вассоевичу

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

I.8. ХИМИЧЕСКИЙ (СИЛИКАТНЫЙ) АНАЛИЗ

Химический состав *главных элементов* горных пород определяется в классическом (или «мокром») либо экспрессном («сухом») видах и изображается, соответственно, следующим образом:

$SiO_2TiO_2Al_2O_3Fe_2O_3$ FeOMnOMgOCaO$Na_2OK_2OP_2O_5H_2O^+H_2O^-CO_2$Сумма*

$SiO_2TiO_2Al_2O_3Fe_2O_3$ FeOMnOMgOCaO$Na_2OK_2OP_2O_5$п.п.п.** Сумма*

* В идеале должна соответствовать 100 %

** Потери при прокаливании

I.8.1. Химический состав осадочных пород

Рис. I.8.1. Треугольник состава осадков (D. Mason, 1967; K. Turekian, 1968)

Таблица I.8.1

Средние химические составы основных классов песчаников и состав среднего песчаника (Ф. Дж. Петтиджон, 1981, с. 268; с изменениями)

	Кварцевые аренитыы	Литоидные аренитыы	Граувакки	Аркозы	Средняя проба из 235 образцов песчаников
SiO_2	95,4	66,1	66,7	77,1	78,66
Al_2O_3	1,1	8,1	13,5	8,7	4,78
Fe_2O_3	0,4	3,8	1,6	1,5	1,08
FeO	0,2	1,4	3,5	0,7	0,30
MgO	0,1	2,4	2,1	0,5	1,17
CaO	1,6	6,2	2,5	2,7	5,52
Na_2O	0,1	0,9	2,9	1,5	0,45
K_2O	0,2	1,3	2,0	2,8	1,32
H_2O^+	0,3	3,6	2,4	0,9	1,33
H_2O^-		0,7	0,6		0,31
TiO_2	0,2	0,3	0,6	0,3	0,25
P_2O_5		0,1	0,2	0,1	0,08
MnO		0,1	0,1	0,2	Сл.
CO_2	1,1	5,0	1,2	3,0	5,04
SO_3			0,3		0,07
Сумма	100,7	100,0	100,2	100,0	100,36

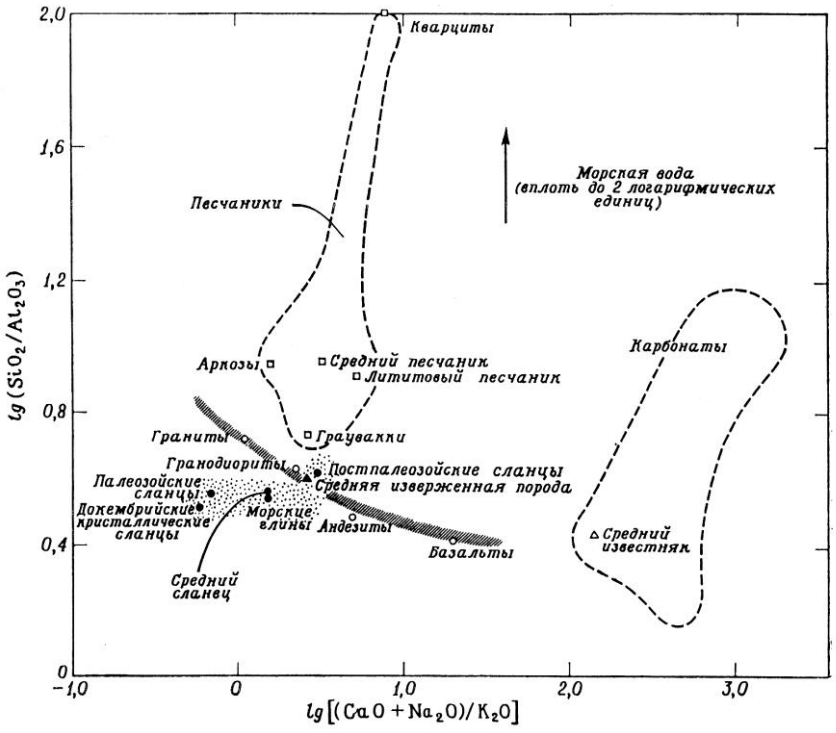


Рис. I.8.2. Взаимосвязь между составами магматических и осадочных пород (Р. Гаррелс, Ф. Маккензи, 1974, с. 185), подтверждающая процесс рециклинга (см. рис. Вв.5)

Заштрихованная изогнутая полоса соответствует области изменения составов изверженных пород от наиболее богатых кремнеземом, натрием и калием (в левой части) до содержащих наименьшее количество кремнезема, железа и обогащенных магнием (в правой части). Точками приблизительно отмечена область составов аргиллитовых осадков/

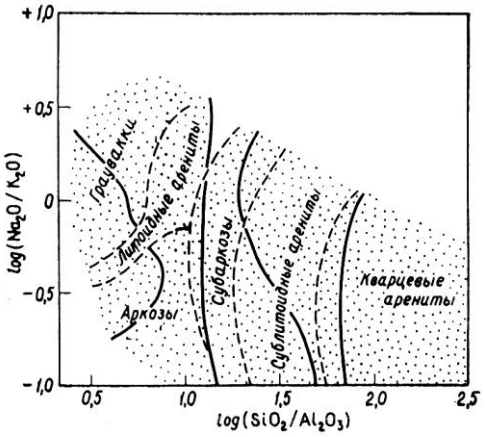


Рис. I.8.3. Отношение SiO_2/Al_2O_3 к Na_2O/K_2O в песчаниках (Ф. Петтиджон, П. Поттер, Р. Сивер, 1976, с. 63).

В поле, покрытом точками, располагается большинство анализов. Границы полей (сплошные линии) проведены в соответствии с величинами $\log (SiO_2 + Al_2O_3)/ (Na_2O + K_2O)$

Таблица I.8.2

Химическая классификация песчаников (Ф. Петтиджон, П. Поттер, Р. Сивер, 1976, с. 63)

Структурная основа: анионные группы SiO_2 и Al_2O_3	Катионы, способные к обмену: Ca, Mg, Na, K		Характерные петрографические типы
С высоким отношением SiO_2/Al_2O_3 (зрелые, содержащие небольшое количество глин или обломочных алюмосиликатов)	Обогащенные щелочноземельными элементами (с карбонатным цементом)		Кварцевые арениты
	Обедненные щелочноземельными элементами (с кремнистым цементом)		
С низким отношением SiO_2/Al_2O_3 (незрелые, содержащие глины и обломочные алюмосиликаты)	Обогащенные щелочами (содержат полевые шпаты и глины)	$Na_2O > K_2O$	Полевошпатовые граувакки
		$Na_2O < K_2O$	Аркозы, литоидные граувакки
	Обедненные щелочами (содержат высокоглиноземистые глины)		Литоидные арениты

I.8.2. Литохимия и петрохимические модули

Литохимия (по аналогии с петрохимией) – та часть геохимии, которая трактует вопросы валового химического состава осадочных горных пород и их аналогов (Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис, 2000, с. 3).

Необходимость использования вместо «прямых» или «натуральных» определений содержания тех или иных составляющих анализов, их соотношениями или модулями вызвана как рядом соображений геологического характера, так и «замкнутостью» системы, приведенной к 100 %. (Эти же причины приведены при обосновании преимущества ТМК: см. п. I.6.2.)

Расчет петрохимических модулей производится непосредственно по данным классического силикатного (так называемая «мокрая химия») или рентгенфлуоресцентного анализов породы, выраженных в массовых процентах. Наиболее часто используемыми и, следовательно, наиболее информативными модулями являются: гидролизатный, алюмо-кремниевый, фемический, титановый, натриевый, калиевый, щелочной, модуль общей нормативной щелочности и железный (Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис, 2000 и мн. др.).

Гидролизатный модуль ГМ = (Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + MnO)/SiO_2

Гидролизатный модуль используется при изучении как обломочных, так и глинистых отложений и позволяет разделять породы, содержащие продукты гидролиза (каолинит, оксиды алюминия, железа, марганца) от пород, в которых преобладает кремнезем. Чем выше величина модуля в глинистых породах или песчаниках, тем более сильное выветривание претерпели исходные комплексы в областях размыва и тем выше зрелость осадочных пород.

Алюмокремниевый модуль АМ = $A1_2O/SiO_2$

Алюмокремниевый модуль в значительной мере дублирует гидролизатный модуль и указывает на степень химического выветривания пород. В терригенных породах для модулей АМ и ГМ обычно характерна хорошо выраженная положительная корреляция. В «обычных» песчаниках значение АМ находится, как правило, между 0,10 и 0,22. Для глинистых пород типичны значения АМ, находящиеся в интервале 0,22 – 0,35.

Фемический модуль FM= (FeO + Fe_2O_3+ MgO)/SiO_2

Рассматриваемый модуль обычно применяется при разделении граувакк и др. типов песчаников. Так как для граувакк характерно достаточно большое количество темноцветных минералов, они нередко весьма схожи по величине ФМ с собственно глинистыми породами. Модуль ФМ имеет важное значение, и при распознавании петро- и пирогенных (вулканогенных) отложений: такие породы практически всегда характеризуются значениями ФМ > 0,10.

Титановый модуль ТМ = TiO_2/Al_2O_3

На величину титанового модуля в осадочных породах влияют содержание TiO_2 в осадке и степень механической сортировки кластики. Максимальные значения ТМ характерны для зрелых осадочных пород (кварциты и кварцевые песчаники из зон с максимальной подвижностью среды осадконакопления), а минимальные наблюдаются в аргиллитах флиша.

Натриевый модуль НМ = Na_2O/Al_2O_3

Натриевый модуль, как и ряд других модулей, характеризует особенности процессов химического выветривания и созревания поступающей в бассейн кластики. Чем меньше величина НМ, тем меньше плагиоклазов поступило в область осадконакопления из питающей провинции, и тем самым НМ выступает в опреде-

ленной мере показателем типа климата, доминирующего на палеоводосборах. В обычных терригенных породах величина НМ варьирует от 0,050 до 0,20 (в песчаниках НМ, как правило, выше, чем в аргиллитах).

Калиевый модуль КМ = $Ка_2О/Al_2O_3$

Модуль несет в себе важную информацию о распределении калия и алюминия среди породообразующих минералов (у мусковита КМ = 0,31, а у ортоклаза 0,92).

Щелочной модуль ЩМ = Na_2O/K_2O

Данный модуль при совместном использовании с НМ и калиевым модулем (КМ = K_2O/Al_2O_3) позволяет оценить присутствие в породе Na-содержащих минералов (главным образом породообразующих). Высокие значения ЩМ характерны для пород с доминированием кислых плагиоклазов, значительным количеством слюды и калиевых полевых шпатов.

Нормированная щелочность НКМ = $(Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$ = Σ НМ + КМ

Модуль общей нормативной щелочности (или иначе – «полевошпатовый индикатор») позволяет диагностировать присутствие в осадочных породах камуфлированной пирокластики даже в тех случаях, когда обычными петрографическими методами она не фиксируется.

Железный модуль ЖМ= $(FeO + Fe_2O_3+MnO)/(Al_2Oз + TiO_2)$

Железный модуль чаще всего используют в паре с гидролизатным, что позволяет получить подробную информацию о тонкозернистых продуктах гидролиза. Большинство обломочных пород характеризуется величиной ЖМ, варьирующей от 0,20 до 0,60. Для Al-пелитов характерны значения ЖМ < 0,20, а ЖМ > 0,60 типичны для Fe-пелитов.

Среди других показателей, рассмотренных в сводке А. В. Маслова (2005), следует выделить **индекс химического выветривания CIA = $100 \times Al_2O_3/(Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$**.

Индекс химического выветривания CIA (**C**hemical **I**ndex of **A**lteration) (H. Nessbit, G. Young, 1982; J. Visser, G. Young, 1990) в настоящее время широко используется как показатель климата в области размыва. Рассчитывается он, в отличие от литохимических модулей, по молекулярным количествам петрогенных окислов.

> Для получения молекулярного количества того или иного окисла содержание этого окисла в породе, выраженное в массовых процентах, следует разделить на его молекулярный вес. Например, молекулярное количество Al_2O_3 при его содержании в аргиллите в 16.0 мас. % составит 16/102 = 0.158.

Известно, что интенсивность химического выветривания в областях размыва напрямую коррелируется с палеоклиматом. Для осадочных образований гумидных климатических обстановок характерен вынос из полевых шпатов Ca, Na и K, что ведет к увеличению соотношения алюминия и щелочей в продуктах выветривания. В аридных и гляциальных обстановках в область аккумуляции, напротив, поступает слабопереработанный процессами выветривания на палеоводосборах материал. Представлен он в основном глинистыми минералами с относительно небольшими содержаниями Al и значительным количеством неизмененных или слабоизмененных полевых шпатов. Таким образом, невыветрелые породы характеризуются значениями CIA порядка 50, тогда как сильно выветрелые разности имеют CIA до 100 единиц. В качестве критерия для разграничения отложений, формировавшихся в обстановках теплого и холодного климата, принято считать значение индекса CIA = 70 (J. Visser, G. Young, 1990).

I.8.3. Интерпретация результатов

Для разделения граувакк и аркозов предложена диаграмма с координатами Na_2O-K_2O. В ее основу положены известные минералогические отличия этих пород: в граувакках преобладают Na-плагиоклазы, а в аркозах доминируют ортоклаз и микроклин. До известной степени граувакки и аркозы отражают различные области питания. Аркозы характеризуют гранитные области сноса. Для граувакк число возможных областей питания меньше и соответствует вулканическим областям.

Рис. I.8.4. Диаграмма Ф. Петтиджона для разделения аркозовых и грауваккових песчаников

М. Хирроном (M. Herron, 1988) на основе диаграммы Ф. Петтиджона разработана диаграмма для классификации песчаников и глинистых пород, в которой использован логарифм отношения (Fe_2O_3/K_2O). Диаграмма М. Хиррона дает возможность более точно классифицировать аркозы, а также позволяет оценивать степень присутствия в породах Fe-Mg-минералов, менее устойчивых к процессам выветривания.

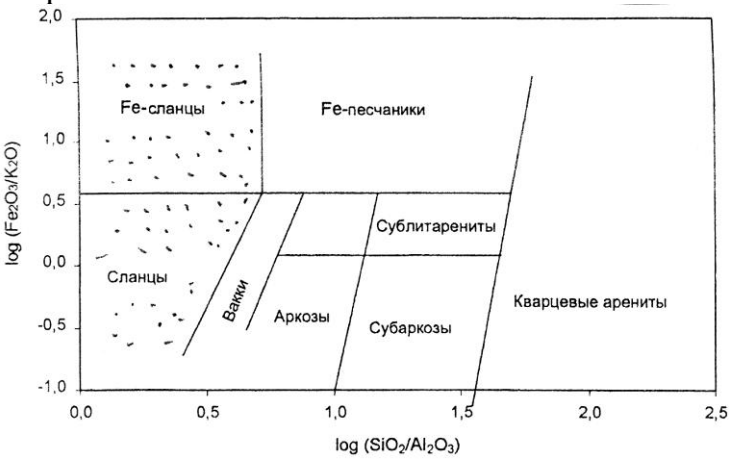


Рис. I.8.5. Классификационная диаграмма для песчаников и глинистых сланцев (M. Herron, 1988)

Крапом выделены поля тонкозернистых (глинистых) пород с низкими значениями кремний-алюминиевого модуля

На основе большого количества фактического материала М. Бхатия (M. Bhatia, 1983) проведена корреляция между особенностями геохимического состава песчаников и тектоническими режимами бассейнов их седиментации.

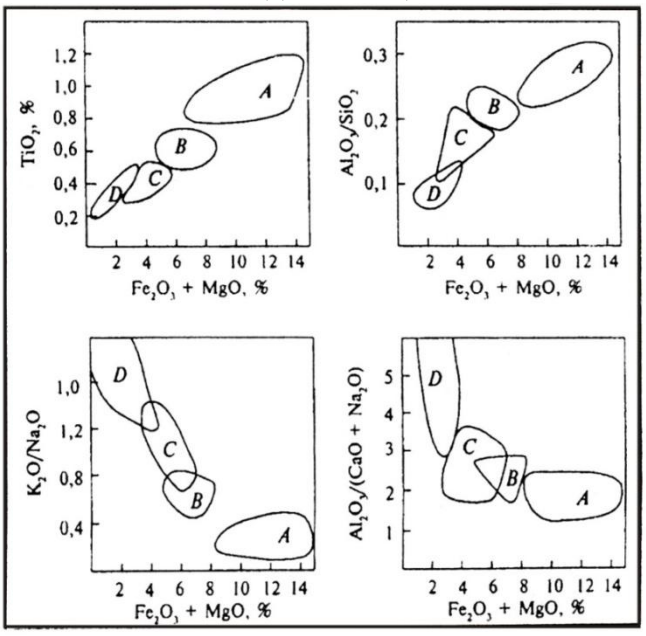


Рис. I.8.6. Диаграммы для реконструкции тектонических обстановок формирования песчаников по основным (петрогенным) окислам (M. Bhatia, 1983).

Поля: *A* – песчаники юных (океанических) островных дуг; *B* – песчаники зрелых (приконтинентальных) островных дуг; *C* – песчаники из обстановок активных континентальных окраин; *D* – песчаники пассивных окраин

Примеры использования парной диаграммы (диаграмма в координатах ТМ – TiO_2) для титанового модуля (TiO_2/Al_2O_3) и содержания TiO_2 приведены на рис. I.8.7 и I.8.8.

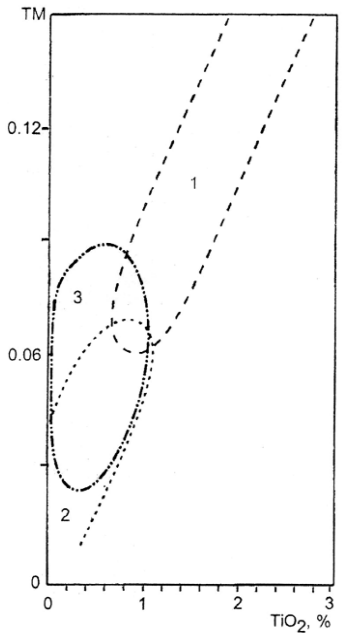


Рис. I.8.7. Диаграмма ТМ – TiO_2 для песчаников (Я. Э. Юдович, 1981): поля: 1 – граувакк; 2 – аркозов; 3 – кварцевых песчаников

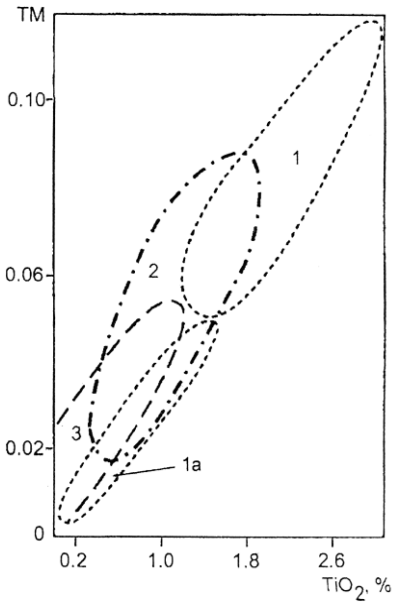


Рис. I.8.8. Диаграмма ТМ – TiO_2 для глинистых пород (Я. Э. Юдович, 1981): поля: 1 – каолинитовых глин; 1а – низкомодульных каолинитовых глин – продуктов катагенетических преобразований монтмориллонитового или каолинитового субстрата; 2 – существенно гидрослюдистых глин; 3 – существенно монтмориллонитовых глин

Эти диаграммы позволяют провести достаточно дробное разделение и псаммитов, и пелитов. Граувакки и туфы основного состава, характеризующиеся максимальными содержаниями TiO_2 и высокими значениями титанового модуля, занимают на диаграмме ТМ – TiO_2 принципиально иное поле, нежели аркозы и кварц-полевошпатовые песчаники, для которых типичны наименьшая титанистость и самые низкие значения ТМ (см. рис. I.8.7). Диаграмма ТМ – TiO_2 дает также возможность классифицировать по минеральному составу глинистые породы, так как наиболее высокие содержания TiO_2 и высокие значения ТМ характерны для каолинитовых глин, минимальные значения указанных параметров типичны для монтмориллонитовых глин, а гидрослюдистые и гидрослюдисто-хлоритовые глины занимают промежуточное между ними положение (см. рис. I.8.8).

Отдельный и особый интерес представляет «сводная» четырехлучевая диаграмма, анализ которой дает важную информацию для оценки условий формирования отложений конкретного объекта.

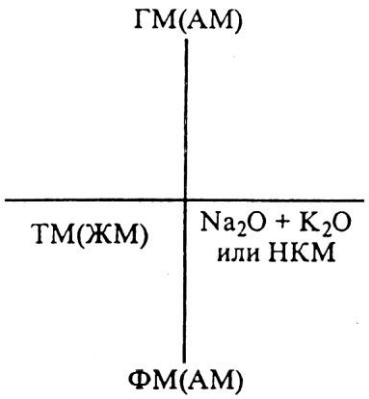


Рис. I.8.9. Рекомендуемая универсальная четырехлучевая диаграмма для интерпретации литохимических параметров (Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис, 2000, с. 110)
(в скобках – модули, применяемые реже)

I.9. ГЕОХИМИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

I.9.1. Общие представления

Таблица I.9.1

Средние содержания (кларки) химических элементов в земной коре: выделены значения более 1 % (Интерпретация…, 2001, с. 23)

Порядковый номер	Элементы	Кларки	Порядковый номер	Элементы	Кларки	Порядковый номер	Элементы	Кларки
1	H	0.11	29	Cu	$5.3\cdot10^{-3}$	57	La	$3\cdot10^{-3}$
2	He	$6\cdot10^{-5}$	30	Zn	$6.8\cdot10^{-3}$	58	Ce	$6.1\cdot10^{-3}$
3	Li	$2.5\cdot10^{-3}$	31	Ga	$1.7\cdot10^{-3}$	59	Pr	$7.6\cdot10^{-4}$
4	Be	$2\cdot10^{-4}$	32	Ge	$1.4\cdot10^{-4}$	60	Nd	$3\cdot10^{-3}$
5	B	$9\cdot10^{-4}$	33	As	$1.8\cdot10^{-4}$	62	Sm	$7.3\cdot10^{-4}$
6	C	$2\cdot10^{-2}$	34	Se	$7.3\cdot10^{-6}$	63	Eu	$1.2\cdot10^{-4}$
7	N	$2\cdot10^{-3}$	35	Br	$2.4\cdot10^{-4}$	64	Gd	$7.2\cdot10^{-4}$
8	O	**46.5**	36	Kr	$4.2\cdot10^{-9}$	65	Tb	$1.9\cdot10^{-4}$
9	F	$6.4\cdot10^{-2}$	37	Rb	$1.1\cdot10^{-2}$	66	Dy	$4.7\cdot10^{-4}$
10	Ne	$7.7\cdot10^{-8}$	38	Sr	$3.7\cdot10^{-2}$	67	Ho	$1.5\cdot10^{-4}$
11	Na	**2.38**	39	Y	$3.2\cdot10^{-3}$	68	Er	$3\cdot10^{-4}$
12	Mg	**2.26**	40	Zr	$1.6\cdot10^{-2}$	69	Tm	$3.6\cdot10^{-4}$
13	Al	**8.07**	41	Nb	$2.1\cdot10^{-3}$	70	Yb	$3.1\cdot10^{-4}$
14	Si	**27.99**	42	Mo	$1.2\cdot10^{-4}$	71	Lu	$9\cdot10^{-5}$
15	P	0.1	43	Tc	$1.0\cdot10^{-7}$	72	Hf	$2.4\cdot10^{-4}$
16	S	$3.3\cdot10^{-2}$	44	Ru	$4\cdot10^{-7}$	73	Ta	$2.2\cdot10^{-4}$
17	Cl	$1.8\cdot10^{-2}$	45	Rh	$5\cdot10^{-7}$	74	W	$1.4\cdot10^{-4}$
18	Ar	$2.2\cdot10^{-5}$	46	Pd	$9\cdot10^{-7}$	75	Re	$8\cdot10^{-8}$
19	Ka	**2.13**	47	Ag	$7.3\cdot10^{-6}$	76	Os	$2\cdot10^{-7}$
20	Ca	**3.81**	48	Cd	$1.7\cdot10^{-5}$	77	Ir	$6.5\cdot10^{-8}$
21	Sc	$1.7\cdot10^{-3}$	49	In	$1.5\cdot10^{-5}$	78	Pt	$5.7\cdot10^{-7}$
22	Ti	0.53	50	Sn	$2.3\cdot10^{-4}$	79	Au	$3.5\cdot10^{-7}$
23	V	$1.2\cdot10^{-3}$	51	Sb	$3\cdot10^{-5}$	80	Hg	$7.2\cdot10^{-6}$
24	Cr	$9\cdot10^{-2}$	52	Te	$3\cdot10^{-7}$	81	Ti	$9\cdot10^{-5}$
25	Mn	$9\cdot10^{-2}$	53	I	$4.7\cdot10^{-5}$	82	Pb	$1.3\cdot10^{-3}$
26	Fe	**5.33**	54	Xe	$3.4\cdot10^{-10}$	83	Bi	$1.9\cdot10^{-3}$
27	Co	$2.3\cdot10^{-3}$	55	Cs	$4.3\cdot10^{-4}$	90	Th	$1\cdot10^{-3}$
28	Ni	$7.0\cdot10^{-3}$	56	Ba	$4.7\cdot10^{-2}$	92	U	$2.6\cdot10^{-4}$

Примечание. Содержания приведены в % (мас.), для благородных газов (He, Ne, Ar, Kr, Xe) в $см^3/г$.

Для решения практических задач можно выделить четыре основные группы химических элементов: главные (рассмотрены в теме I.8), элементы-примеси, радиогенные изотопы и стабильные изотопы (рис. I.9.1).

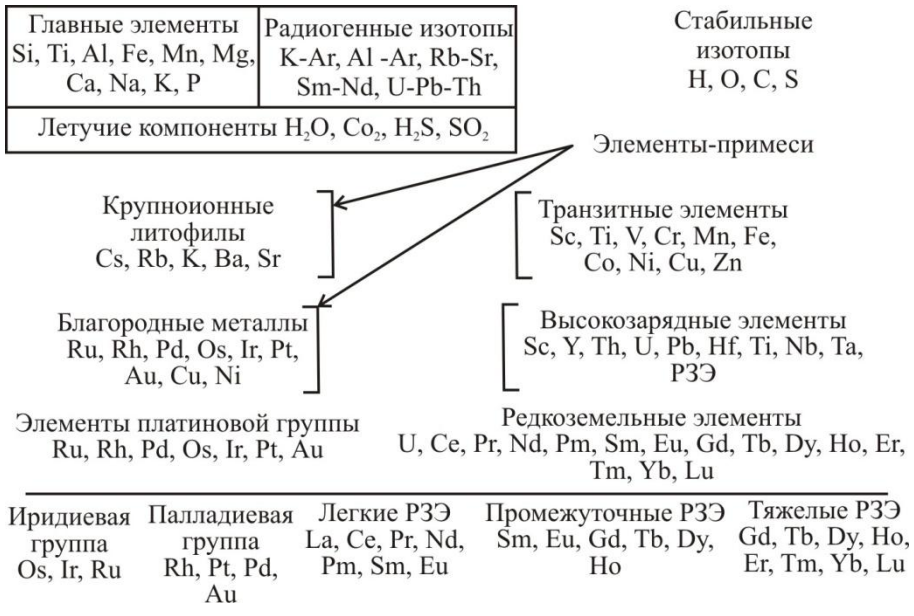


Рис. I.9.1. Группы элементов, используемые при геохимических исследованиях (Интерпретация.., 2001, с. 9)

Особый интерес при геохимических работах вызывают **элементы-примеси** (**ЭП**), присутствующие в малых концентрациях, требующих особой системы измерений (далее материалы из Википедии).

Промилле (лат. pro mille – за тысячу) – одна тысячная доля, 1/10 процента. Обозначается ‰. Используется для обозначения количества тысячных долей чего-либо в целом. Происходит (как и процент) от написания простой дробью: 27/1000 → 27 ‰; количество нулей в обозначении (3 нуля) соответствует количеству нулей в числе 1000.

Так, 1 ‰ = 1/1000 = 0,001 =0,1 %; 10 ‰ = 1 %.

Миллионная доля, пропромилле – единица измерения концентрации и других относительных величин, аналогична по смыслу проценту или промилле, представляет собой одну миллионную долю. Обозначается сокращением **ppm** (англ. *Parts per million* или лат. *pro pro mille,* читается «пи-пи-эм», «частей на миллион») или млн$^{-1}$ или **мд.**

• 1 ppm= 0,001 ‰ = 0,0001 % = 0,000001 = 10^{-6}

• 1%= 10000 ppm.

• 1‰ =1000 ppm.

Для массовых концентраций 1 ppm = 1 г/т = 1 мг/кг. Например, если указано, что **массовая доля вещества** в смеси составляет 15 ppm, это означает, что на каждый килограмм смеси приходится 15 мг этого вещества.

Другие единицы

• миллиардная доля, *parts per billion* (ppb, млрд$^{-1}$, 10^{-9}). Это грубо равно одной капле чернил в среднем плавательном бассейне или одной секунде к 32 годам. 1 часть от 10^{9}.

Parts per trillion (ppt, трлн$^{-1}$, 10^{-12}). Это грубо равно одной капле чернил в судоходном шлюзе, заполненном водой, или одной секунде к 320 столетиям. 1 часть от 10^{12}.

Основные группы ЭП показаны на рис. I.9.2.

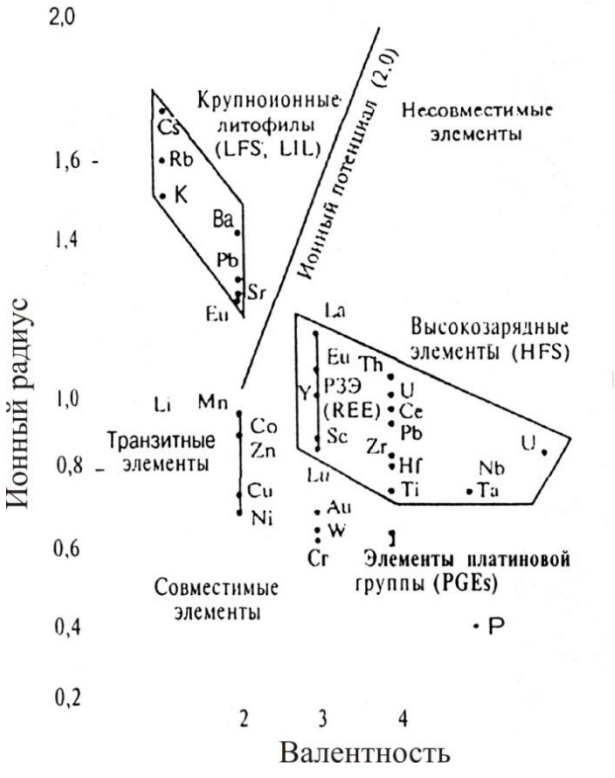


Рис. I.9.2. Диаграмма ионный радиус – ионный заряд для элементов-примесей: ионный потенциал (отношение заряда к радиусу), равный 2, разделяет поля крупноионных литофилов и высокозарядных элементов: LFS – large field strength elements; LIL – large ion lithophyls; HFS – high field strength elements (Интерпретация…, 2001, с. 11)

I.9.2. Спектральный анализ

Спектральный анализ (spectrumanalysis), или эмиссионный атомный с. а., – метод исследования элементного (качественного и количественного) состава вещества по спектру излучения его атомов. Основная модификация – полуколичественный (или приближенный) с. а., характеризующийся рядом достоинств: малая навеска проб (0,03-0,05 г), высокая чувствительность (10^{-2} – 10^{-4} %), широкий диапазон определяемых элементов (обычно 30-45), экспрессность и дешевизна метода.
При оценке массива полученных сведений, как правило, имеющих большой объем, следует оценить характер зависимости между исследуемыми ЭП.

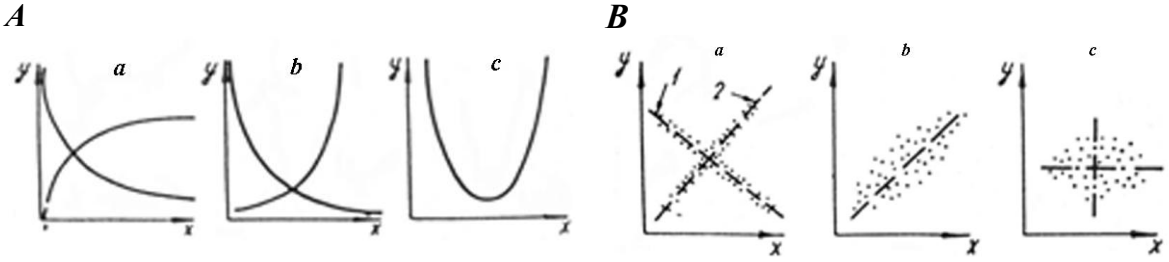


Рис. I.9.3. Виды зависимостей: ***A*** – исходная: *a* – логарифмическая, *b* – степенная, *c* – параболическая; ***B*** – приведенная к простой линейной: *a* – тесная (1 – отрицательная, 2 – положительная), *b* – слабая, *c* – отсутствует.
x – содержания ЭП, y – массив наблюдений в некотором исходном порядке

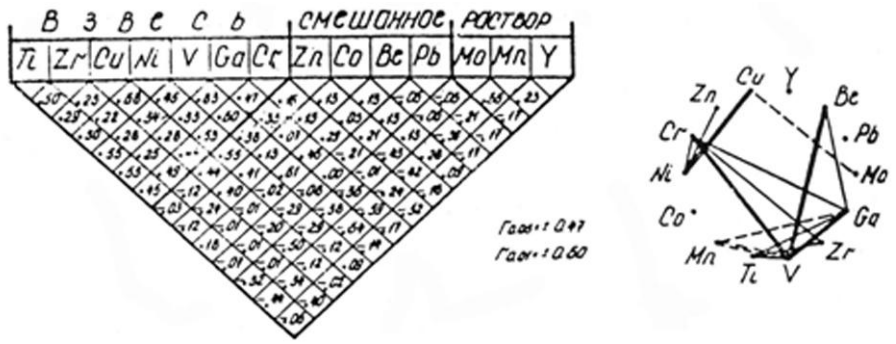


Рис. I.9.4. Пример обработки результатов спектрального анализа по угленосным отложениям тольинской свиты (T_3) Северо-Сосьвинского района (Приполярный Урал). Слева – ряд подвижности, справа – граф связей

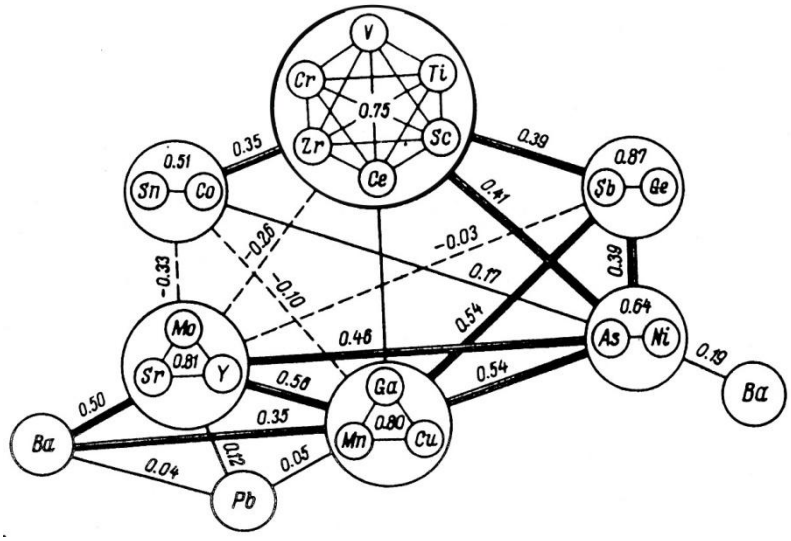


Рис. I.9.5. Структурная схема взаимосвязей ЭП в золах угольных включений из верхнепермских отложений Средней Печоры (Я. Э. Юдович, 1978, с. 177)

Коэффициенты корреляции вычислены между содержаниями, выраженными в баллах (по системе 6 баллов на один порядок концентраций)

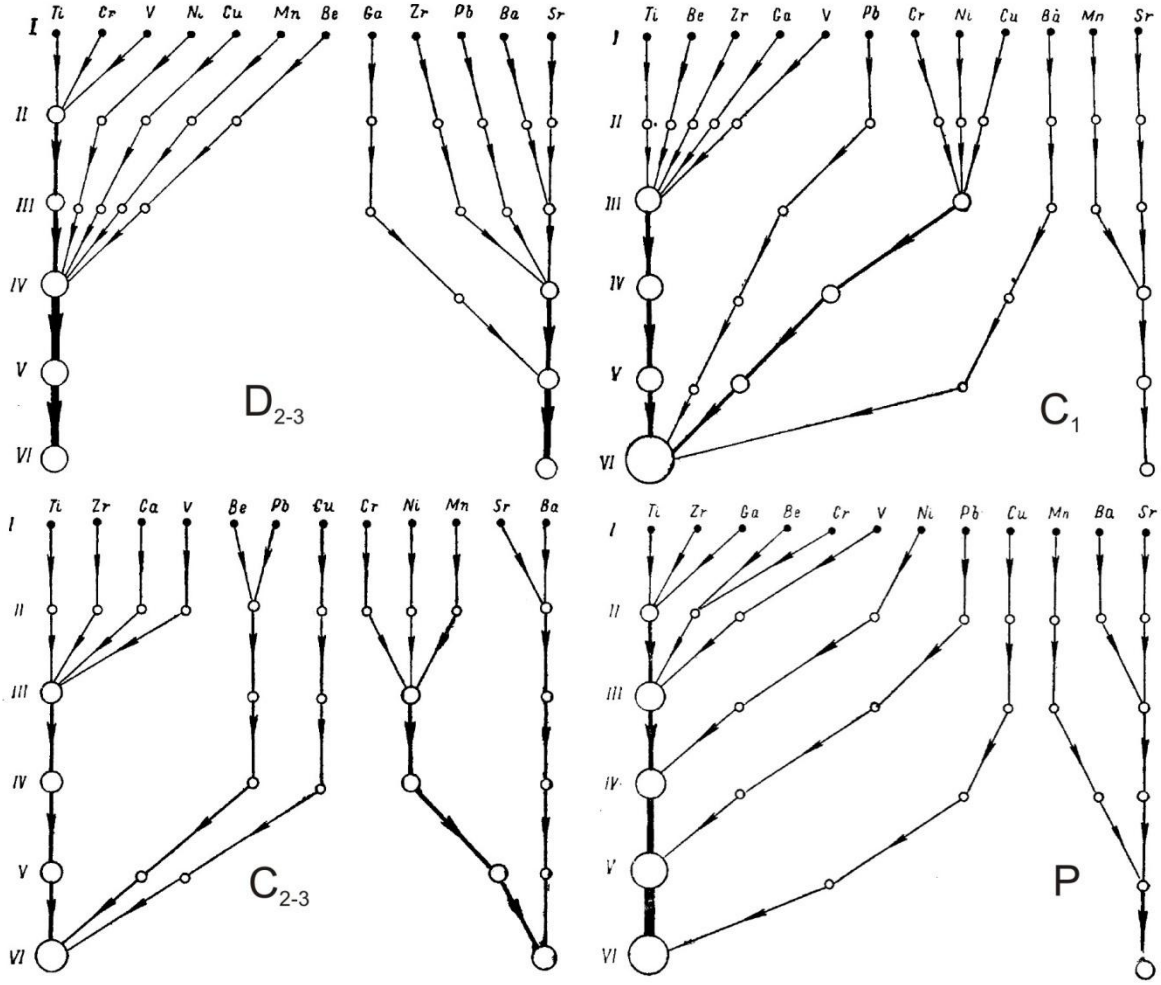


Рис. I.9.6. Ряды подвижности и ассоциации элементов, выделенных в ходе последовательного объединения по мере ослабления тесноты положительной и увеличения отрицательной связи: ряды I – VI (Фациальные…, 1973)

Размер кружков соответствует количеству элементов. Аргиллиты Тенизской впадины (Западная часть Центрального Казахстана). Возраст отложений показан на схемах.

I.9.3. Масс-спектрометрия (ICP-MS)

Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS – inductively coupled plasma mass spectrometry; читается: ай-си-пи-эм-эс) – быстрый, эффективный и высокочувствительный метод количественного одновременного определения многих элементов в широком диапазоне концентраций, вплоть до 10^{-10} % или одной частицы из 10^{12}.

При изучении геохимических процессов наиболее информативны **редкоземельные элементы (РЗЭ** или REE: rare earth elements), имеющие номера от 57 до 71 (см. табл. I.9.1). Обычно они подразделяются на легкие с низким атомным номером (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu) и тяжелые (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Ln). При построении графиков распределения РЗЭ в породах пользуются не собственно содержаниями (как правило, они составляют n × 1-10 г/т), а их отношениями к некоторому стандарту. В качестве последнего используют либо *хондрит* (каменный метеорит) как прообраз недифференцированного протопланетного вещества, либо некоторую эталонную составную пробу (табл. I.9.2).

Таблица I.9.2

Данные, используемые для нормирования содержаний РЗЭ
(без короткоживущего прометия – Pr)

Элементы	Хондрит (С. Тейлор, С. Мак-Леннан, 1988, с. 367)	Стандартные составы глинистых сланцев (Интерпретация …, 2001, с. 130)			
		NASC – палеозойский североамериканский сланец: North American Shale Composite	PAAS – постархейский австралийский глинистый сланец:Post Archean Australian Shale	RPSC – генеральная проба глин Русской платформы: Russian Platform Shale Composite	ES – средний европейский сланец: European Shale
La	0,367	31.1	38.2	37.5	41.1
Ce	0,957	67.03	79.6	74.8	81.3
Pr	0.137	–	8.83	8.6	10.4
Nd	0.711	30.04	33.9	32.2	40.1
Sm	0.231	5.98	5.55	6.2	7.3
Eu	0.087	1.253	1.08	1.3	1.52
Gd	0.306	5.5	4.66	5.21	6.03
Tb	0.058	0.85	0.774	0.79	1.05
Dy	0.381	5.54	4.68	4.88	–
Ho	0.0851	–	0.991	0.96	1.2
Er	0.249	3.275	2.85	2.78	3.55
Tm	0.0356	–	0.405	0.41	0.56
Yb	0.248	3.113	2.82	2.73	3.29
Lu	0.0381	0.456	0.433	0.41	0.58
Y	2.1	–	27	–	31.8

Принцип перевода содержаний РЗЭ в форму, используемую для отображения результатов, показан на рис. I.9.7. Добавим, что сам принцип оперирования не конкретными содержаниями, а *отношениями* вполне коррелируется с представлениями о терригенно-минеральных коэффициентах (см. п. I.8.2), хотя здесь и не идет речь о закрытых системах.

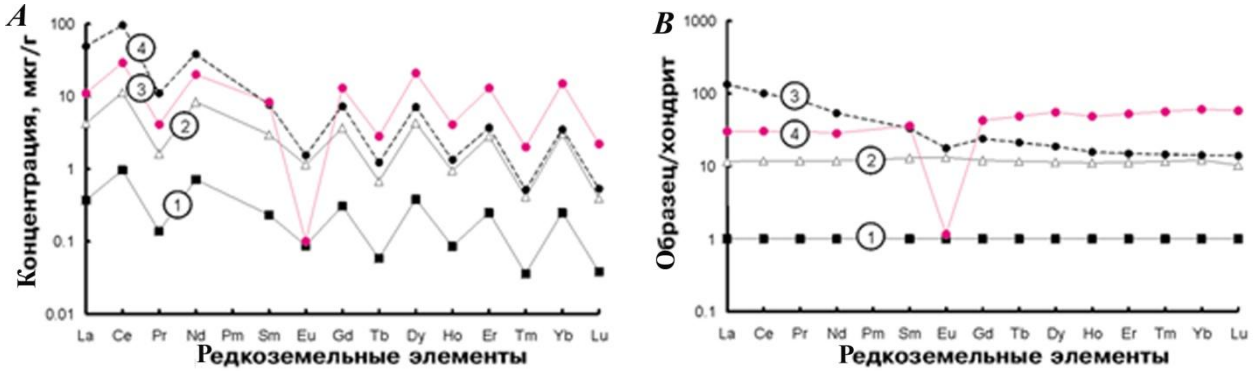


Рис. I.9.7. Типичные примеры содержаний редкоземельных элементов (РЗЭ) в хондритах (1), океаническом базальте (2), I-граните (3) и Low-P редкометалльном граните (4) (Ю. А. Костицын, 2000). РЗЭ расположены в порядке возрастания заряда ядра (или в порядке уменьшения ионного радиуса). ***A*** – абсолютные концентрации элементов, ***B*** – концентрация каждого элемента поделена на его концентрацию в хондритах

Конкретные анализы или их группы показываются в виде *спайдер-диаграмм* (англ. spider-diagram – логическая схема; схема взаимосвязей – от spider – паук). При их изучении особое внимание уделяется «*европиевой аномалии*», особенно четко выраженной на кривой (4) на рис. I.9.7. Она определяется как отклонение от ожидаемого показателя, то есть Eu/Eu*, где $Eu^* = [Sm_N \times Gd_N]^{1/2}$ и может иметь как положительное, так и отрицательное значение.

Отношение легких РЗЭ к тяжелым, которое часто выражают через (La/Lu)n, отражает степень *дифференцированности* породы. При отрицательном наклоне нормированной линии (3 на рис. I.9.7) имеет место обеднение тяжелыми РЗЭ, при положительном (4 на рис. I.9.7) – их обогащение.

РЗЭ являются одними из наименее подвижных элементов, поэтому их анализ, вкупе с исследованиями химического состава пород, представляет неоценимую информацию для реконструкции обстановок осадконакопления.

Общий вид спайдер-диаграмм как для петрогенных окислов (см. тему I.8), так и для малых элементов (ЭП) приведен на рис. I.9.8.

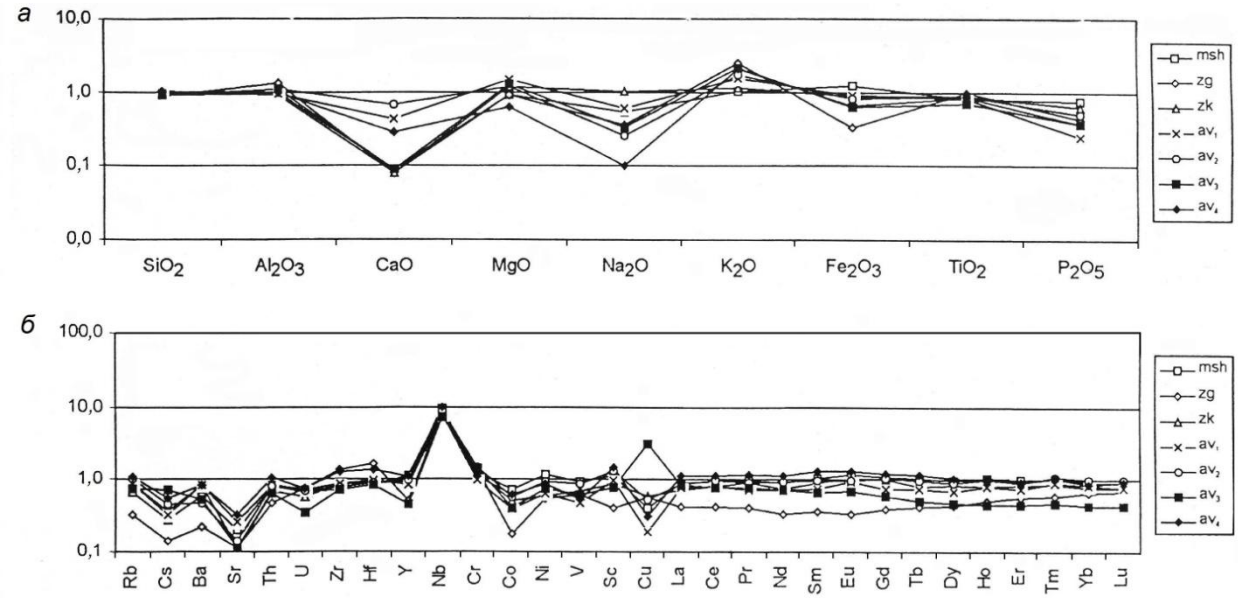


Рис. I.9.8. Спайдер-диаграмма нормированных на *PAAS* содержаний петрогенных окислов (а) и малых элементов (б) в глинистых сланцах основных литостратиграфических подразделений юрматинской серии среднего рифея Башкирского мегантиклинория (А. В. Маслов и др., 2004): *msh* – машакская свита; *zg* – зигальгинская свита; *zk* – зигазино-комаровская свита; авзянская свита: av_1 – катаскинская подсвита, av_2 – малоинзерская подсвита, av_3 – ушаковская подсвита, av_4 – куткурская подсвита

Группа транзитных элементов, включающая Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn (см. рис. I.9.2), является объектом пристального внимания со стороны геологов, изучающих рудные месторождения.

Для *группы платиноидов* (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt) обычно используется аббревиатура ЭПГ (элементы платиновой группы). К ним нередко добавляется золото (Au), а саму группу ЭПГ по характеру поведения в глубинных процессах разделяют на две подгруппы: иридиевую (Os, Ir, Ru) и палладиевую (Rh, Pt, Pd).

I.9.4. Изотопный состав

В настоящее время технически возможно фракционировать изотопы примерно 40 элементов. Из них для изучения геологии осадочных процессов чаще всего используются H, C, O и S.

Характеристику изотопного состава выражают в относительных единицах: $\delta X = (R_{пр}/R_{ст} - 1) \times 1\,000$, ‰, где $R_{пр}$ – это атомное соотношение изотопа в пробе, а $R_{ст}$ – в стандарте. Так, значение $\delta X = +10$ означает, что образец обогащен изотопом X по отношению к стандарту на 10 промилле (‰) или 1 % (1 ‰ = 0.1 %). Для изотопов водорода и кислорода в качестве стандарта часто используется SMOW (Standard of the Mean Ocean Water) – состав средней океанической воды.

На рис. I.9.9 показана схематическая модель формирования изотопного состава воды.

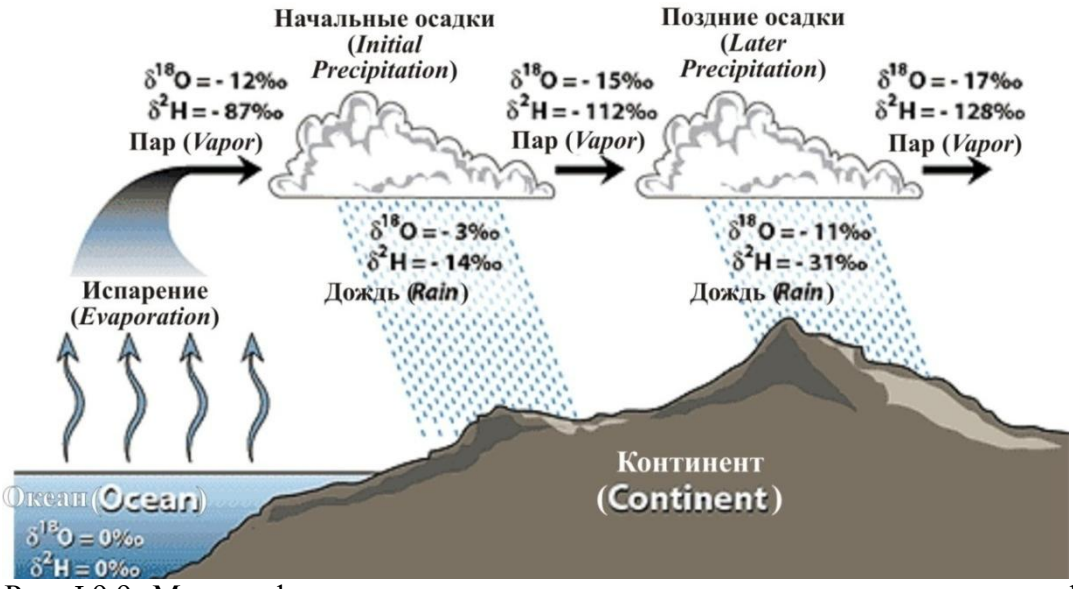


Рис. I.9.9. Модель формирования изотопного состава воды различных геосфер (J. Hoefs, 1997; T. Colpene. e. a., 2000; http//www.sahraarizona.edu/programs /isotopes /oxygen.html). При испарении с поверхности океана изотопный состав воды несколько облегчается: $\delta^2H < \delta^2H_{SMOW}$; $\delta^{18}O < \delta^{18}O_{SMOW}$. При конденсации влаги в облаках и ее выпадении в виде дождя оставшийся пар обедняется дейтерием и кислородом: $18\delta_{дождь} > \delta_{пар}$. Такое же фракционирование отмечается при конденсации росы из воздуха на поверхности растительности, на почве и внутри нее. Эффект облегчения наблюдается также при испарении воды из открытых водоемов суши: влага, образующаяся при эвапотранспирации, также изотопически облегчена относительно исходной воды. Таким образом, в цикле «испарение – конденсация – повторное испарение» происходит *существенное облегчение изотопного состава воды при движении вглубь материка* (НИЦ Гидрогеологии ГФ СПБГУ)

Для углерода, имеющего два стабильных изотопа ^{12}C (распространенность 98,89 %) и ^{13}C (1,11 %) в качестве стандарта используется PDB (Pee Dee Belemnite) – белемнит Belemnitella Americana из меловых отложений формации Pee Dee в Южной Каролине, США. Часто используется стандарт VPDB – «Vienna PDB» – углерод органического происхождения, более легкий в изотопном отношении, т. е. не обедненный изотопом ^{13}C. Среднее изотопное отношение биомассы на Земле составляет – 26 ‰, в то время как в морской воде и карбонатах это отношение близко к 0.

Примером использования сведений об изотопном составе углерода в геологии нефти и газа служат исследования А. Э. Конторовича с рядом соавторов, сведенные воедино в сборнике (А. Э. Конторович, 2004).

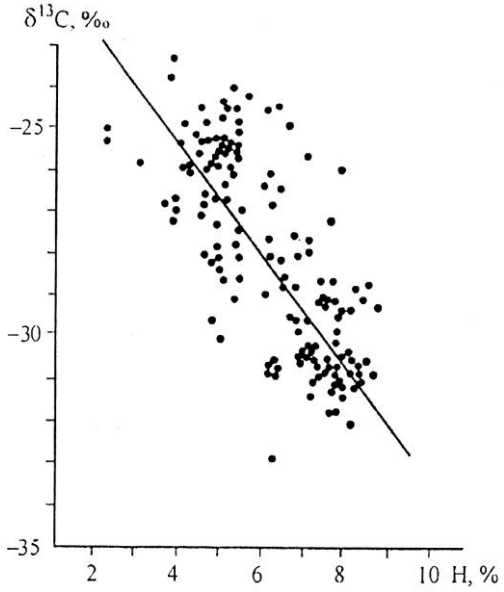


Рис. I.9.10. Зависимость изотопного состава углерода в дебитуминизированных СКХ от содержания в них водорода в прото- и мезокатагенезе (А. Э. Конторович и др., 1985а)

СКХ – седикахиты: термин предложен Н. Б. Вассоевичем в 1967-1974 гг. и означает **седи**ментационные *кахигены* (от начальных слогов трех слов: carbon – углерод + hydrogen – водород + genesis – возникновение, или сокращенно – кахиты). Преследовал целью устранить путаницу в употреблении «органическое» вещество применительно к углеводородам различного происхождения

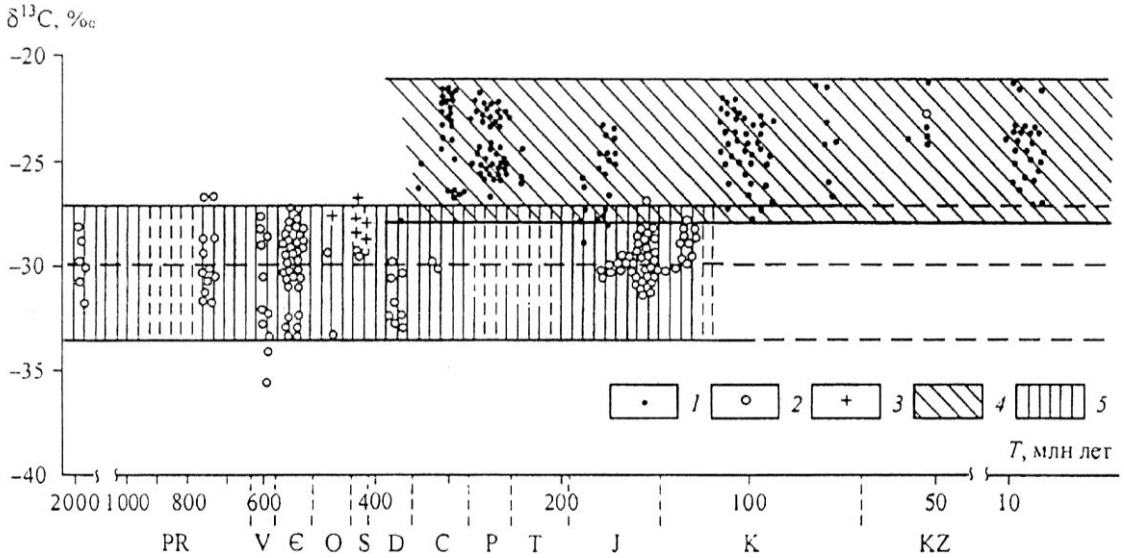


Рис. I.9.11. Эволюция изотопного состава углерода в седикахитах в докембрии и фанерозое (А. Э. Конторович и др., 1985б):

1 – терригенные, *2* – аквагенные (планктоногенные) седикахиты; *3* – граптолитовые сланцы силура западной части Сибирской платформы; интервал вариаций ^{13}C: *4* – в гетерогенных, *5* – в аквагенных седикахитах

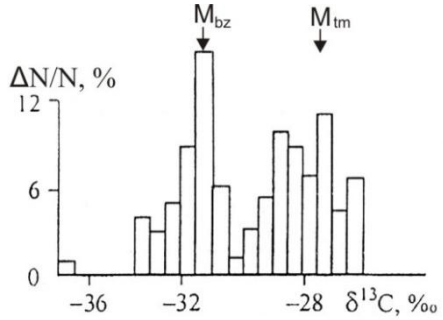


Рис. I.9.12. Гистограмма значений $\delta^{13}C$ в битумоидах баженовской и тюменской свит (А. Э. Конторович и др., 1986):

ΔN/N – нормирование значений по выборкам; мода значений для баженовской свиты (M_{bz}) составляет 30,7 ‰; для тюменской свиты (M_{tm}) – 27,5 ‰

Интересно, что результаты, приведенные на рис. I.9.12, имеют обратный, или «инверсионный» характер относительно обычных представлений, связывающих более тяжелое изотопное вещество с аквагенными (баженовскими) отложениями. Предположено, что обогащение им континентальных пород тюменской свиты с терригенным ОВ обусловлено ростом окислительных потерь на стадии анаэробного диагенеза (А. Э. Конторович и др., 1986).

I.10. ДРУГИЕ МЕТОДЫ

I.10.1. Термический анализ

В процессе нагревания в минералах происходят различные изменения: обезвоживание (потеря воды с разрушением решетки и без разрушения в зависимости от типа воды), диссоциация – распад с выделением газовой фазы, плавление, полиморфные превращения, окисление, раскристаллизация, перекристаллизация и т. д. Реакции обезвоживания, диссоциации, плавления и полиморфные превращения происходят с поглощением тепла, являются эндотермическими. Реакции окисления, кристаллизации и перекристаллизации протекают с выделением тепла и называются экзотермическими. Самый распространенный метод исследований – дифференциально-термический анализ (ДТА).

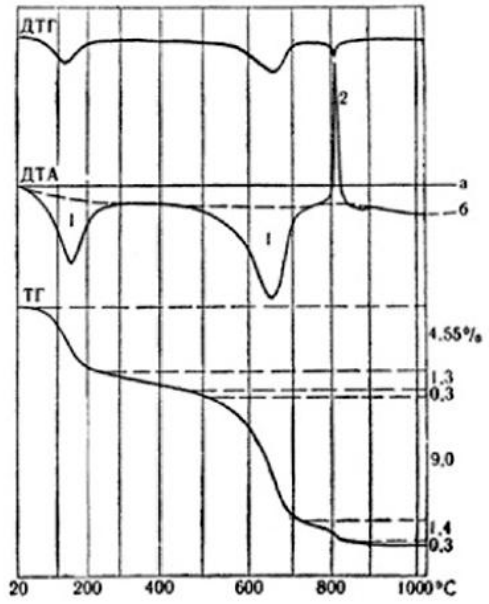


Рис. I.10.1. Дериватограмма (лат. derivatio – отведение) серпентина (Термический …, 1974, с. 11)

ДТГ – дифференциальная термогравиметрическая кривая; ДТА – дифференциальная кривая нагревания; ТГ – кривая изменения массы; *а* – нулевая линия; *б* – базисная; эффекты: *1* – эндотермические; *2* – экзотермические

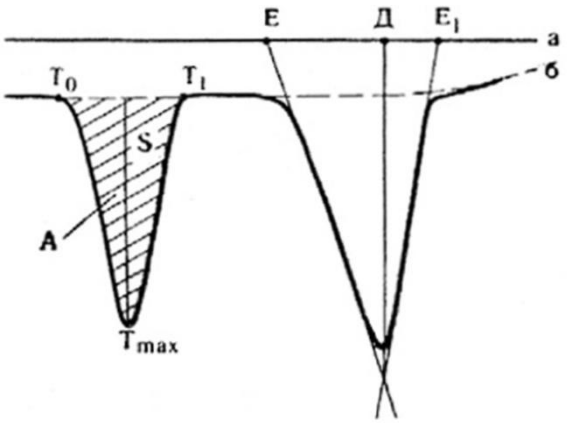


Рис. I.10.2. Геометрические элементы кривой ДТА (Термический …, 1974, с. 14): *а* – нулевая линия, *б* – базисная; температуры: T_0 – начала термического эффекта, T_1 – окончания термического эффекта, *T*max – максимума термического эффекта, T_1–T_0 – интервал температур термического эффекта, *S* – площадь, *A* – амплитуда, $E_1Д/ЕД$ – индекс формы термического эффекта

Таблица I.10.1

Температуры эндо- и экзотермических эффектов некоторых карбонатных минералов, °С

Минерал	Эндотермический эффект	Экзотермический эффект
Кальцит	920-940	
Доломит	750-760 и 930-940	
Магнезит	610-630	
Сидерит	540-560	660-750
Сидероплезит	550-590	650-730
Родохрозит	600	950-960

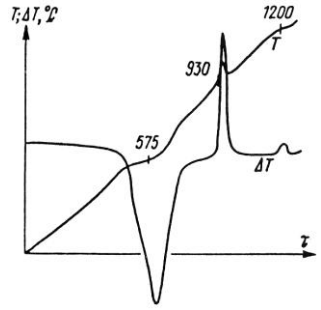


Рис. I.10.3. Кривые нагревания каолинитовых глин: $T(\tau)$ – температурная кривая, $\Delta T(\tau)$ – дифференциальная кривая

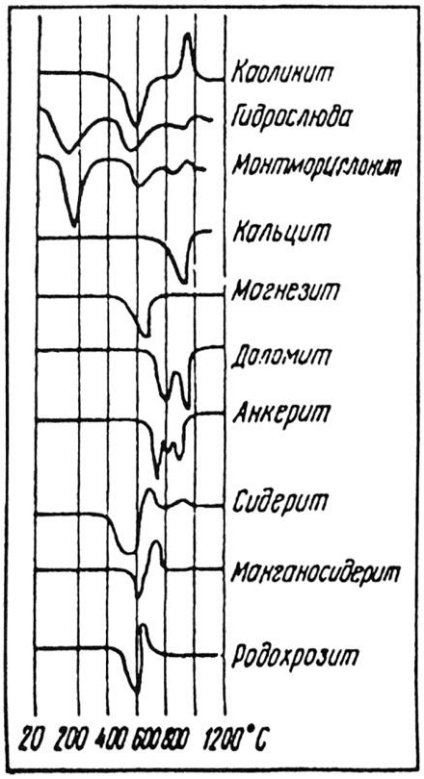


Рис. I.10.4. Типовые кривые нагревания глинистых и карбонатных минералов (Н. В. Логвиненко, 1974, с. 352)

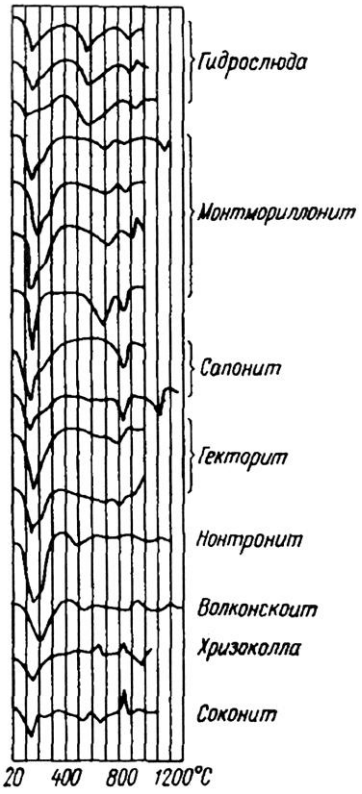


Рис. I.10.5. Кривые нагревания гидрослюдистых и монтмориллонитовых глин (Термический…, 1974)

I.10.2. Рентгеноструктурный анализ

Рентгеновский метод основан на анализе особенностей дифракции (лат. difractus – разломанный) рентгеновских лучей при облучении кристаллов, что упрощенно можно рассматривать как отражение лучей от плоских сеток пространственной решетки. С помощью этого метода можно установить величину межплоскостного расстояния в кристаллах, определить симметрию, размеры элементарной ячейки и по этим данным определить минерал.

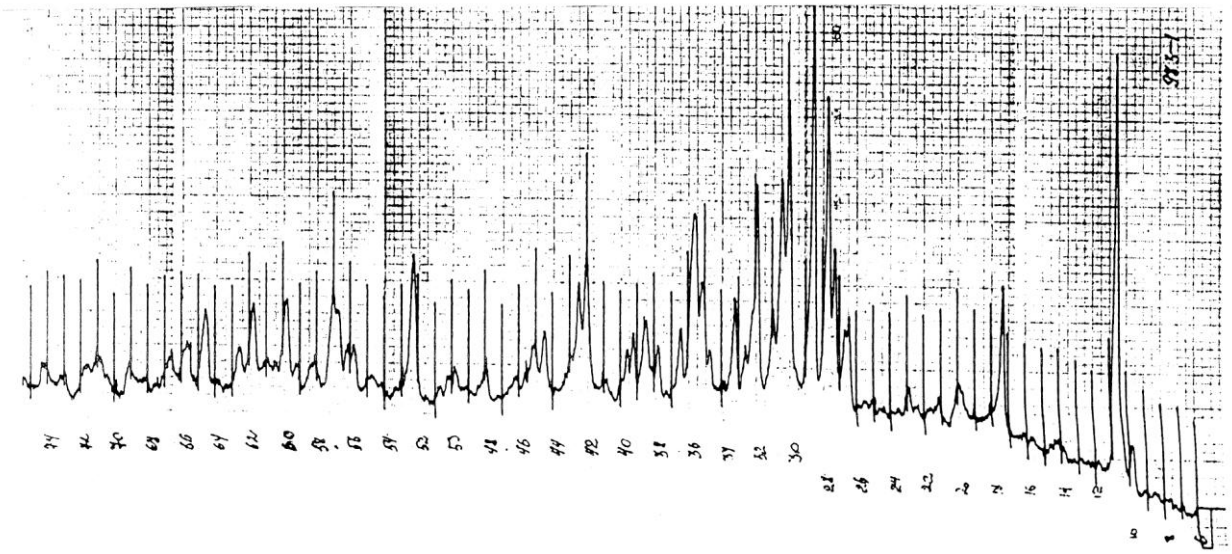


Рис. I.10.6. Подготовленная к расшифровке дифрактограмма природного образца (А. В. Маслов, 2005, с. 160)

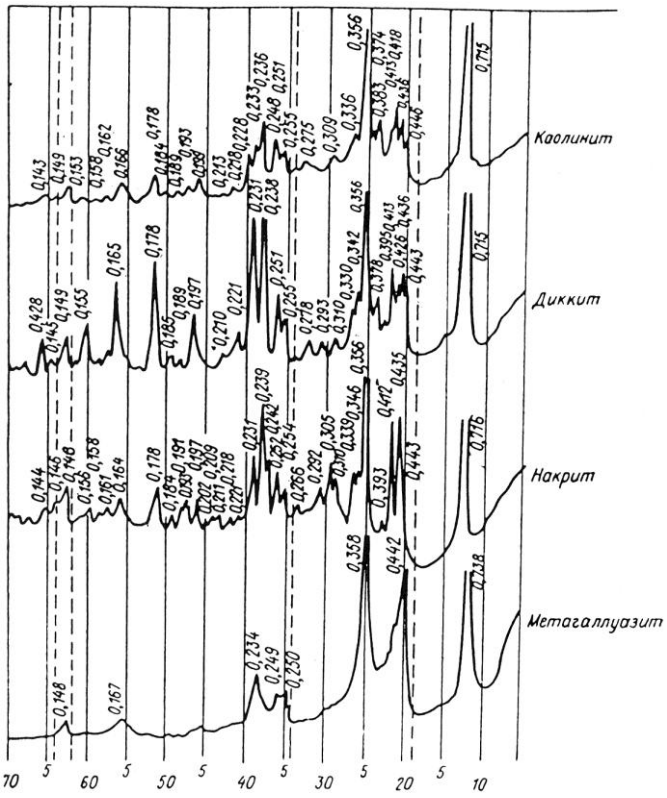


Рис. I.10.7. Дифрактограмма каолинита и его производных (Е. Н. Котельникова, 1984)

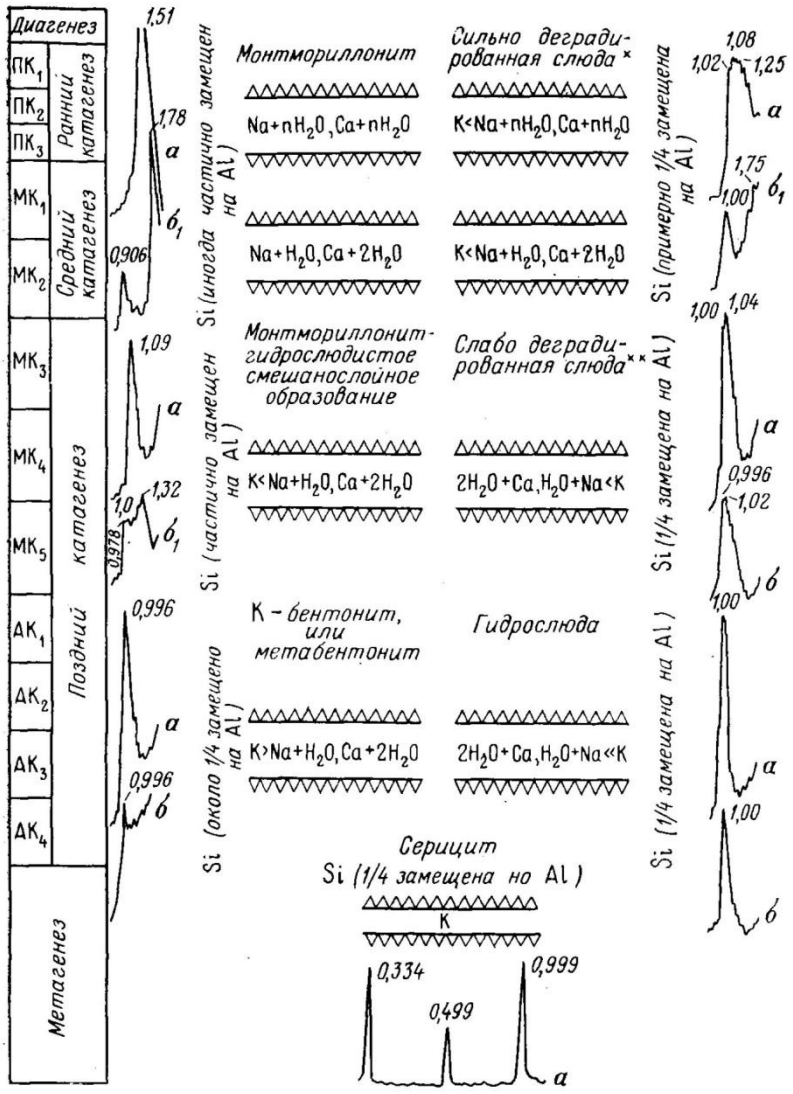


Рис. I.10.8. Общая схема преобразования разбухающих глинистых минералов диоктаэдрического типа в осадочном чехле земной коры, по Д. Д. Котельникову, из (Д. Д. Котельников, А. И. Конюхов, 1986, с. 237)

а – воздушно-сухой образец, *б* – насыщенный этиленгликолем, $б_1$ – насыщенный глицерином

* Смесь гидрослюды и монтмориллонит-гидрослюдистого смешанослойного образования с содержанием >40 % лабильных пакетов

** То же, с их содержанием < 40 %

I.10.3. Люминесцентно-битуминологический анализ (ЛБА)

Люминесценция (лат. luminis – свет + escent – слабодействующий) – излучение, представляющее собой избыток над тепловым излучением тела и продолжающееся в течение времени, значительно превышающего период световых колебаний.

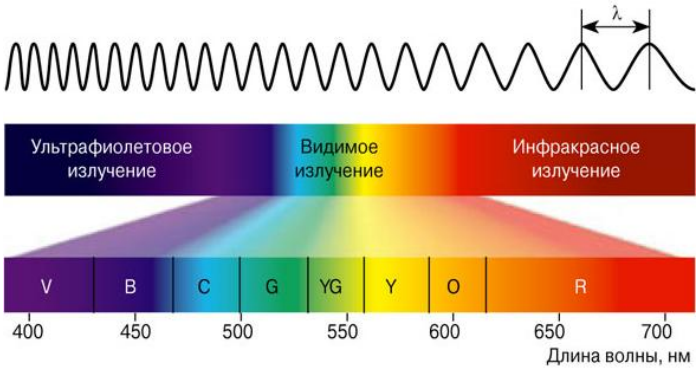
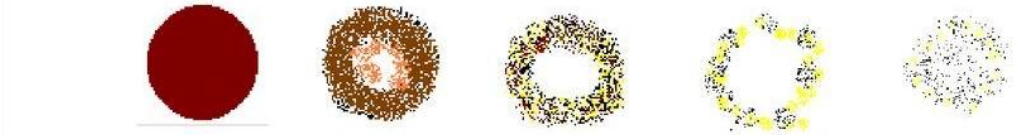


Рис. I.10.9. Виды излучений

Для выявления характера распределения битуминозных веществ в горной породе на свежий скол наносят каплю органического растворителя и наблюдают характер свечения проступивших битуминозных веществ. После этого породу измельчают и проводят экстракцию битуминозных веществ из навески 2-4 г, последовательно хлороформом и спиртобензолом. Количество и состав экстракта определяют путем сравнения с эталонными коллекциями.



Интенсивность свечения хлороформных вытяжек из пород разреза в ультрафиолетовых лучах оценивается в баллах: 5-ровное пятно 4-толстое кольцо 3-тонкое кольцо 2-тонкое «рваное» кольцо 1-точки

Группа	Цвет люминесценции капиллярных вытяжек	Состав битумоида	Тип битумоида
1	БГ-беловато-голубой	УВ флюиды, не содержащие смол и асфальтенов	ЛБ – легкий битумоид
2	Б – белый ГЖ – голубовато-желтый ЗЖ- зеленовато-желтый	Нефть и битумоиды с низким содержанием смол. Асфальтенов нет	МБ – маслянистый битумоид
3	Ж – желтый ОЖ – оранжево-желтый О – оранжевый	Нефть и битумоиды, содержащие масел >60%, Асфальтенов 1-2 %	МСБА – маслянисто-смолистый битумоид
4	ОК – оранжево-коричневый СК – светло-коричневый К - коричневый	Нефть и битумоиды. Асфальтенов 3-20%	СБА – смолистый битумоид
5	ТК – темно-коричневый ЗК – зеленовато-коричневый ЧЗ – черно-зеленый КК – красновато-коричневый Ч - черный	Битумоид с содержанием асфальтенов > 20%	САБА – смолисто-асфальтеновый битумоид

Рис. I.10.10. Основные характеристики ЛБА (В. Н. Флоровская, 1957)

Мощный импульс изучение керна скважин в люминесцентном свете получило при его введении в обязательный комплекс исследований, наряду с фотографированием в дневном свете.

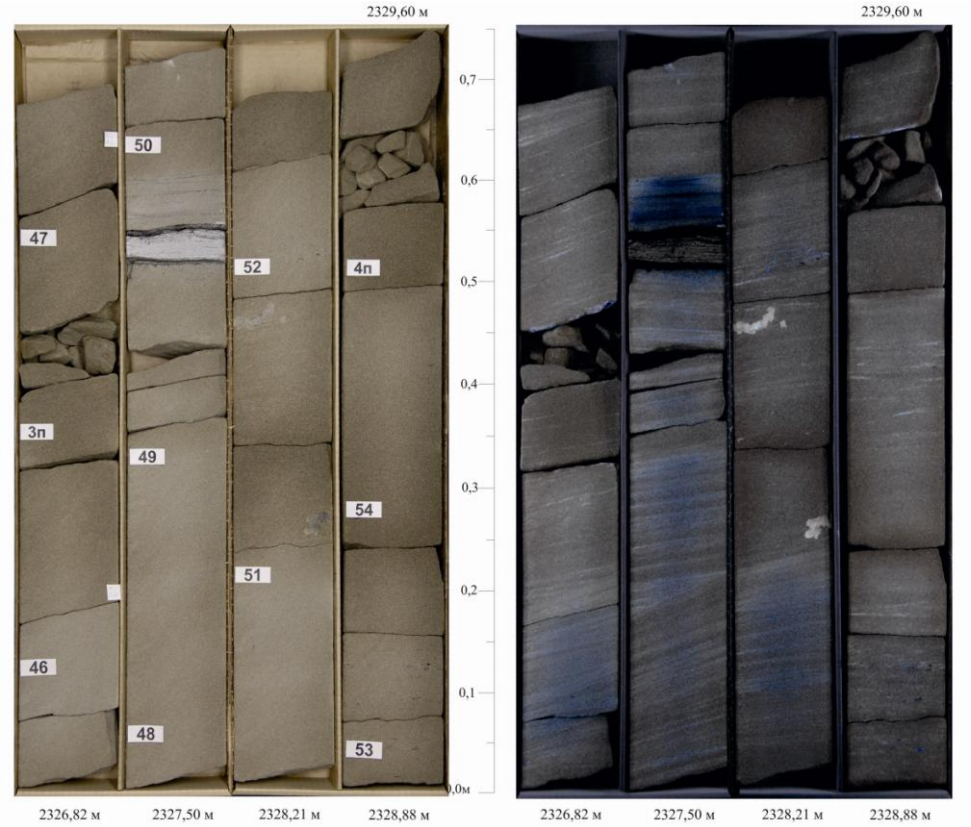


Рис. I.10.11. Проявление отчетливой косой слоистости в ультрафиолетовом свете (справа). Нижнемеловые отложения, Приобское месторождение (Западная Сибирь)

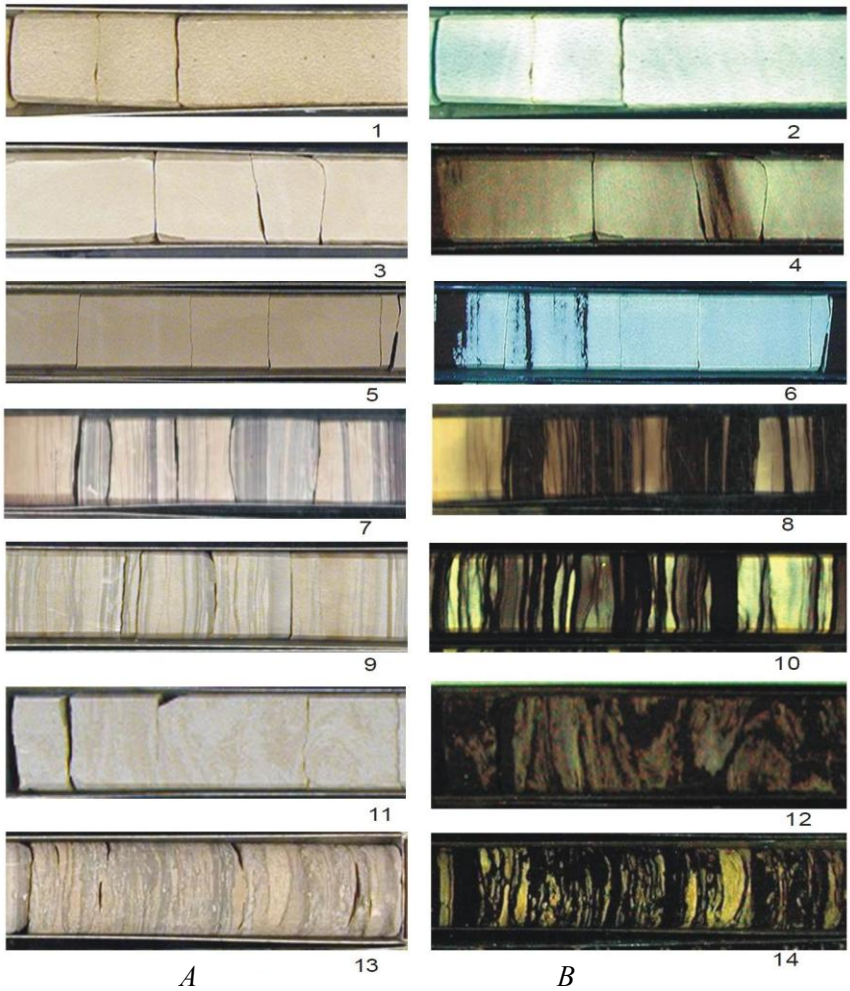


Рис. I.10.12. Характер распределения нефтенасыщенности в зависимости от текстурных особенностей пород (И. Ш. Усманов, 2002):

A – в дневном; *B* – в ультрафиолетовом свете (светлое – нефтенасыщение)

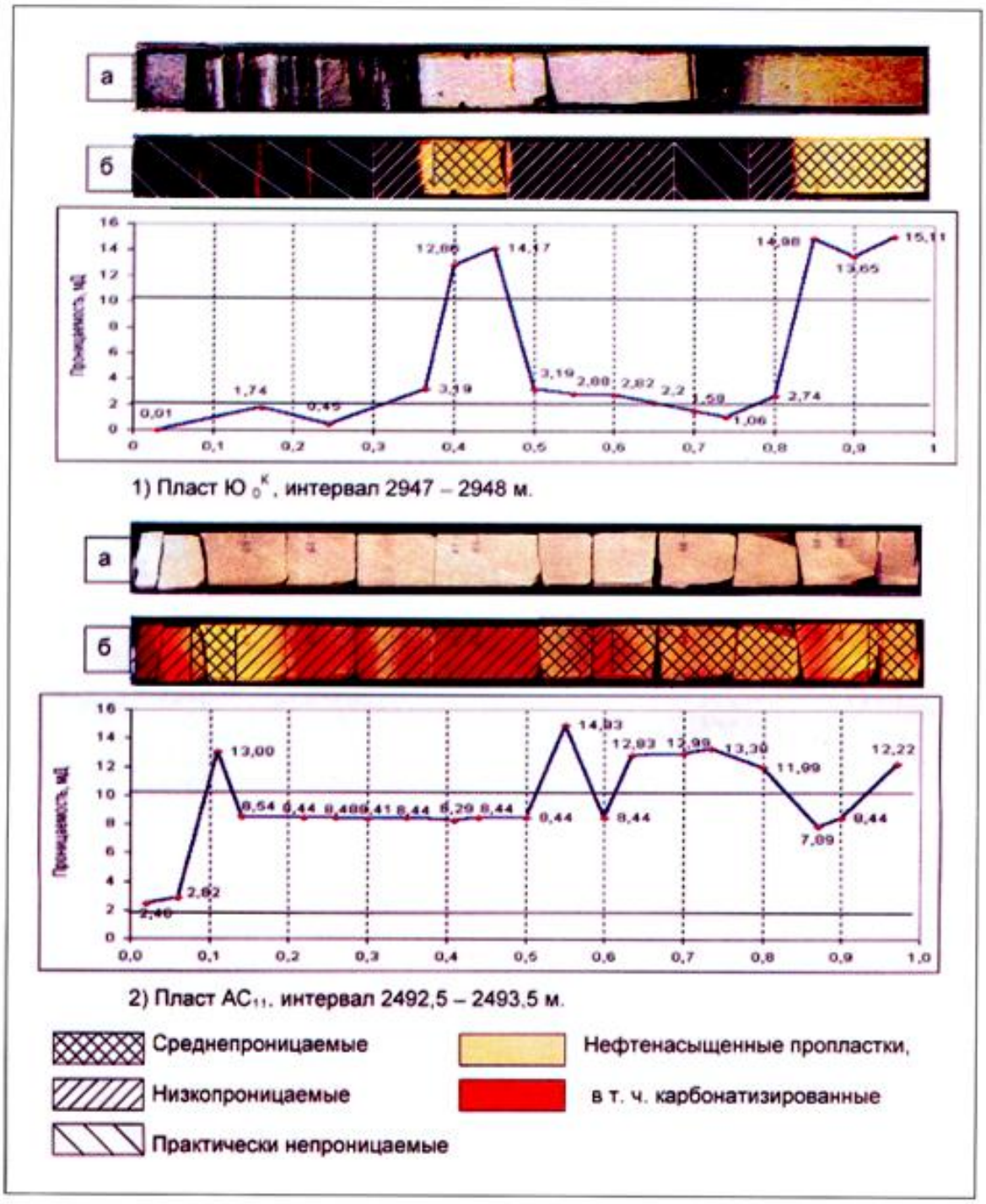


Рис. I.10.13. Изображение в дневном (*а*) и ультрафиолетовом (*б*) свете и проницаемость керна. Скв. 4453 Восточно-Тромъеганского (1) и 554 Западно-Айпимского (2) месторождений (И. Ш. Усманов и др., 2002)

I.10.4. Электронная микроскопия

В настоящее время широко применяется *растровый электронный микроскоп* (РЭМ, англ. Scanning Electron Microscope: SEM). Он позволяет работать в диапазоне увеличений от 3-10 крат (эквивалентно ручной линзе) до 10^6 крат, что примерно в 500 раз превышает предел увеличения лучших оптических микроскопов.

Применение РЭМ дало огромные возможности для изучения процессов аутигенного минералообразования, структуры порового пространства, поверхности песчаных зерен, микроструктуры пород и многих других явлений и процессов, недоступных для изучения другими методами.

Таблица I.10.2

Соотношение единиц измерения

Единицы длины	м	мм	мкм (мк)	нм (ммк)
Метр, м	1	10^3	10^6	10^9
Миллиметр, мм	10^{-3}	1	10^3	10^6
Микрометр, мкм (устар. микрон, мк)	10^{-6}	10^{-3}	1	10^3
Нанометр, нм (устар. миллимикрон, ммк)	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1

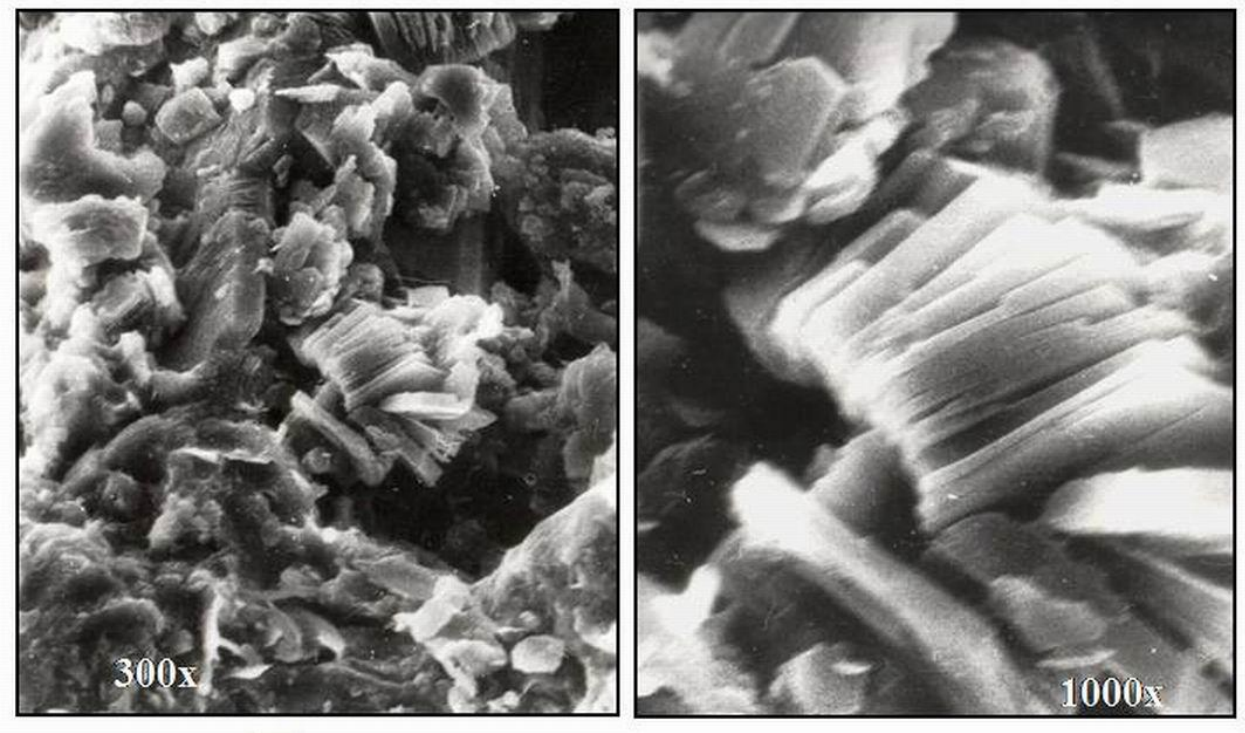


Рис. I.10.14. Поровое пространство полимиктового песчаника, заполненное каолинитом. Нижний мел, скважина 45-Р геофизическая (Западная Сибирь). По А. Д. Дзюбло: Презентация «Породы – коллекторы нефтегазовых месторождений Арктического шельфа» (MrMarker.ru)

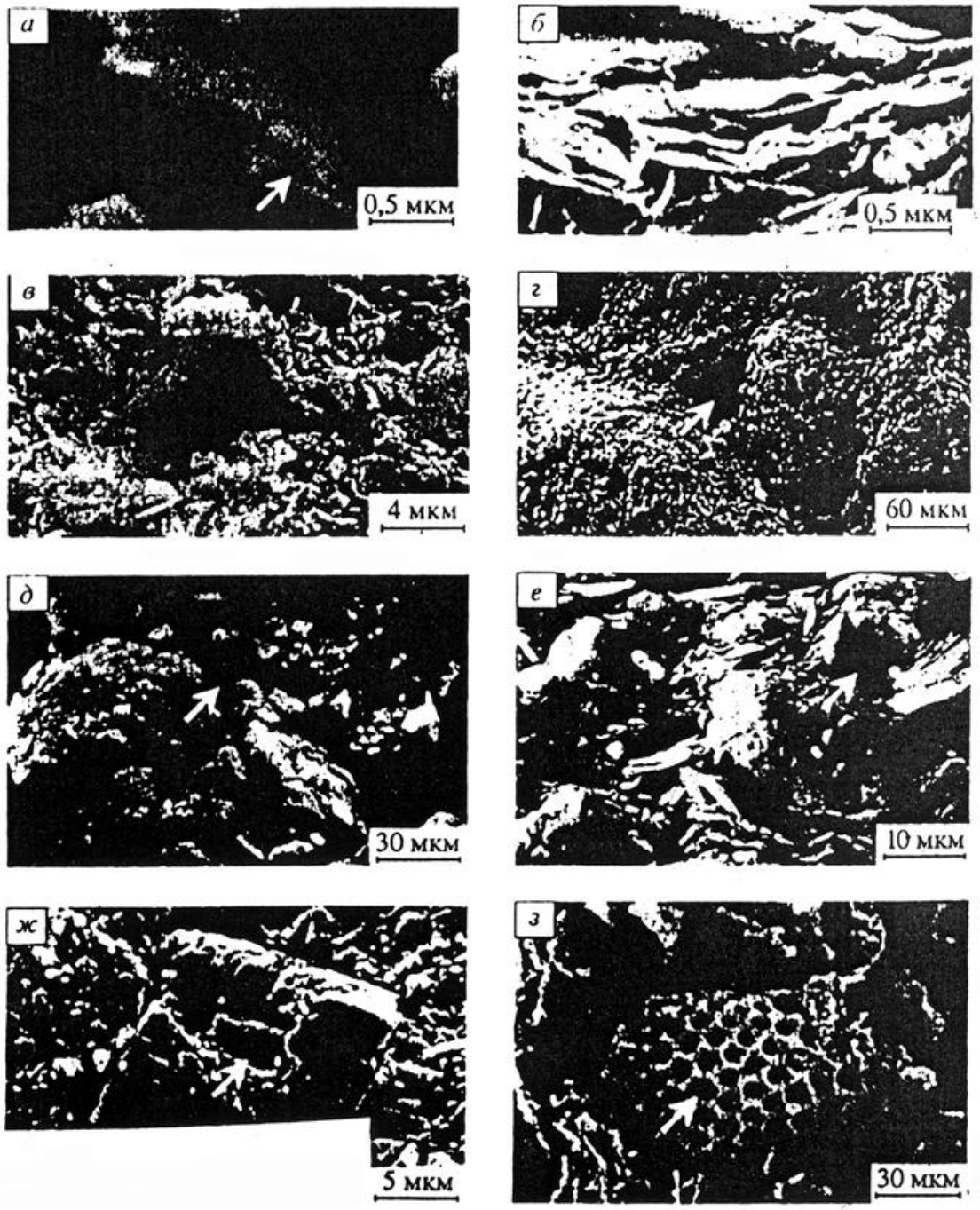


Рис. I.10.15. Типы пор в глинистых породах (В. И. Осипов и др., 2001, с. 20):

а – межчастичные; *б* – межультрамикроагрегатные; *в* – межмикроагрегатные; *г* – межагрегатные; *д* – межзернистые; *е* – межмикроагрегатно-зернистые; *ж* – внутризерновые; *З* – поры биогенного происхождения

I.11. ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА

I.11.1. Основные параметры

Таблица I.11.1

Основные физические свойства пород (В. Д. Ломтадзе, 1990, с. 106; с дополнением)

Параметр	Определение	Единицы измерения	
		СГС	СИ
Плотность	Физическая характеристика тела, вещества, горных пород, численно равная массе единицы объема тела, т. е. отношение массы твердой, жидкой и газовой фаз к его объему	г/см^3	кг/м^3
Минеральная плотность	Отношение массы твердой фазы горной породы (минерала) к объему твердой фазы	г/см^3	кг/м^3
Вес удельный	Параметр, определяющий притяжение горных пород и характер создаваемого ими аномального гравитационного поля. Отношение веса горной породы (минерала) к объему породы (минерала)	дин/см^3	Н/м^3
Пористость общая	Совокупность всех сообщающихся и изолированных пустот в минеральном скелете породы	%	%
Пористость открытая	Совокупность пустот в минеральном скелете породы, сообщающихся между собой и с атмосферой	%	%
Пористость эффективная	Часть порового пространства, заполненного двигающимся по нему флюидом	%	%
Коэффициент пористости	Отношение объема пор к объему породы	–	–
Остаточная вода	Содержание рыхло и крепко связанной воды, занимающей часть полезного объема открытой пористости	% к объему	%
Проницаемость	Способность пород пропускать через себя жидкости и газ. Физический смысл размерности (м^2) заключается в том, что проницаемость как бы характеризует величину площади сечения каналов пористой среды, по которым в основном происходит фильтрация	миллидарси	1,02×10^{-4} м^2
Предел прочности на растяжение		кгс/см^2	
Модуль продольной упругости (модуль Юнга)		кгс/см^2	
Коэффициент относительных поперечных деформаций (коэфф. Пуассона)		–	
Коэффициент теплопроводности		Вт/м•К	
Удельная теплоемкость		Дж/кг•К	
Удельное электрическое сопротивление (УЭС)		Ом•м	

Важнейшими параметрами, определяющими свойства пород, которые могут содержать углеводороды, являются **пористость** (англ. porosity), определяющая отношение объема пор к объему породы и измеряемая в процентах (**$К_п$, %**), и **проницаемость** (англ. permeability) (**$К_{пр}$**). Физический смысл проницаемости заключается в том, что она характеризует площадь сечения каналов пустотного пространства, по которым происходит движение флюидов. При оценке проницаемости используют размерность мкм^2 (внесистемная единица Дарси – Д) или 10^{-3}мкм^2 (мД: миллидарси).

Проницаемость ранее измерялась в Дарси по имени Анри Дарси, предложившего в 1856 г. уравнение для определения фильтрации $Q = (KS/M)\cdot(dp/dx)$, где Q – объемный расход жидкости в единицу времени; K – постоянная проницаемости; S – площадь поперечного сечения; M – вязкость жидкости; dp/dx – гидравлический градиент, или разница в давлении в направлении течения x.

Это уравнение дано для ламинарного течения флюидов в пористых средах; при заданном значении K скорость фильтрации через породы прямо пропорциональна перепаду давления. 1 Дарси равно $1\cdot10^{-12}$м^2.

В связи с ограниченным наличием керна многие параметры оцениваются по результатам геофизических исследований скважин (ГИС).

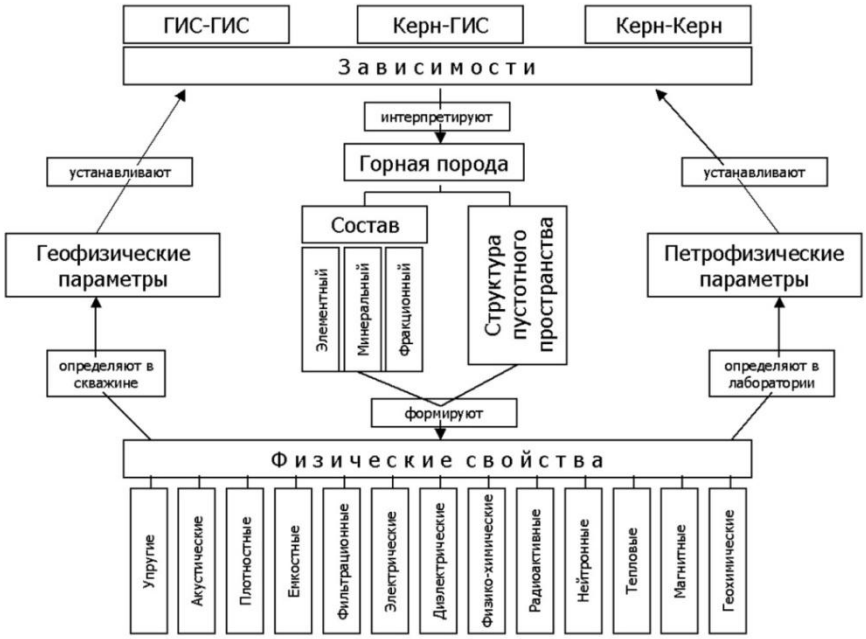


Рис. I.11.1. Схема взаимодействия между свойствами горной породы, ее лабораторными характеристиками и геофизическими параметрами, по Н. Н. Богданович; из (М. К. Иванов и др., 2008, кн. 1, с. 39)

I.11.2. Взаимосвязь и изменения пористости и проницаемости

Зависимости между двумя главными параметрами, характеризующими *приёмистость* коллекторов – пористостью и проницаемостью, удобнее всего показывать на **кроссплотах** (англ. cross– перекрестный + plot – графика). Этот термин обычно используется именно в науках о Земле и иллюстрирует связь между многократными наблюдениями, как правило, по двум осям. Оси могут быть масштабированы как линейно (обычно для пористости), так и логарифмически (для проницаемости).

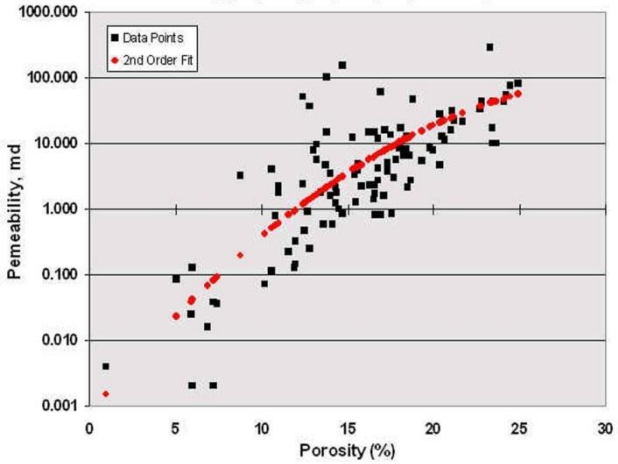


Рис. I.11.2. Кросс-плот, иллюстрирующий связь пористости (Porosity), % и проницаемости (Permeability), mD:
Data Points – точки наблюдений; 2nd Order Fit – аппроксимация 2-го порядка

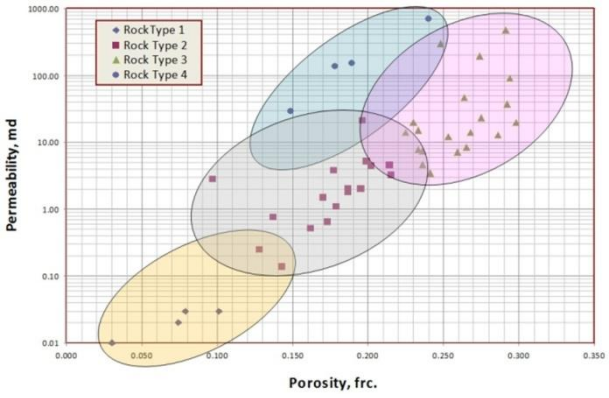


Рис. I.11.3. Выделение типов пород (Rock Type) на кросс-плоте

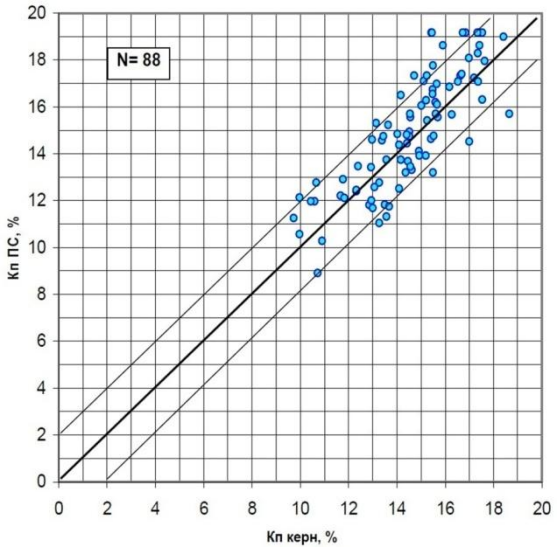


Рис. I.11.4. Кроссплот «$К_п$ ГИС – $К_п$ керн». $К_п$ ГИС получен по данным электрометрии (ПС). Н. С. Гудок, 1970; из (М. К. Иванов и др., 2008. Кн. 1, с. 48)

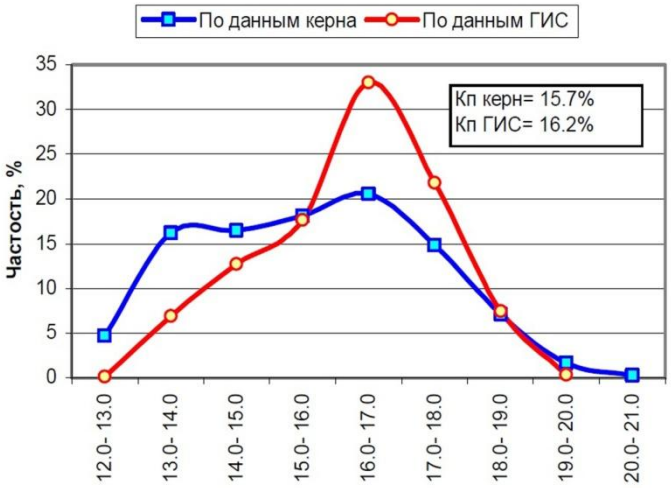


Рис. I.11.5. Сопоставление распределений «$К_п$ ГИС» и «$К_п$ керн», представленных на рис. I.11.4.

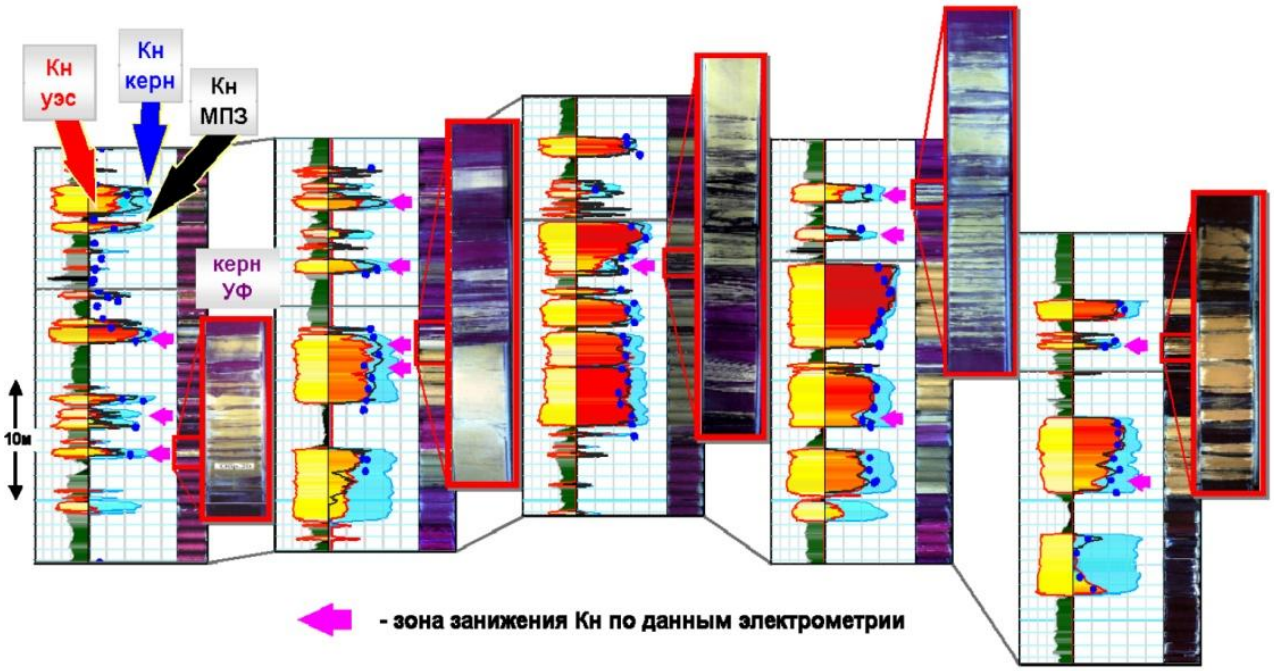


Рис. I.11.6. Сопоставление оценки $К_н$ по данным ГИС, керна и капиллярной модели (А. В. Хабаров, 2010, с. 15):

$К_н$ – коэффициент нефтенасыщенности; УЭС – удельное электрическое сопротивление; МПЗ – потенциал микрозонд; УФ – ультрафиолет

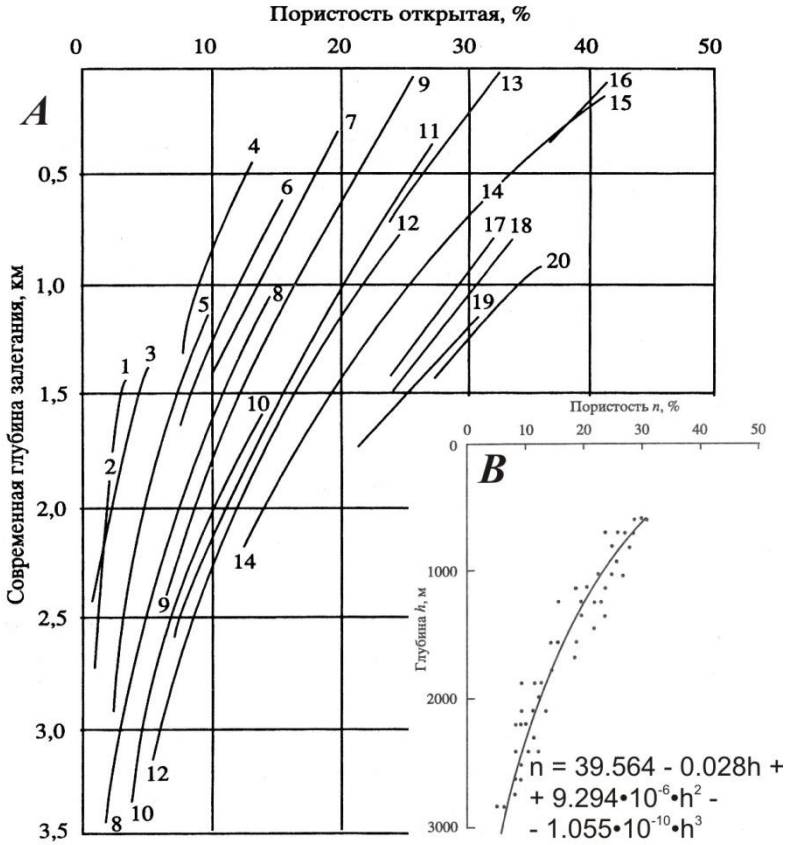


Рис. I.11.7. Зависимости открытой пористости от глубины погружения алевритовых и глинистых осадков: А – для различных нефтегазоносных площадей европейской части России (Литолого-петрографические…, 1990); В – обобщенный график изменения пористости с глубиной для глинистых отложений фаций мелкого шельфа и подвижного прибрежного мелководья (В. И. Осипов и др., 2001, с. 164)

Эпигенетическое уплотнение пород при их погружении ведет к снижению их пористости (5-10 % на 1 км глубины для терригенных пород). Однако в ряде случаев на некоторых глубинах происходит вторичное разуплотнение, обычно связанное с диссоциацией карбонатов при температуре 75-150°.

Рис. I.11.8. Схема уплотнения и разуплотнения песчаников, известняков и глинистых пород при повышенном напряжении теплового поля (Н. А. Минский, 1979):

ОК – область оптимальных свойств коллекторов; с.у.1 – ступенчатое уплотнение глинистых пород; с.у.2 – ступенчатое уплотнение коллекторов; Гр – разуплотнение глинистых пород в результате их гидроразрыва на глубинном уровне ступенчатого уплотнения коллекторов

I.11.3. Обобщенные параметры

FZI – индикатор гидравлического типа коллектора (Flow Zone Indicator), являющийся трансформантом из уравнения Кармена-Казени и вычисляемый по формуле $\frac{0{,}0314\sqrt{k/\varphi}}{\varphi/(1-\varphi)}$, где k – проницаемость (permeability); φ – пористость (porosity).

HFU или HU – гидравлическая единица потока (Hydraulic Flow Unit), определяемая как «представительный элементарный объем породы, внутри которого геологические и петрофизические свойства, влияющие на течение жидкости, взаимно согласованы и предсказуемо отличимы от других пород».

RQI – индекс качества коллектора (Reservoir Quality Index) = $0{,}0314\sqrt{\frac{k}{\varphi}}$.

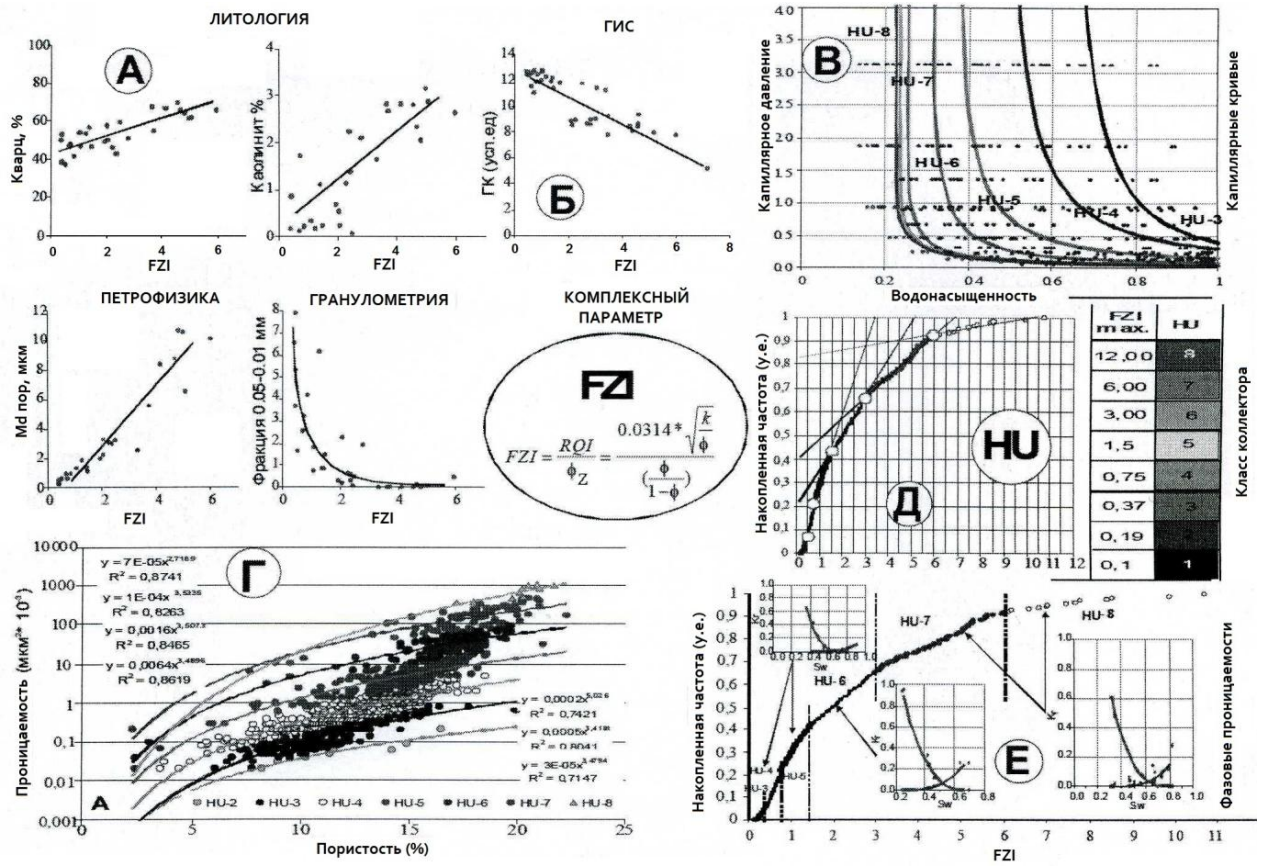


Рис. I.11.9. Выделение классов коллектора на примере пласта Ю^3 Крапивинского месторождения (И. Н. Кошовкин, В. Б. Белозеров, 2007):

А, Б – корреляционные зависимости FZI с различными свойствами пород;

В – классы коллекторов, выделяемые по гидродинамическим параметрам;

Г – положение классов коллекторов в координатах «пористость – проницаемость»;

Д – систематизация классов коллекторов в единицах FZI;

Е – гидродинамические характеристики выделенных классов

Таблица I.11.2

Сводная таблица литогенетических типов, гидравлических типов коллектора с граничными параметрами пористости и проницаемости по месторождениям Двуреченско-Крапивинской зоны. Юго-восток Западной Сибири, горизонт Ю-1 верхневасюганской подсвиты (О. С. Чернова, А. В. Клименко, 2009)

Характеристика литогенетического типа	HFU	Средние значения FZI	Открытая пористость, %	Проницаемость к, мД	Месторождения		
					X	E	F
I – средне-, крупнозернистый песчаник, массивный, хорошо сортированный,	1+2	7.6 – 6.5	18 – 26	590 - 2480	+	+	-
II – средне-, реже крупнозернистый песчаник, массивный, среднесортированный,	3	4,1	18 – 20	160	+	+	+
III – средне-, мелкозернистый массивный песчаник, средне-сцементированный, плохо сортированный, с редкими углистыми включениями и намывами глинисто-слюдистого материала с пятнистым нефтенасыщением	4	2	15 – 17,4	5 - 92	+	–	–
IV - мелкозернистый массивный песчаник, средне-сцементированный с редкими прослоями глинисто-углистого материала, с РД и редкой биотурбацией	5	1,1	12 – 14,5	5,6	+	-	
V - мелкозернистый до тонкозернистого песчаник горизонтально слоистый, с прослойками глинистого материала, с РД, и редкой биотурбацией	6	0,64	9 – 11	1,3	+	+	+
VI – тонкозернистый песчаник, песчанистый алевролит, слоистый, биотурбированный, с конкрециями пирита	7	0,39	7 – 8,5	0,34	+	+	+
VII - глинистый алевролит, с прослойками углисто-глинистого материала, с конкрециями пирита, с разнообразной слоистостью	8	0,24	3 – 6	0,13	+		

Типы I и II отнесены к мощным регрессивным песчаным телам барового типа; тип III – к «переходному» разрезу; IV – песчаным телам отмелевого типа (подводным песчаным языкам); V и VI – участкам, формировавшимся в условиях волнений (нижние части регрессивных баровых тел).

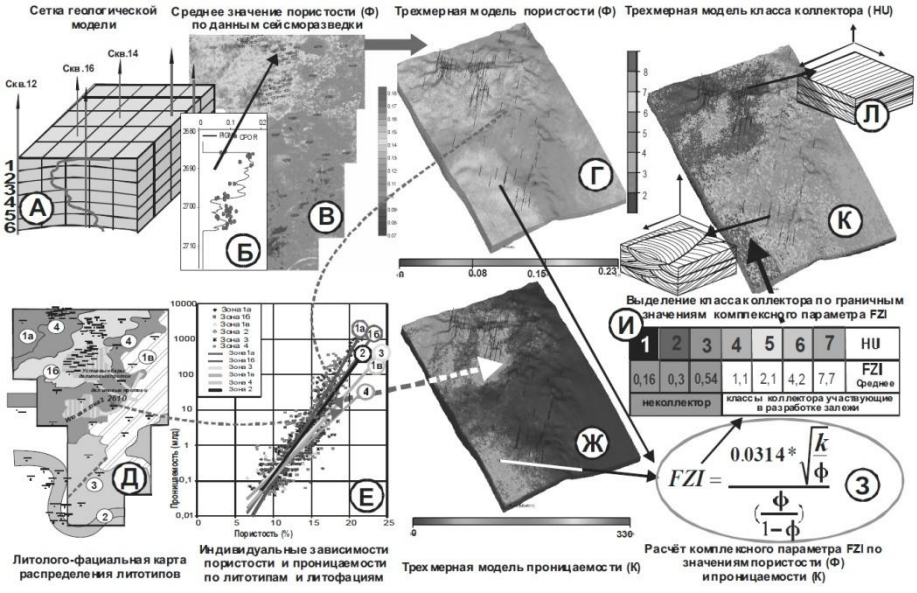


Рис. I.11.10. Последовательность построения петрофизической модели (И. Н. Кошовкин, В. Б. Белозеров, 2007):

Шаг 1. Формирование объемной сетки модели (А).

Шаг 2. Выделение совокупности классов коллектора (см. рис. I.11.5).

Шаг 3. Расчет индивидуальных зависимостей $К_п$ – $К_{пр}$ (Е).

Шаг 4. Расчет пористости и водонасыщенности по данным ГИС в скважинах (Б).

Шаг 5. Прогноз трехмерной модели проницаемости (Ж) по кубу пористости (Г), с учетом индивидуальных зависимостей (В) и общей картины (Д).

Шаг 6. Расчет трехмерной модели проницаемости коллектора с учетом данных сейсморазведки (В, Г).

Шаг 7. Построение трехмерной модели распределения классов коллектора (К) на основе расчета комплексного параметра FZI (З, И).

Шаг 8. Определение векторов анизотропии проницаемости для конкретных геологических ячеек (Л).

КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

I.12. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Рис. I.12.1. Классификация статистических моделей

I.12.1. Подготовка данных и одномерная статистика

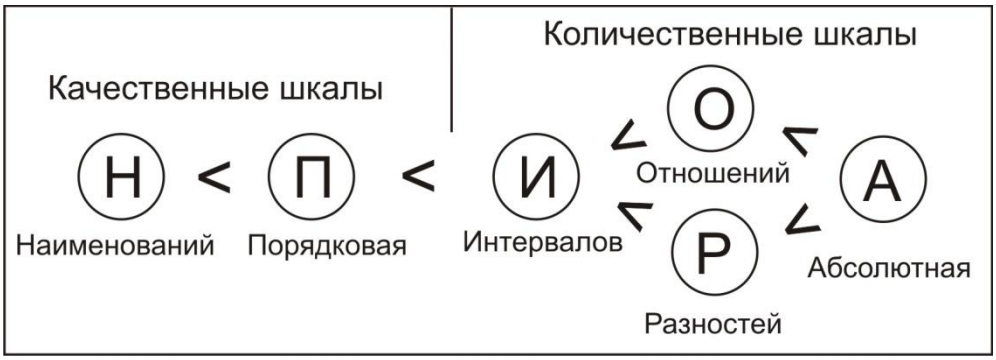


Рис. I.12.2. Иерархия шкал измерений. Слева – самая «слабая» шкала; справа – самая «сильная» (www.machinelearning.ru/wiki/index,php?title)

Метризация параметров производится в соответствии с видом их распределения, показанном на рис. I.9.3. Для многих природных процессов характерен **логарифмически-нормальный (логнормальный)** закон распределения (см. табл. I.2.1 и I.5.1). Принятие для расчетов натуральных или десятичных логарифмов не принципиально, поскольку они связаны постоянным множителем (ln10 = 2.3026).

Таблица. I.12.1

Сводная таблица исходных данных для N объектов, охарактеризованных К признаками

Объект (N)	Признаки (К)				
	$к_1$	$к_2$	$к_3$	…	$к_m$
n_1					
n_2					
n_3					
…					
n_n					

Примечания. 1. Должны быть заполнены **все** клетки. При нулевых значениях признака вписывается минимально допустимое значение; при отсутствии данных – средний показатель, если нет иных косвенных причин.

2. **Минимально** допустимый объем выборки для получения достоверных статистических характеристик составляет **30-40** наблюдений.

3. При оперировании целочисленными (например, кодовыми) параметрами следует пользоваться (для удобства) цифрами **одного** разряда (например, 0, … 9).

Статистические характеристики (см. также п. I.5.2)

Размах – разность между максимальными и минимальными значениями признака: $P = x_{max} - x_{min}$.

Медиана – средний член упорядоченного ряда значений.

Мода – наиболее часто встречающийся вариант ряда.

$$M_0 = x_0 + h\frac{f_m - f_{m-1}}{(f_m - f_{m-1})(f_m - f_{m*1})},$$

где M_0 – значение m моды;

x_0 – нижняя граница модального интервала;

h – величина интервала;

f_{m-1} – частота интервала, предшествующего модальному;

f_{m+1} – частота интервала, следующего за модальным.

Средние значения: 1) среднеарифметическое из всех измеренных значений x по набору 1, …, n: $\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$;

2) средневзвешенное для значений x с неотрицательными вещественными весами w_1, …, w_n:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i * x_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}.$$

При сумме весов = 1 формула упрощается: $\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} w_i * x_i$.

Если все веса w равны между собой, то среднеарифметическое = средневзвешенному.

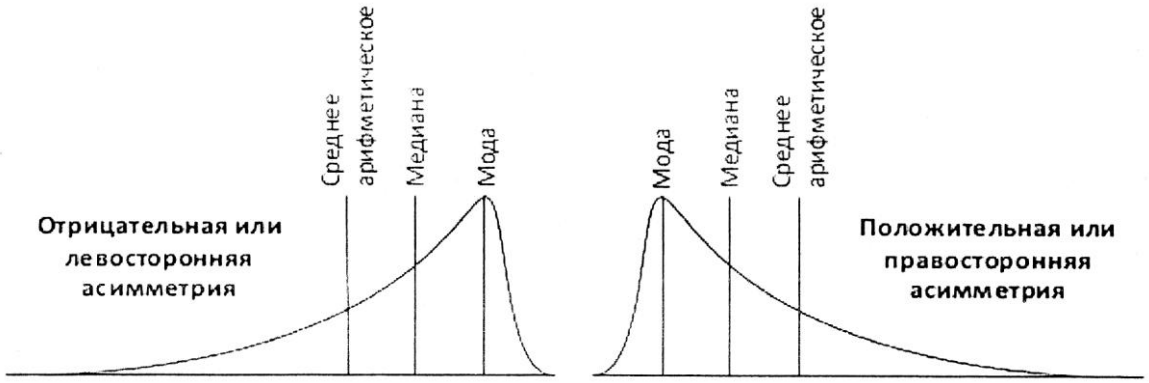


Рис. I.12.3. Соотношение между медианой, модой и средним значением (см. также рис. I.5.5, стр. 45)

Дисперсия – это число, равное среднему квадрату отклонений значений случайной величины от ее среднего значения:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2.$$

Среднеквадратичное отклонение – это число, равное квадратному корню из дисперсии:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}.$$

Среднеквадратичное отклонение имеет размерность, совпадающую с размерностью случайной величины и среднего значения. Например, если значения случайной величины измерены в метрах, то и среднеквадратичное отклонение также будет выражаться в метрах.

Коэффициент вариации – это отношение среднеквадратичного отклонения к среднему значению:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}}.$$

Коэффициент вариации выражается в долях единицы или (после умножения на 100) в процентах. Вычисление коэффициента вариации имеет смысл для положительных случайных величин.

Дисперсия, среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации, а также размах являются мерами рассеяния значений случайной величины около среднего значения. Чем они больше, тем сильнее рассеяние.

Асимметрия – степень асимметричности распределения значений случайной величины относительно среднего значения:

$$A = \frac{1}{n\sigma^3}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^3.$$

Эксцесс – степень остро- или плосковершинности распределения значений случайной величины относительно нормального закона распределения:

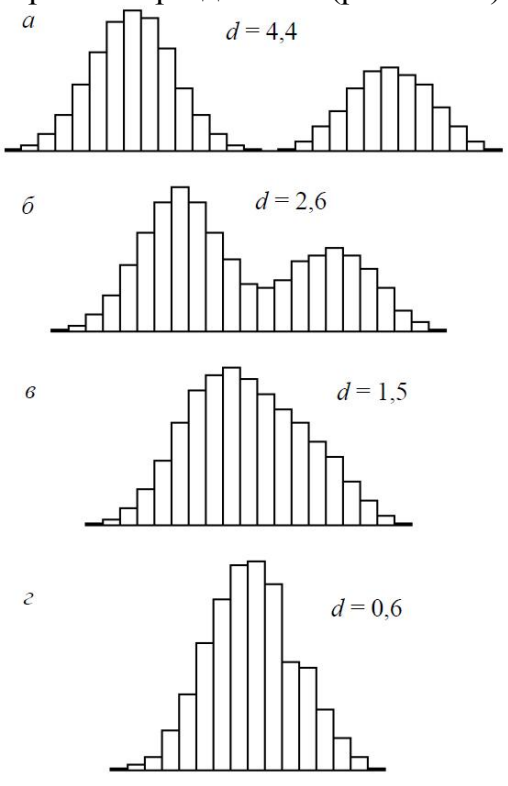
$$E = \frac{1}{n\sigma^4}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^4 - 3.$$

Асимметрия и эксцесс являются безразмерными величинами. Они отражают особенности группировки значений случайной величины около среднего значения.

При расчетах важно оценить **однородность** выборки (см. рис. I.2.8, е; I.5.6, I.5.7). Важным показателем, определяющим возможность аналитического разделения смешанных совокупностей при условии нормального их распределения, является *раздвиг* распределений:

$$d = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}}.$$

Чем больше раздвиг, тем легче разделить неоднородную совокупность на однородные и определить их характеристики. Можно выделить несколько вариантов разделения (рис. I.12.4):



Раздвиг очень большой ($d > 4$), гистограмма распадается на две самостоятельные гистограммы, не перекрывающие друг друга (рис. I.12.4, *а*). 2. Раздвиг большой ($d = 2 \div 4$), гистограмма является бимодальной, совокупности частично перекрываются (рис. I.12.4, *б*). Однородные совокупности можно разделить либо аналитическим путем, либо используя геологическую информацию. 3. Раздвиг малый ($d = 0{,}7 \div 2$), гистограмма одномодальная, но имеет искаженную асимметричную форму (рис. I.12.4, *в*). Аналитическое разделение ее на однородные совокупности все же возможно. 4. Раздвиг незначительный ($d < 0{,}7$), гистограмма одномодальная (рис. I.12.4, *г*), разделить ее на однородные совокупности практически невозможно.

Рис. I.12.4. Характер гистограмм при различном раздвиге (Г. С. Поротов, 2006, с. 77)

I.12.2. Двухмерные модели

При оценке наличия/отсутствия зависимости между двумя переменными особое значение имеет **коэффициент корреляции *r***:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2},$$

где x_i и y_i – значения переменных в соответствующих выборках, а $\bar{x}$ и $\bar{y}$– средние значения этих величин.

Поэтому для решения вопроса о взаимосвязи исследуемых переменных необходимо производить сравнение вычисленного r с его критическим значением $r_{кр}$, зависящим от объема выборки n и уровня значимости α (обычно 99 и 95 % или 0,01 и 0,05). Принято считать, что связь значима, если $|r| \le r_{кр}$ при α =0,01, и «слабо значима», если $|r| \le r_{кр}$ при α = 0,05. Пример решения приведен на рис. I.12.5. Здесь объем выборки N составил 20, а, соответственно, N-2 = 18. В соответствии с табл. I.12.3 находим критические значения: $r_{0,01}$ = 0,444; $r_{0,05}$= 0,561.

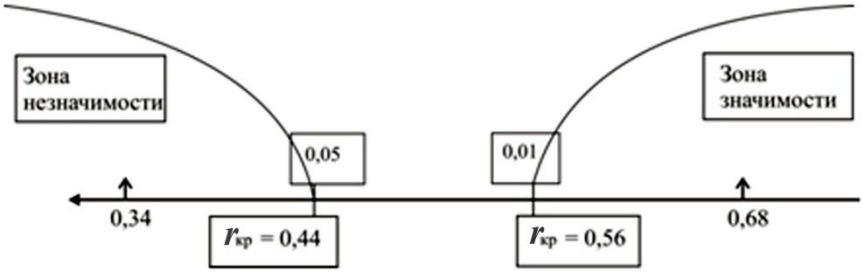


Рис. I.12.5. Определение положения расчетных показателей в полях значимости: связь с r = 0,34 попадает в зону незначимости ($r<r_{0,05}$); связь с r = 0,68 – в зону значимости (r > 0,68)

Таблица I.12.2

Критические значения для выборочного коэффициента корреляции Пирсона (Спирмена) (принимать значения для $f = n - 2$)

f	r		f	r		f	r	
	0,05	0,01		0,05	0,01		0,05	0,01
1	0,997	1,000	16	0,468	0,590	110	0,186	0,242
2	0,950	0,990	17	0,456	0,575	120	0,178	0,232
3	0,878	0,959	18	0,444	0,561	130	0,171	0,223
4	0,811	0,917	19	0,433	0,549	140	0,165	0,215
5	0,754	0,875	20	0,423	0,537	150	0,160	0.210
6	0,707	0,834	25	0,381	0,487	200	0,139	0,182
7	0.666	0,798	30	0,349	0,449	300	0,113	0,148
8	0,632	0.765	35	0,325	0,418	400	0,098	0,129
9	0,602	0,735	40	0,304	0,393	500	0,088	0,115
10	0,576	0,708	50	0,273	-0.354	600	0,080	0,105
II	0,553	0,684	60	0,250	0,325	700	0,074	0,097
12	0.532	0,661	70	0,232	0,302	800	0,069	0,091
13	0.514	0,641	80	0,217	0,283	900	0,065	0,086
14	0.497	0,623	90	0,205	0,267	1000	0,062	0,081
15	0.482	0,606	100	0,195	0,254			

При оценке нескольких показателей результаты удобно показывать в виде *корреляционной матрицы и графа связей* (см. также п. I.9.2).

Таблица I.12.3

Корреляционная матрица (справа вверху) и матрица смежности (слева внизу) для характеристики связей между признаками пород

(В. П. Алексеев, Е. Б. Печинина, 1989, с. 54)

Признак		S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
Повышение размерности материала	S_1	1.00	**-0.51**	**0.35**	**-0.17**	**-0.74**	0.05
Улучшение сортированности	S_2	**-1**	1.00	**-0.45**	*-0.10*	**0.14**	**0.52**
Увеличение интенсивности гидродинамики (по текстуре)	S_3	**+1**	**-1**	1.00	**-0.11**	**-0.64**	0.05
Увеличение фрагментарности растительной органики	S_4	**-1**	*-1*	**-1**	1.00	**0.48**	**-0.31**
Повышение количества растительной органики	S_5	**-1**	**+1**	**-1**	**+1**	1.00	**-0.32**
Удаление области сноса	S_6	0	**+1**	0	**-1**	**-1**	1.00

n = 603; $r_{0,01}$ = ± 0,105; $r_{0,05}$ = ± 0,080.

Полужирным выделены значимые связи с $r>r_{0,01}$; курсивом – малозначимые связи $r_{0,05}<r<r_{0,01}$.

Пример графа связей для элементов-примесей приведен на рис. I.9.5. На рис. I.12.6 приводится граф связей для расчетов, выполненных по массиву, охарактеризованному в табл. I.12.3.

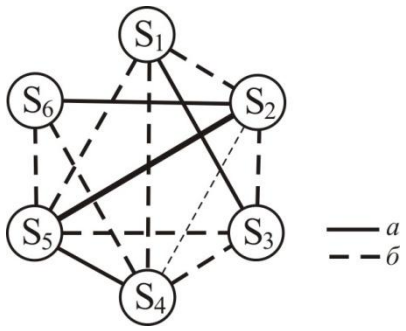


Рис. I.12.6. Граф связей к корреляционной матрице в табл. I.12.3 (сплошные линии – положительные, пунктирные – отрицательные связи): *а* – $r>r_{0,01}$; *б* – $r_{0,05}<r<r_{0,01}$

Непосредственное определение **как** наблюдаемая случайная величина зависит от одной или нескольких других величин, выполняется **регрессивным анализом**. Если между величинами x и y установлена линейная статистическая зависимость, то представляет интерес найти ее выражение в виде уравнения прямой линии $y = ax + b$ (где a и b – коэффициенты). Такое уравнение называется *уравнением регрессии*. Если величина x неслучайная, то существует одно уравнение регрессии. Если обе величины (x и y) случайные, то имеется два уравнения регрессии и можно вычислять зависимости как y от x, так и x от y. Расчет уравнения сводится к определению наиболее вероятного значения y, когда известно значение x. Уравнения линейной зависимости через статистические характеристики, охарактеризованные выше:

$$y = \bar{y} + r\frac{\sigma_y}{\sigma_x}(x - \bar{x}).$$

Аналогичный вид имеет второе уравнение зависимости x от y:

$$x = \bar{x} + r\frac{\sigma_x}{\sigma_y}(y - \bar{y}).$$

Эти уравнения пересекаются в точке средних значений $\bar{x}$ и $\bar{y}$.

I.12.3. *N*-мерные модели

Среди моделей этого вида наиболее распространены и эффективны факторный и кластерный анализ.

Факторный анализ

Факторный анализ — один из распространенных в геологии методов многомерной статистики. Его сущность сводится к замене набора исходных переменных (признаков) новыми переменными – *факторами*, получаемыми на основе матрицы парных коэффициентов корреляции между признаками. Факторы не коррелируются друг с другом, расположены в порядке убывания дисперсий (т. е. по мере убывания вклада в общую изменчивость системы) и обладают еще одним, пожалуй, наиболее важным качеством: факторов со значимым вкладом в дисперсию всегда *меньше*, чем исходных признаков. При этом их количество убывает с возрастанием числа линейных связей между исходными переменными.

Результаты расчета факторов для примера, охарактеризованного корреляционной матрицей (см. табл. I.12.2), приведены в табл. I.12.4.

Таблица I.12.4

Матрица факторных нагрузок

Признаки S		Факторы F			Общность
		1	2	3	
Повышение размерности материала	S_1	0,94	-0,13	0,14	0,92
Улучшение сортированности	S_2	-0,50	0,74	0,22	0,85
Увеличение интенсивности гидродинамики (по текстуре)	S_3	0,89	-0,14	0,23	0,87
Увеличение фрагментарности растительной органики	S_4	-0,36	-0,60	0,70	0,98
Повышение количества растительной органики	S_5	-0,86	-0,34	0,03	0,85
Удаление области сноса	S_6	0,12	0,85	0,38	0,87
Вклад		46,85	29,74	12,49	89,09

Анализ матрицы позволяет определить суть факторов. Так, первый фактор F_1, вобравший в себя основную дисперсию признаков S_1, S_3 и S_5, можно определить как *гидродинамический*. Второй фактор F_2 с главными признаками S_2 и S_6 интерпретируется как *фациальный*, определяемый расстоянием транспортировки материала. Третий фактор F_3, скорее всего, определяется изменчивостью признаков в конкретных обстановках осадконакопления.

Большой интерес может представить изображение проекции областей точек наблюдений на плоскости в новых координатах – значений факторов. Обычно используются оси двух первых факторов (рис. I.12.7). Выявляемая при этом *группировка* точек служит определенным «мостиком» к следующему виду анализа.

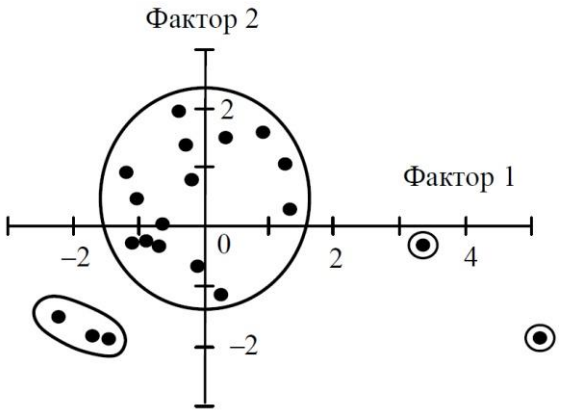


Рис. I.12.7. Проекция облака точек на плоскость первых двух факторов (Г. С. Поротов, 2006, с. 135)

Кластерный анализ

Сущность кластерного (англ. claster – пучок, скопление) анализа заключается в последовательном выделении групп объектов на базе установления сходства/различия между ними. Выделяют R-модификацию (для объектов) и Q-модификацию (для признаков) анализа. Пример для последовательной кластеризации элементов-примесей был приведен на рис. I.9.6. На рис. I.12.8 показан пример R-метода.

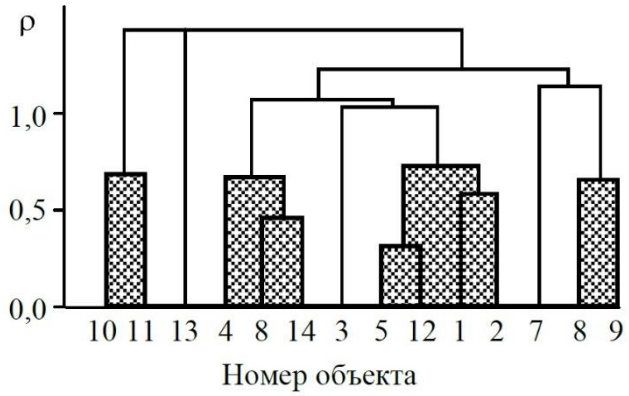


Рис. I.12.8. Пример кластеризации (R-метод) 14 исходных проб циркона (Г. С. Поротов, 2006, с. 141). Отчетливо выделяются четыре группы с близким характером (уровнем) связей и три самостоятельные пробы

Итоговым результатом кластеризации является *дендрограмма* (греч. dendron – дерево), отражающая иерархизацию в структуре исследуемого массива. Она предоставляет конкретные сведения, которые могут быть положены в основу различных геологических суждений (рис. I.12.9).

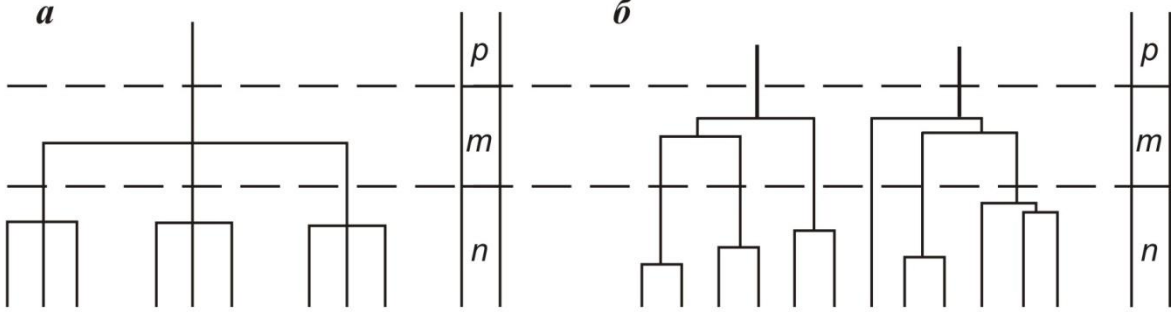


Рис. I.12.9. Иерархичность объектов на дендрограммах: ***а*** – четкая соподчиненность с выделением порядков (рангов) – *n*, *m*, *p*; ***б*** – объединение низших рангов в высшие в вероятностной (стохастической) шкале, с нечеткостью порядков (рангов) *n* и *m* и двумя совокупностями для ранга *p* (в данном случае понятия «порядок» и «ранг» мы принимаем синонимичными)

I.13. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Не требуется доказывать, что именно комплексный (лат. complex – связь, сочетание) подход к оценке полученных, разнородных и разноплановых результатов дает наибольший эффект при решении всех поставленных задач. Конкретный пример общего характера приведен на рис. I.13.1.

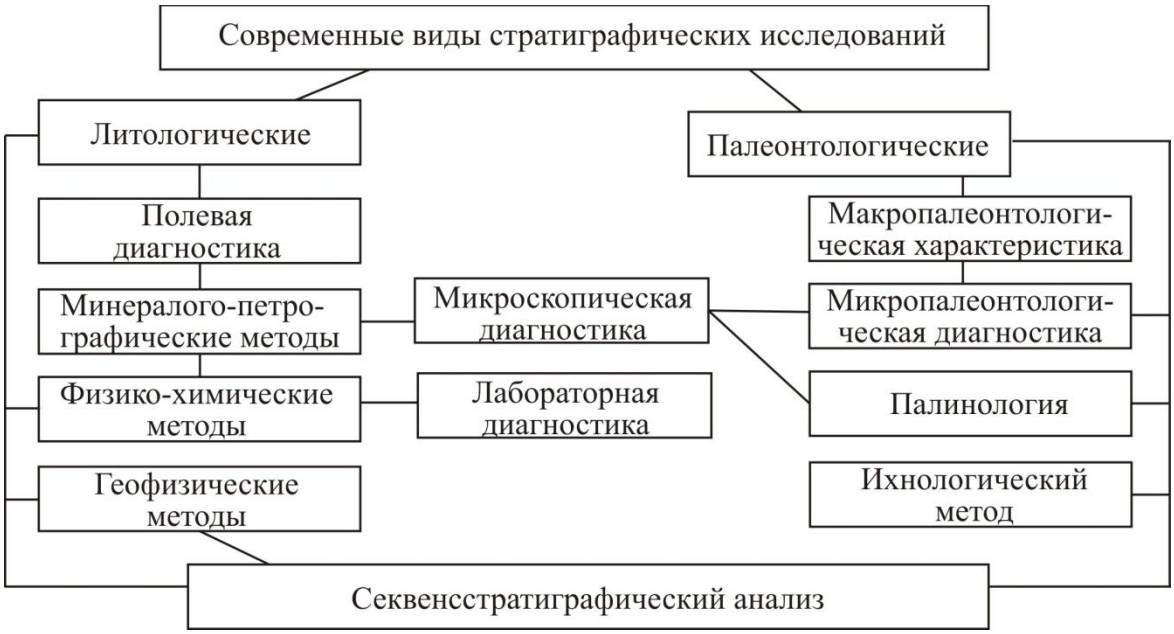


Рис. I.13.1. Комплексирование методов при стратиграфическом изучении объектов. По (С. О. Зорина, 2015; с существенными изменениями)

I.13.1. Комплексирование описания керна и микроскопических методов

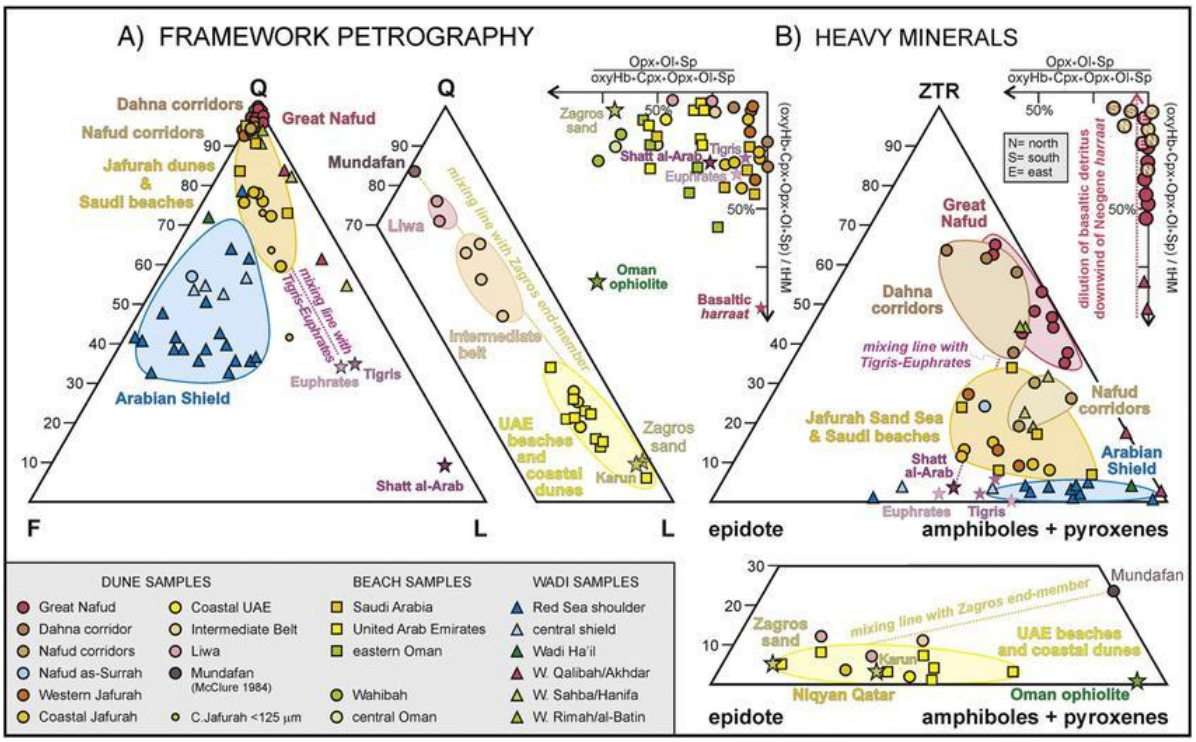


Рис. I.13.2. Петрографический состав (A) и минералогия (B) арабских песчаников (E. Garzanti e.a., 2013); L – обломки пород; ZTR – циркон + турмалин + рутил

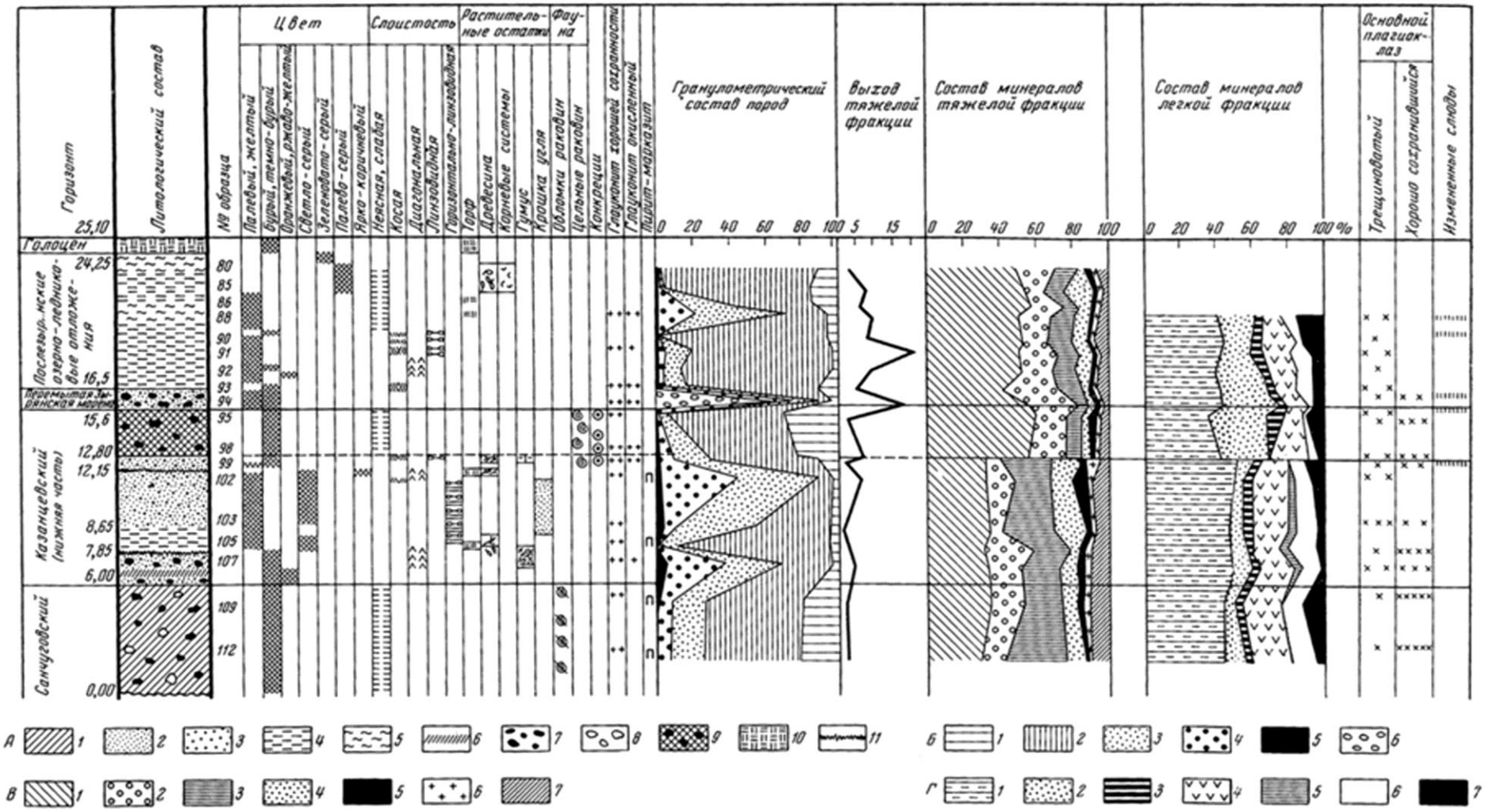


Рис. I.13.3. Литограмма обн. 34 (правый берег Енисея в 1.2 км выше мыса Каргинского) (Е. В. Шумилова, 1968): *А* – литологическая колонка: *1* – песчаные алевриты; *2* – песок мелкозернистый; *3* – песок среднезернистый; *4* – супесь; *5* – суглинки (алевриты) слоистые; *6* – суглинки неслоистые; *7* – галька; *8* – валуны; *9* – мусорные породы; *10* – торф; *11* – прослои лагунного торфа. *Б* – гранулометрический состав: *1* – зерна < 0,01 мм; *2* – 0,01-0,1 мм; *3* – 0,10-0,25 мм; *4* – 0,25-0,5 мм; *5* – > 0,5 мм; *6* – >1,0 мм. *В* – тяжелая фракция: *1* – пироксен моноклинный; *2* – ильменит и магнетит; *3* – группа эпидота; *4* – группа амфиболов; *5* – гранат, сфен, ромбический пироксен; *6* – циркон; *7* – прочие минералы. *Г* – легкая фракция: *1* – кварц; *2* – основной плагиоклаз; *3* – средний, кислый плагиоклаз; *4* – калиевый полевой шпат; *5* – разрушенные неопределимые зерна; группа амфиболов; *6* – обломки пород лимонитизированные и серицитизированные зерна; *7* – прочие минералы

I.13.2. Комплексирование микроскопических и лабораторных методов

Рис. I.13.4. Методы изучения глинистых пород (М. Ф. Викулова; из В. Г. Кузнецова, 2007, с. 322):

1 – полевое изучение; 2 – петрографическое изучение шлифа; 3 – гранулометрический анализ; 4 – химический анализ; 5 – термический анализ; 6 – спектральный анализ; 7 – изучение оптических свойств агрегатов ориентированных частиц глинистых минералов размером менее 0,001 мм; 8 – электронная микроскопия; 9 – электронно-графический анализ; 10 – рентгеновский; 11 – спектрофотометрический анализ; 12 – изучение инфракрасных спектров поглощения; 13 – минералогический анализ неглинистых минералов; 14 – изучение органического вещества; 15 – органические остатки – палеонтологические определения; 16 – изучение поглощенного комплекса катионов; 17 – определение водорастворимых солей; 18 – диализ и электродиализ; 19 – определение pH; 20 – определение Eh

Таблица I.13.1

Литолого-петрографическая характеристика выделенных литотипов пород
(А. В. Брылина и др., 2015)

Литология	Класс коллектора по Ханину	Кр/з +ср/з песч.фр. %	S песч. фр. %	S алевр. фр. %	S пелит. фр. %	Кп, %	Кпр, 10^{-3} мкм^2	Обычная плотность г/см^3	Остаточная водонасыщенность, %
Песчаники мелкозернистые алевритовые	4-6, редко до 3	1.6-9.7 4.4	52.4-74.3 62.9	23.8-45.3 34.5	0.7-5.1 2.6	7.5-19.9 15.6	0.01-102.05 7.5	2.13-2.59 2.3	32-97
Алевропесчаники (песчаники мелкозернистые алевритовые)	4-6, неколлекторы	0.6-5.0 2.8	45.3-59.4 52.5	38.8-48.0 43.1	0.0-10.3 4.4	8.0-18.9 15.0	0.01-24.71 3.0	2.16-2.64 2.3	38-98
Алевролиты мелко-крупнозернистые песчаные	5-6, неколлекторы	0.0-3.3 1.0	21.9-47.0 34.3	47.7-73.8 60.7	2.4-12.8 5.0	7.1-20.4 14.4	0.01-5.00 0.5	2.18-2.60 2.3	48-97
Алевролиты мелкозернистые, редко крупно-мелко-зернистые, сильно глинистые	неколлекторы	0.0-0.6 0.2	0.3-12.2 6.1	53.3-74.8 68.2	17.1-46.5 25.8	5.0-5.7 5.4	0.01-0.89 0.2	2.48-2.56 2.5	97,0
Аргиллиты алевритовые	неколлекторы	–	– 0,2	– 43,0	– 56,8	–	–	–	–
Песчаники средне-мелкозернистые алевритовые	4-6, редко до 3	23.8	– 66,2	– 31,6	– 2,2	14.0-21.8 16.9	0.30-74.6 9.8	2.12-2.58 2.3	30-96

Таблица I.13.2

Корреляционная матрица связей петрофизических свойств с литологическими параметрами (фрагмент: С. В. Видик и др., 2015)

		Литологические параметры														
		Фр. песч. средняя 0.5-0.25	Фр. песч. 0.25-0.16	Фр. песч. 0.16-0.125	Фр. песч. 0.125-0.1	Суммарная песчаная	Фр. алевритовая 0.1-0.063	Фр. алевритовая 0.063-0.05	Мелкая алевритовая 0.05-0.01	Суммарная алевритовая	Суммарная глинистая	Потери от HCl	Медианный диаметр	Коэф. сортировки	Коэф. асимметрии	Эксцесс
Фильтрационно-емкостные свойства	**Пласт АВ $_{1-3}$**															
	Кп	0,34	0,59	0,64	0,41	0,69	-0,07	-0,31	-0,81	-0,56	-0,75	-0,59	0,76	-0,65	0,05	0,07
	Кпр	0,84	0,91	0,59	-0,10	0,79	-0,56	-0,53	-0,48	-0,71	-0,39	-0,20	0,85	-0,33	0,06	0,13
	Объемная пл.	-0,27	-0,36	-0,33	-0,27	-0,41	-0,13	-0,03	0,23	0,02	0,54	0,81	-0,39	0,36	-0,07	-0,02
	Минер. пл.	-0,58	-0,72	-0,59	-0,01	-0,68	0,37	0,15	0,25	0,37	0,53	0,56	-0,68	0,24	-0,02	0,10
	УЭС	-0,13	-0,13	-0,08	-0,20	-0,16	-0,30	-0,28	-0,11	-0,11	0,33	0,93	0,04	0,02	-0,06	-0,02
	Кво	-0,38	-0,66	-0,62	0,04	-0,66	0,56	0,55	0,56	0,65	0,43	0,44	-0,70	0,29	0,12	0,18
	Пласт ЮВ $_{1}$															
	Кп	0,38	0,56	0,10	-0,21	0,56	-0,39	-0,48	-0,57	-0,57	-0,44	-0,64	0,53	-0,18	0,04	0,18
	Кпр	0,57	0,41	-0,21	-0,40	0,47	-0,42	-0,35	-0,38	-0,47	-0,36	-0,25	0,54	-0,30	0,36	0,48
	Объемная пл.	-0,48	-0,63	-0,13	0,28	-0,63	0,49	0,52	0,55	0,65	0,42	0,72	-0,62	0,22	-0,02	-0,19
	Минер. пл.	-0,44	-0,45	0,17	0,51	-0,38	0,51	0,29	0,21	0,41	0,17	0,59	-0,45	0,20	-0,12	-0,24
	УЭС	-0,17	-0,32	-0,19	0,03	-0,34	0,24	0,32	0,41	0,41	0,06	0,75	-0,27	-0,05	0,18	0,06
	Кво	-0,58	-0,75	0,00	0,50	-0,75	0,71	0,69	0,65	0,78	0,50	0,61	-0,73	0,24	-0,10	-0,23
	Весь разрез															
	Кп	0,19	0,38	0,37	0,24	0,47	-0,01	-0,22	-0,50	-0,36	-0,54	-0,59	0,43	-0,38	0,25	0,36
	Кпр	0,45	0,40	0,09	-0,13	0,40	-0,27	-0,24	-0,31	-0,38	-0,27	-0,22	0,46	-0,25	0,24	0,31
	Объемная пл.	-0,22	-0,35	-0,34	-0,21	-0,44	0,01	0,18	0,42	0,31	0,47	0,65	-0,41	0,37	-0,28	-0,38
	Минер. пл.	-0,28	-0,31	-0,09	0,11	-0,28	0,22	0,23	0,19	0,28	0,10	0,51	-0,32	0,10	-0,04	-0,12
	УЭС	-0,04	-0,10	-0,14	-0,11	-0,15	-0,05	-0,01	0,14	0,14	0,30	0,37	-0,14	0,04	0,07	0,01
	Кво	-0,43	-0,60	-0,40	-0,08	-0,69	0,30	0,48	0,66	0,62	0,58	0,52	-0,68	0,42	-0,29	-0,42

Таблица I.13.3

Корреляционная матрица связей между литологическими параметрами и составом глинистой фракции

		Состав глинистой фракции			
		Каолинит	Хлорит	Гидрослюда	Каолинит / (хлорит+ гидрослюда)
Литологические параметры	**Пласт АВ $_{1-3}$**				
	Суммарная песчаная	0,46	-0,41	-0,38	0,49
	Суммарная алевритовая	-0,48	0,43	0,39	-0,50
	Суммарная глинистая	-0,10	0,07	0,09	-0,15
	Пласт ЮВ $_{1}$				
	Суммарная песчаная	0,74	-0,55	-0,71	0,48
	Суммарная алевритовая	-0,74	0,55	0,70	-0,50
	Суммарная глинистая	-0,44	0,33	0,45	-0,23
	Весь разрез				
	Суммарная песчаная	0,36	-0,09	-0,45	0,35
	Суммарная алевритовая	-0,41	0,19	0,43	-0,40
	Суммарная глинистая	-0,09	-0,17	0,31	-0,08

Таблица I.13.4

Корреляционная матрица связей петрофизических свойств с составом глинистой фракции

		Состав глинистой фракции			
		Каолинит	Хлорит	Гидрослюда	Каолинит / (хлорит+ гидрослюда)
Фильтрационно-емкостные свойства	**Пласт АВ $_{1-3}$**				
	Кпо	0,32	-0,38	-0,19	0,36
	Кпр.	0,52	-0,46	-0,46	0,61
	Объемная плотность	-0,15	0,19	0,04	-0,16
	Минер. Плотность	-0,60	0,38	0,67	-0,61
	УЭС	0,10	-0,12	-0,08	0,06
	Кво	-0,55	0,60	0,33	-0,47
	Пласт ЮВ $_{1}$				
	Кпо	0,78	-0,51	-0,60	0,55
	Кпр.	0,45	-0,46	-0,39	0,70
	Объемная плотность	-0,74	0,45	0,56	-0,49
	Минер. Плотность	-0,35	0,23	0,22	-0,30
	УЭС	-0,43	0,27	0,41	-0,22
	Кво	-0,80	0,51	0,59	-0,61

I.13.3. Разработка петрофизической модели «керн – ГИС»

Рис. I.13.5. Обобщенная схема литолого-петрофизической настройки комплекса ГИС (М. К. Иванов и др., 2008, с. 4). См. также рис. I.11.1

По способу получения эмпирических петрофизических зависимостей различают следующие виды парных связей: керн – керн (к–к), геофизика – керн (г–к), геофизика – гидродинамика (г–гд), геофизика – геофизика (г–г) (В. М. Добрынин и др., 2004, с. 324-326).

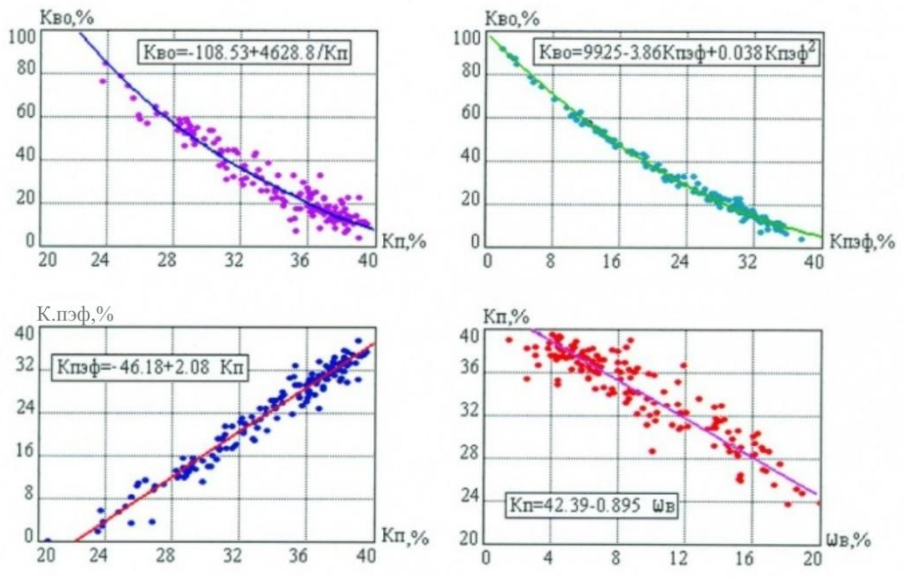
Связи типа к – к. Получают в результате измерений в лаборатории двух параметров – одного «геофизического» *y,* т. е. параметра, получаемого на первой стадии интерпретации ГИС, и второго – «геологического» параметра *x,* характеризующего фильтрационно-емкостные свойства.

Совокупность полученных результатов ($y_к$, $x_к$) обрабатывают известными приемами математической статистики, получая уравнение регрессии, коэффициент корреляции и т. д. (см. тему I.12).

Связи типа г – к. Стали получать, начиная с 60-х годов, в связи с созданием технологии отбора керна, обеспечивающей 100 %-й отбор и вынос керна на поверхность. Для получения связи г – к выполняют следующие процедуры: а) составляют кернограммы различных параметров, установленных на образцах керна, по изучаемому участку разреза скважины; б) в исследуемом интервале разреза по комплексу ГИС выделяют достаточно однородные пласты и определяют для каждого из них физические параметры для последующего сопоставления с данными керна; в) используя кернограмму и график результатов интерпретации ГИС для двух близких по своей природе параметров, привязывают данные керна к материалам ГИС по глубине, г) на каждой кернограмме выделяют пласты, установленные по материалам ГИС, определяют среднее значение параметра по керну для каждого пласта; д) в системе координат $\bar{y}_г$ (параметр, определенный по ГИС) – $\bar{x}_к$ (параметр, рассчитанный по данным керна) наносят точки, соответствующие различным пластам в изучаемом участке разреза.

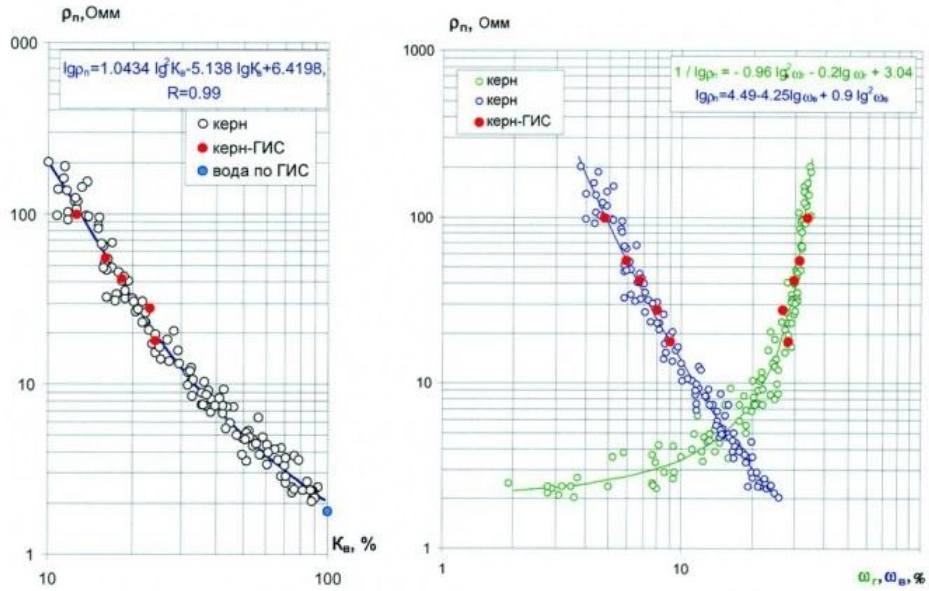
На основе полученной совокупности точек находят уравнение регрессии и статистические параметры, характеризующие тесноту связи, как и в предыдущем случае. Связи г–к заслуживают предпочтения, поскольку они соответствуют объектам того же уровня, что и пластовые пересечения, для которых определяются подсчетные параметры. Существенным ограничением возможности использования связей типа г – к является бурение небольшого числа базовых (параметрических) скважин, в которых производят сплошной отбор керна и расширенный комплекс ГИС.

A



$К_{во}$ – остаточная водонасыщенность; $К_{п.эф}$ – эффективная пористость; $w_в$ – объемная влажность; $К_п$ – пористость

B



$ρ_п$ – удельное электрическое сопротивление; $К_в$ – водонасыщенность; $w_в$ – объемная влажность

C

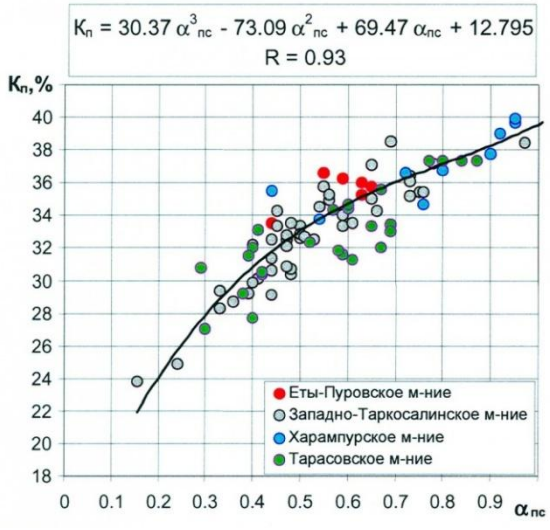


Рис. I.13.6. Последовательность в переходе определения коэффициентов пористости и газонасыщенности коллекторов сеномана Тюменской области (В. А. Жбаков и др., 2005):

A – петрофизические зависимости «керн – керн» (скв. 21 Западно-Таркосалинского месторождения);

B – зависимости удельного сопротивления от коэффициента водонасыщенности, объемной водо- и газонасыщенности: «керн – ГИС» (скв. 21 Западно-Таркосалинского месторождения);

C – сводная зависимость коэффициента пористости от относительной амплитуды кривой ПС (α) для месторождений Пуровского нефтегазоносного района

I.14. РЕШЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

I.14.1. Общие представления

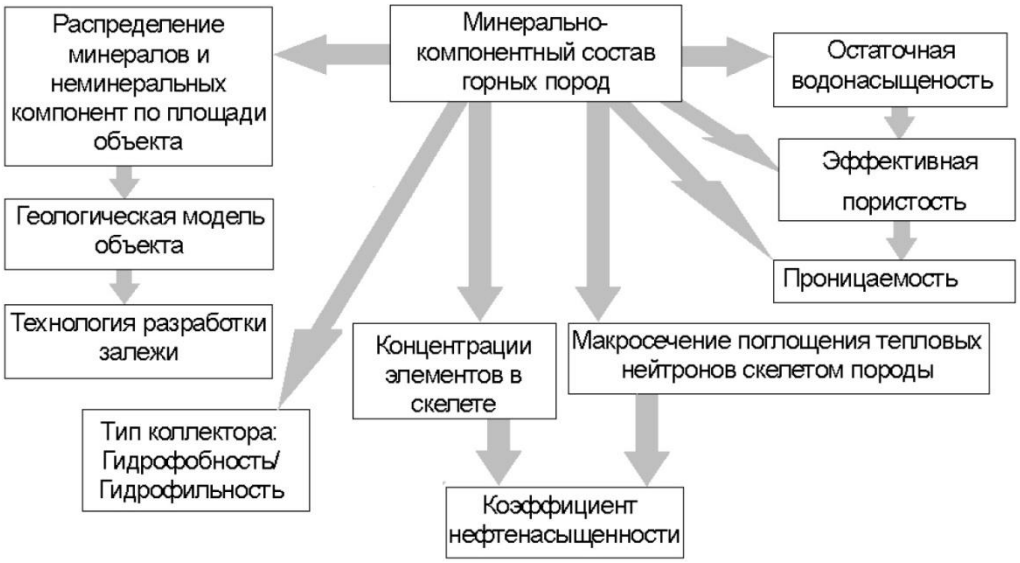


Рис. I.14.1. Задачи, решаемые на основании знаний о минерально-компонентном составе горных пород (М. К. Иванов, 2008. Кн. 1, с. 10)

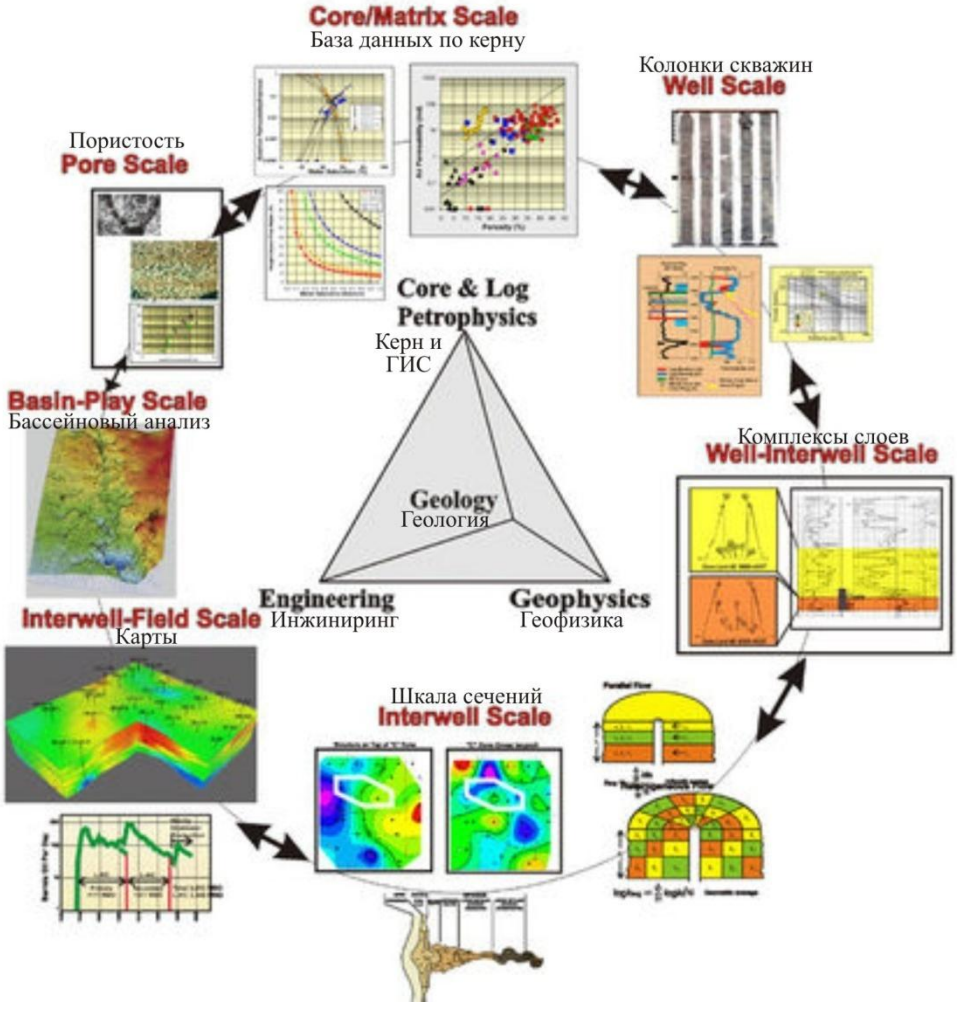


Рис. I.14.2. Масштабирование результатов исследований и обработки материалов (см. также рис. Вв.10): www.petromodel.ru

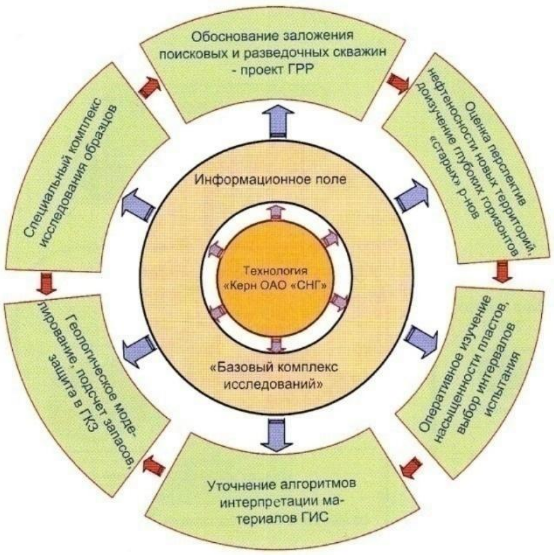
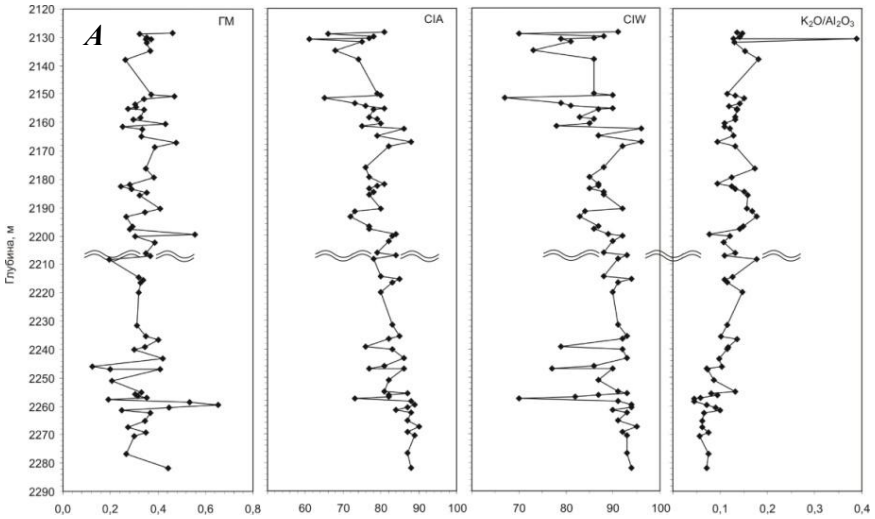


Рис. I.14.3. Основные направления использования результатов исследования керна по технологии «Керн ОАО «Сургутнефтегаз» (И. Ш. Усманов, 2006)

I.14.2. Традиционные способы обработки исходной информации



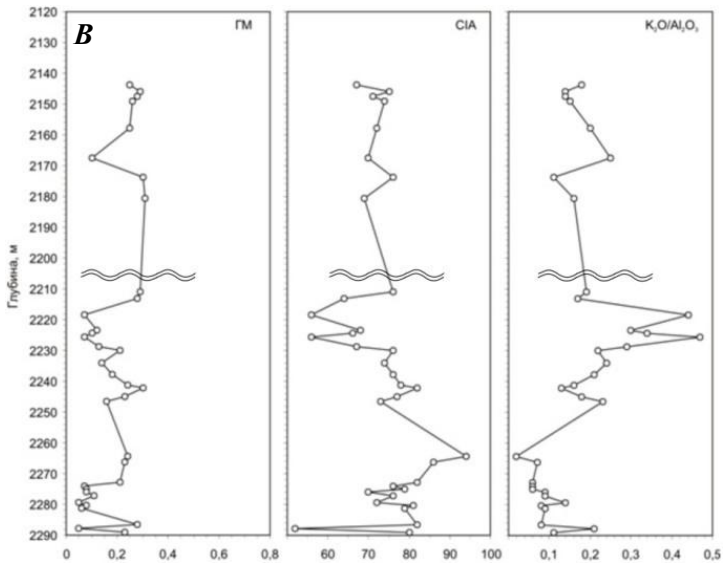


Рис. I.14.4. Основные тенденции изменения показателей вещественного состава по скв.10628 Ловинского месторождения (Шаимский нефтегазоносный район, Западная Сибирь) (Состав…, 2007, с. 72, 75):

A – для алевроаргиллитов: ГМ – гидролизатный модуль ($Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + MnO / SiO_2$): см. п. 1.8.2;
$CIA = 100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$: см. п. 1.8.2;
$CIW = 100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)$;

B – для песчаников

Двойной волнистой линией показана смена палеоландшафта: с континентального на прибрежно-мелководный. Если для алевроаргиллитов такая смена не отразилась на их составе, то для песчаников имело место существенное изменение

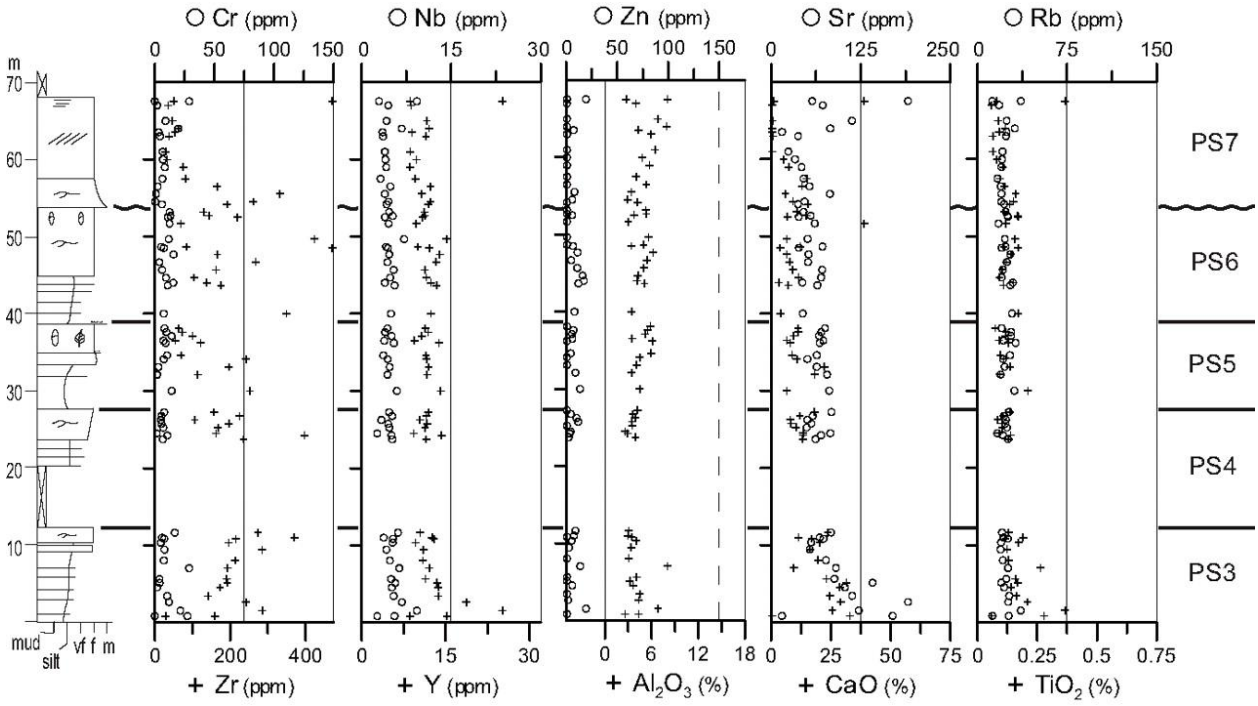


Рис. I.14.5. Геохимическая корреляция в дельтовых последовательностях: «шахматный» порядок. Нижнемеловые отложения, Юта, США (C. P. North, M. J. Hote, D. G. Jones, 2005)

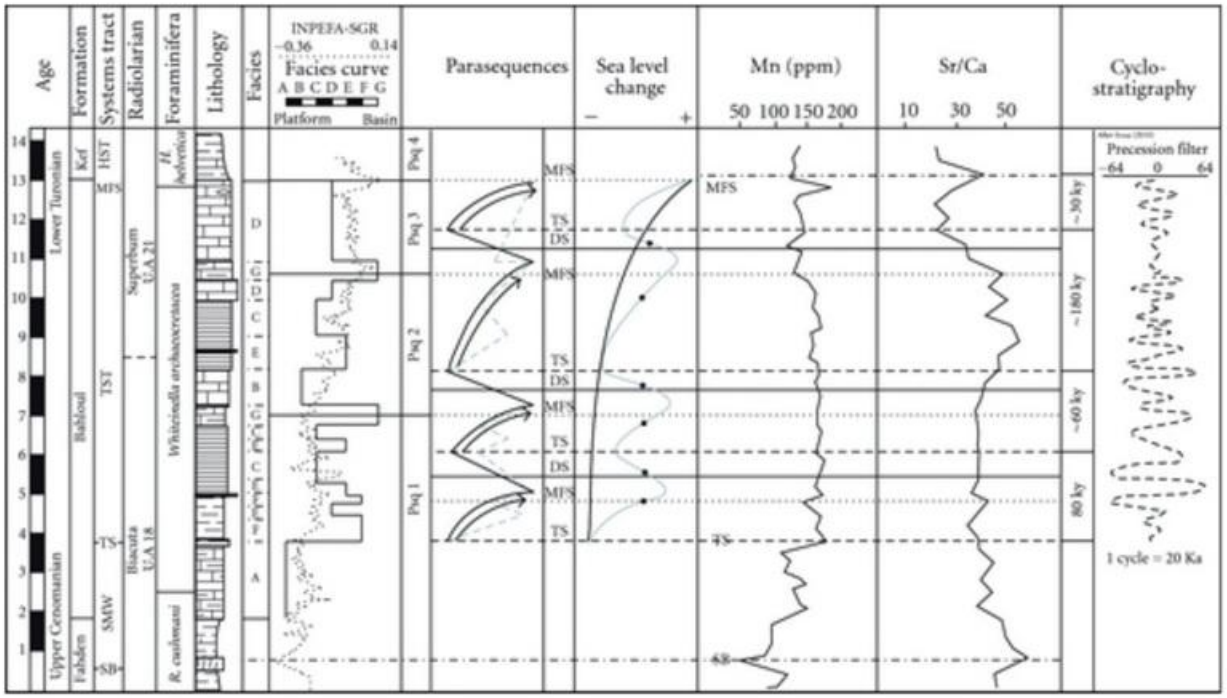


Рис. I.14.6. Характеристика парасиквенсов в сеноман-туронских отложениях центрального Туниса (M. Soua, 2012)

I.14.3. Нетипичные способы получения новой геологической информации

Приведем два примера, иллюстрирующие, как нестандартный подход к использованию «привычных» материалов позволяет получить нетривиальные сведения.

I. По большому количеству определений показателя R_0 (см. пп. I.7.2, I.7.3) в скважинах, пробуренных на территории Шаимского нефтегазоносного района Западной Сибири, выявлено нестандартное явление, названное зет-метаморфизмом (по форме сочетания аппроксимирующих линий, напоминающих букву Z). Выделено три уровня (границы) в скачках изменения R_0 (рис. I.14.7), имеющих точное геологическое истолкование.

1. Граница тюменской свиты и радомской пачки. Даже по небольшому количеству проб она выделяется самостоятельным эллипсоидом рассеяния в скв. Л50 и намечается самостоятельным же положением соответствующей пробы в скв. Л28.

2. Граница литоциклов ЛЦ-3 и ЛЦ-4, фиксируемая во всех шести скважинах и имеющая *углегеологическое* обоснование (Угленасыщенность…, 2006).

3. Граница между крупными комплексами отложений: озерно-аллювиальным и прибрежно-бассейновым (см. рис. I.14.3). Смещаясь по разрезу тюменской свиты в целом, в ряде случаев (ЗТ23, Л50) она совпадает с границей ЛЦ-3 и ЛЦ-4 или близка к ней (Я71). В скв. С48 она не проявлена (скорее всего, из-за той же недостаточности исходных данных в виде 6 проб). Но в скв. Т20 (крайнее на западе Шаимского НГР Тальниковое месторождение) она проявлена особенно отчетливо.

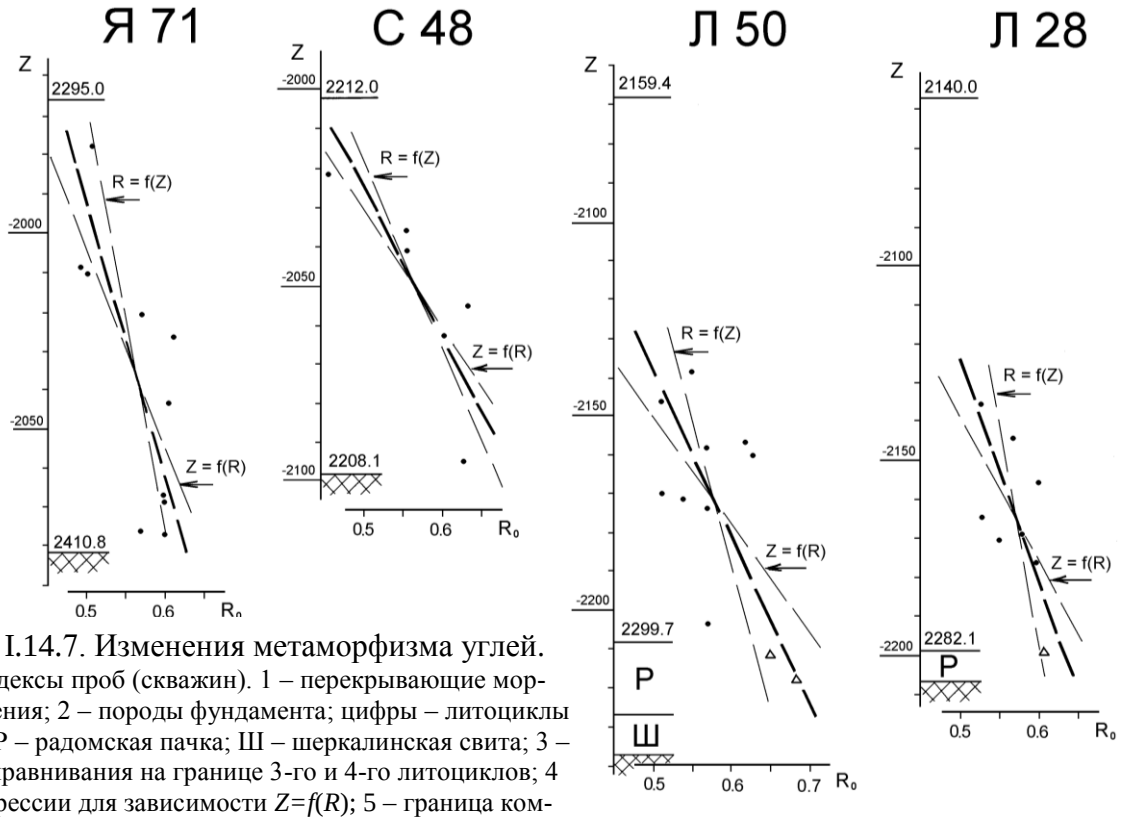


Рис. I.14.7. Изменения метаморфизма углей.
Вверху - индексы проб (скважин). 1 – перекрывающие морские отложения; 2 – породы фундамента; цифры – литоциклы II порядка; Р – радомская пачка; Ш – шеркалинская свита; 3 – горизонт выравнивания на границе 3-го и 4-го литоциклов; 4 – линия регрессии для зависимости $Z=f(R)$; 5 – граница комплексов (см. также рис. I.14.3); 6 – эллипсоиды рассеяния

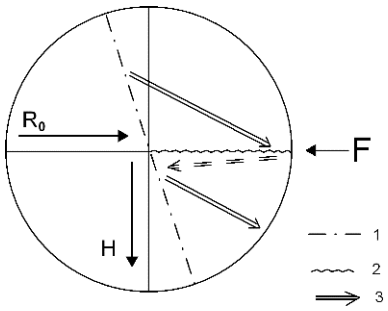


Рис. I.14.8. Принципиальная модель проявления зетметаморфизма:

1 – региональная составляющая, отражающая повышение значений R_0 с увеличением глубины H; 2 – разделяющие поверхности (неоднородности в строении толщи); 3 – аномальные проявления метаморфизма углей, инициированные наложенным фактором F

II. Детальное литологическое изучение керна на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз» позволило коллективу литологов выполнить уникальные реконструкции сдвиговых деформаций, некоторое представление о которых дают рис. I.14.9 и I.14.10. Итоговые результаты исследований представлены в статьях (Е. Н. Трофимова, Е. В. Артюшина, 2017; Е. Н. Трофимова, Е. В. Артюшина, О. А. Быкова и др., 2017).

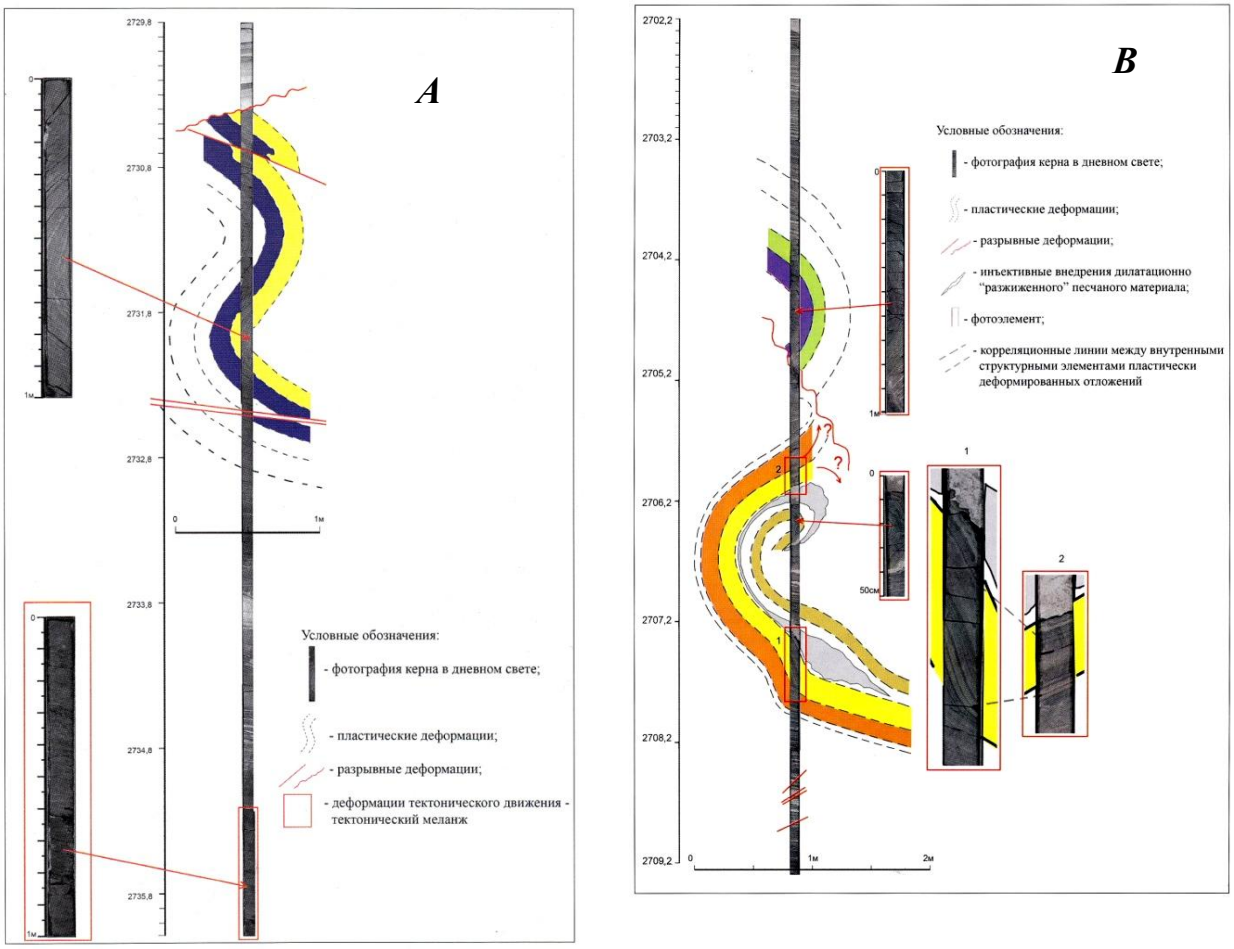


Рис. I.14.9. Структурные реконструкции деформации отложений (Е. Н. Трофимова и др., 2008): ***A*** – Западно-Карпаманское; ***B*** – Восточно-Мытаяхинское месторождения. Западная Сибирь

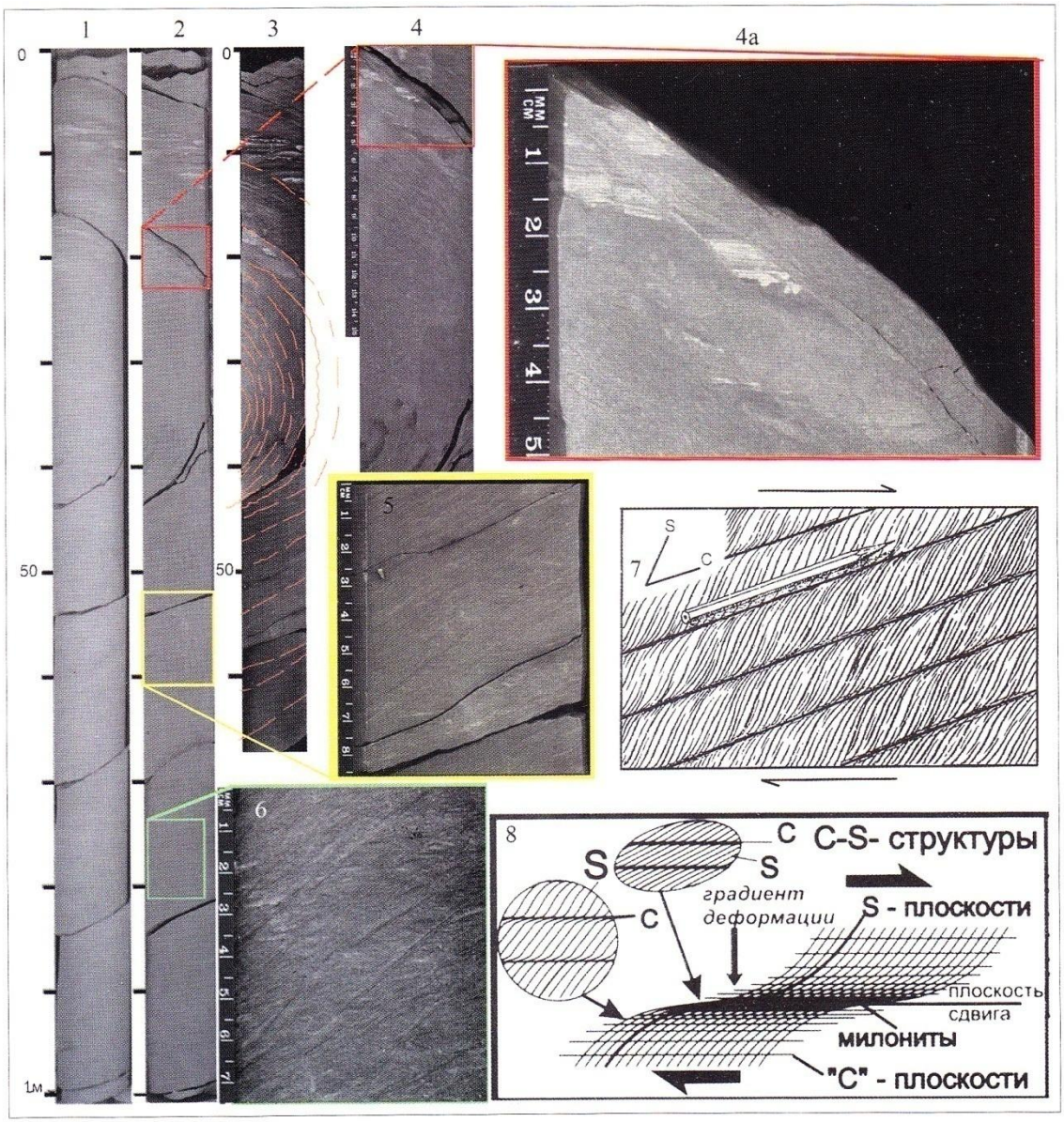


Рис. I.14.10. Проявление скрытого текстурного рисунка S-C делимости в кластических породах меловых отложений: 1 – фотоизображение керна; 2 – макрофотоизображение керна с мокрой поверхностью; 3 – макрофотоизображение распиленного керна с коррекцией в Adobe Photoshop (увеличение в 3 раза), С-делимости; 4 – сканоизображение участка керна с коррекцией в Adobe Photoshop (увеличение в 12 раз); 5 – сканоизображение участка керна с коррекцией в Adobe Photoshop (увеличение в 3,2 раза); 6 – макрофотоизображение участка керна с коррекцией в Adobe Photoshop (увеличение в 4 раза); 7 – S-C делимость; 8 – S-C делимость (Е. Н. Трофимова и др., 2013)

* * *

Подытоживая первую часть пособия, вкратце освещающую методы исследования осадочных пород, подчеркнем, что в ней освещены (точнее сказать – намечены) только самые примерные контуры обширной проблемы. Именно это и является основной идеей пособия, имеющего вид patchwork («лоскутное»): см. п. Вв1.

Такая «лоскутность» относится и к первой части пособия, состоящей из четырех стандартных частей: работа с керном (I.1 – I.3); работа с микроскопом (I.4 – I.7); лабораторные исследования (I.8 – I.11) и камеральные работы (I.12 – I.14). Во всех темах делалась попытка соединить апробированные методики с новыми подходами, в т. ч. описанными в зарубежных источниках. Особо отметим, что практика изучения осадочных пород в нефтегазовой литологии показывает необходимость **комплексирования** различных методов и методик. При этом важны как апробированные и традиционные исследования (изучение пород в шлифах, определение физических свойств), так и новые методики (РЭМ, *ICP-MS*). Зачастую методы, ранее применявшиеся редко, становятся «рутинными», входя в обязательный комплекс исследований (например, люминесцентное просвечивание керна).

Использовать представленную информацию можно в любом их трех направлений (векторов):

- как справочный материал, необходимый и достаточный для общего ознакомления с обозначенным предметом;
- как отправную точку в углубленном изучении осадочных пород – увлекательного объекта для глубокого и вдумчивого исследования;
- для выбора какого-то конкретного метода, который может быть положен в основу детальных исследований на конкретном объекте.

Последний вектор наиболее продуктивен для самостоятельной работы конкретного студента, будучи положенным им в основу определения темы, сбора материалов и выполнения курсовой или выпускной квалификационной работы. Учитывая, что возможности личных аналитических работ обычно ограничены «по определению», можно рекомендовать целевой отбор проб для самостоятельных исследований по изображенной схеме.

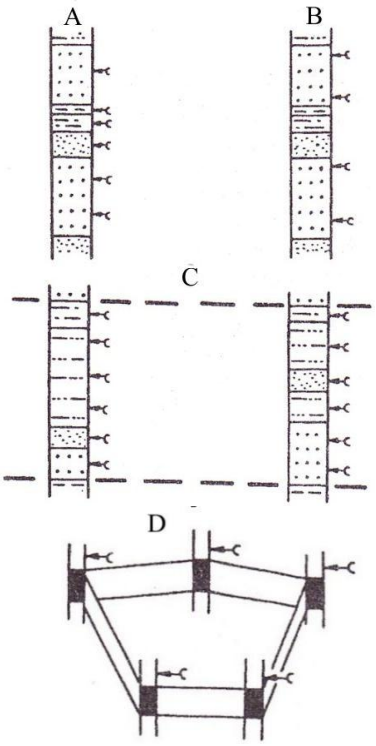
Вариант A – послойное опробование. При мощности слоя больше некоторого заданного граничного значения пробы отбираются также через заранее заданный интервал. Например, при мощности слоя более 2 м пробы берутся не реже чем через 2 м, и тогда из 7-метрового слоя нужно взять 3 пробы.

Вариант B – равномерный отбор проб из одного типа пород по заданному интервалу между точками отбора. При этом необходимо стремиться к наиболее близким по значению промежуткам между пробами (что, скорее всего, никогда не будет достигнуто).

Вариант C – равномерное (желательно послойное) опробование уверенно увязанного горизонта по двум или более скважинам.

Вариант D – отбор единичных проб из одного слоя или горизонта по некоторой, желательно равномерной, сети выработок.

Очевидно, что отбор проб по вариантам A и B нацелен на выявление вопросов закономерностей в строении толщ (прежде всего повторяемости и направленности изменений показателей свойств), вариант C – на решение проблем корреляции и D – для площадных (палеогеографических) реконструкций.



Принципы отбора проб (стрелками показаны места их взятия).

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

Кузнецов В. Г. Литология. Осадочные породы и их изучение: уч. пособие для вузов. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. 511 с.

Маслов А. В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 289 с.

Справочник по литологии. М.: Недра, 1983. 509 с.

Дополнительная

Общего характера

Алексеев В. П. Литологические этюды. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 149 с.

Логвиненко Н. В., Сергеева Э. И. Методы определения осадочных пород. М.: Недра, 1986. 240 с.

Методы изучения осадочных пород. М.: Геолтехиздат, 1957. Т. I. 612 с. Т. 2. 564 с.

Справочное руководство по петрографии осадочных пород. Л.: Гостоптехиздат, 1958. Т. 1. 486 с. Т. 2. 520 с.

К теме I.1 «Общие положения»

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

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

Порядок отбора, привязки, хранения, движения и комплексного исследования кернов и грунтов в нефтегазовых скважинах. РД 39-0147716-505-85 (утв. Миннефтепромом СССР 20.11.1985).

К теме I.2 «Терригенные породы: конститутивные признаки»

Барабошкин Е. Ю. Практическая седиментология (терригенные коллектора). Томск: ЦППС НД, 2007. 154 с.

Ботвинкина Л. Н. Методическое руководство по изучению слоистости. М.: Наука, 1965. 260 с.

Недоливко Н. М. Исследование керна нефтегазовых скважин: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. 170 с.

К теме I.3 «Терригенные породы: индикативные признаки»

Атлас конкреций. Л.: Недра, 1988. 323 с. (Тр. ВСЕГЕИ. нов. сер. Т. 340).

Микулаш Р., Дронов А. Палеоихнология – введение в изучение ископаемых следов жизнедеятельности. Прага: Геол. ин-т Ак. наук Чешской Респ., 2006. 122 с.

Ошуркова М. В. Детальное расчленение угленосных отложений по палеонтологическим данным. Методические рекомендации. Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1981. 40 с.

К теме I.4 «Петрография песчаных пород»

Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород. М.: Высшая школа, 1984. 416 с.

Наумов В. А. Оптическое определение компонентов осадочных пород. Иркутск, 2016. 480 с.

Шванов В. Н. Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л.: Недра, 1987. 269 с.

К теме I.5 «Гранулометрический анализ»

Гранулометрический анализ в геологии. М., 1978. 165 с.

Котельников Б. Н. Реконструкция генезиса песков. Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. 132 с.

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

К теме I.6 «Минералогический анализ»

Батурин В. П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 340 с.

Бергер М. Г. Терригенная минералогия. М.: Недра, 1986. 227 с.

Бергер М. Г. Седиментологическая система минералов и фундаментальные основы терригенной минералогии. М.: ЛЕНАНД, 2009. 272 с.

К теме I.7 «Стадиальный анализ»

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

Волкова И. Б. Органическая петрология. Л.: Недра, 1990. 299 с.

Япаскурт О. В. Генетическая минералогия и стадиальный анализ процессов осадочного породо- и рудообразования: уч. пособие. М.: ЭСЛАН, 2008. 356 с.

К теме I.8 «Химический (силикатный) анализ»

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

Интерпретация геохимических данных: учеб. пособие / Е. В. Скляров и др. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.

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

К теме I.9 «Геохимия микроэлементов»

Введение в металлогению горючих ископаемых и углесодержащих пород: уч. пособие / В. Н. Волков и др. СПб: Изд-во СПбГУ, 1997. 248 с.

Металлы в осадочных толщах. М.: Наука. Ч. 1, 1964. 446 с. Ч. 2, 1965. 392 с. Ч. 3, 1966. 326 с.

Тейлор С. Р., МакЛеннан С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция: пер. с. англ. М.: Мир, 1988. 384 с.

К теме I.10 «Другие методы»

Котельников Д. Д., Конюхов А. И. Глинистые минералы осадочных пород. М.: Недра, 1986. 247 с.

Логвиненко Н. В., Орлова Л. В. Образование и изменение осадочных пород на континенте и в океане. Л.: Недра, 1987. 237 с.

Поровое пространство и органическое вещество коллекторов и покрышек. М.: Наука, 1986. 95 с.

К теме I.11 «Фильтрационно-ёмкостные свойства»

Иванов М. К., Калмыков Г. А., Белохин В. С. и др. Петрофизические методы исследования кернового материала. Учебное пособие в 2-х книгах. Кн. 2: Лабораторные методы петрофизических исследований кернового материала. М.: Изд-во МГУ, 2008. 112 с.

Кошовкин И. Н., Белозеров В. Б. Отображение неоднородностей терригенных коллекторов при построении геологических моделей нефтяных месторождений // Известия ТПУ, 2007. Т. 310, № 2. С. 26-32.

Осипов В. И., Соколов В. Н., Еремеев В. В. Глинистые покрышки нефтяных и газовых месторождений. М.: Наука, 2001. 238 с.

К теме I.12 «Статистическая обработка результатов»

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.

Гриффитс Дж. Научные методы исследования осадочных пород: пер. с англ. М.: Мир, 1971. 420 с.

Поротов Г. С. Математические методы моделирования в геологии: учебник. СПб.: Изд-во СПбГГИ (ТУ), 2006. 223 с.

К теме I.13 «Комплексирование результатов исследований»

Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Кожевников Д. А. Петрофизика (Физика горных пород): учеб. для вузов. М.: ФГУП Издательство "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. 368 с.

Методы палеогеографических реконструкций (при поисках залежей нефти и газа). Л.: Недра, 1984. 271 с.

Тиаб Дж., Доналдсон Эрл Ч. Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов: пер. с англ. М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 2009. 868 с.

К теме I.14 «Решение геологических задач»

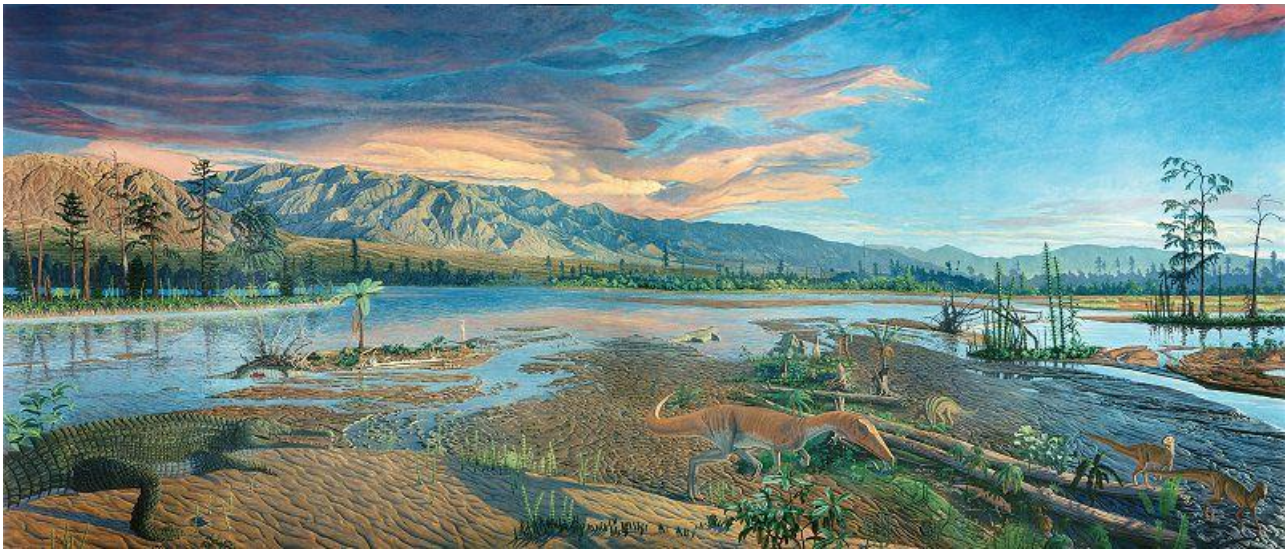
Маслов А. В. Литогеохимия терригенных пород верхнего докембрия Волго-Уральской области. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 248 с.

Состав и генезис отложений тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. 209 с.

Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимические индикаторы литогенеза (органическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.

ЧАСТЬ II

ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ



* * *

Понятие «фация» (лат. facies – лицо, облик) является одним из самых нечетких и неоднозначных в геологии (и не только). Так, при попытках «математизации» геологических понятий, выполнявшихся почти полвека назад, было отмечено следующее: «Обзор известной нам геологической литературы показывает, что имеется 39 различных определений понятия "минерал", 49 определений понятия "порода", 63 определения понятия "формация" и 112 определений понятия "фация"» («Геология и математика», 1967). В дальнейшем авторы цитируемой работы вообще исключили понятие «фация» из рассуждений, «в связи с полной запутанностью наших представлений».

Несмотря на такую расплывчатость главного понятия, лежащего в основе фациальных исследований, таковые продолжают пользоваться неизменной востребованностью, в том числе (и далеко не в последнюю очередь) в нефтегазовой литологии. Примером и подтверждением последнему служат труды трех совещаний по использованию фациальных исследований при изучении осадочных толщ, содержащих нефтегазовые месторождения[*]. В них можно почерпнуть сведения по многообразию использования методов изучения фаций и большой палитре получаемых результатов, в основном нацеленных на практическое использование.

Палеоландшафтный, палеогеографический аспект понимания фации в литологии определяется достаточно устоявшимися представлениями об обстановках формирования отложений геологического прошлого. По сути, именно в их реконструкции для отдельных объектов и заключены задачи фациального анализа в его наиболее принятом понимании. Исходя из этого, вторая часть пособия нацелена на рассмотрение трех основных вопросов.

1. Предоставление общих сведений о фациальном анализе осадочных толщ (на примере терригенных отложений).

2. Изложение основ **литолого-фациального анализа** (**ЛФА**) как метода, показавшего высокую эффективность при исследовании континентальных терригенных толщ и перспективного для изучения субаквальных (безугольных) отложений.

3. Характеристика на базе изучения современных осадков, основных палеоландшафтов, имевших место в прошлых геологических эпохах.

---

[*] Седиментология в нефтяной геологии. Томск: Изд-во ЦППС НД ТПУ, 2009. 134 с.

Фациальный анализ в нефтегазовой литологии. Томск: Изд-во ЦППС НД, 2012. 358 с.

Современные проблемы седиментологии в нефтегазовом инжиниринге. Томск: Изд-во ЦППС НД, 2017. 285 с.

ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

II.1. УЧЕНИЕ О ФАЦИЯХ В РЕТРОСПЕКТИВЕ

II.1.1. Аманц Грессли*

Аманц Грессли (1814-1865), выдающийся швейцарский геолог, впервые стал распознавать в одновозрастных осадочных толщах различные виды отложений; такие виды одновременных образований, отличающиеся друг от друга как по петрографическому составу, так и по содержащимся в них остаткам фауны и флоры, Грессли назвал фациями. Он, таким образом, ввел в науку новую категорию фактов, объединяемых понятиями о фациях и фациальной изменчивости; он также всесторонне изложил основы новой научной дисциплины, называемой обычно учением о фациях.

Кто встречал Грессли вне дома на его экскурсиях и не знал его, тот охотно обошел бы кругом этого «зловещего человека», потому что по внешнему виду совершенно беспризорный, оборванный, взъерошенный, немытый и нечесаный походил он на бродягу. Жил он так же, как бродяга, беспечно, не думая о завтрашнем дне; когда не находил никакого крова, он спал спокойно на копне сена, закаленный с юности и совсем нетребовательный. Так неутомимо странствовал он с весны до осени, год за годом по родным горам, и скоро никто не мог сравниться с ним в знании даже самых отдаленных уголков страны. И чего только Грессли в этих одиноких набегах ни увидел, ни исследовал и ни собрал для науки с высочайшей добросовестностью! Потому что этот «дикарь», по восхищенному мнению всех геологов, которые с ним ближе соприкасались, был наблюдателем прямо-таки гениальной проницательности, к тому же несравненный коллекционер, который поднимал сокровища среди ископаемых организмов даже и там, где другие напрасно искали. Казалось, как будто перед его всепроникающим взглядом ни одна скала Юры не могла скрыть свою тайну.

В психиатрической больнице Валдау, где он находился, он скончался от паралича 12 апреля 1865 г. Его надгробье в Friedhof St. Nikolays у Золотурна украшено латинской надписью, написанной гекзаметром. Эпитафию сочинил сам Грессли и просил друзей выбить эту надпись на его могиле. Она, может быть, лучше характеризует Грессли, чем все данные о его жизни. Вот она:

Gresslius interiit lapidum consumptus amore
Undique collectis non fuit hausta fumes;
Posimus hoc saxum; me hercte; lotus opertus
Gresslius hoc saxo nunc satiates erit.

Грессли погиб, пораженный любовью к камням;
Он собирал их повсюду и не мог утолить свой голод.
Мы положили эту глыбу, как он завещал;
Весь покрытый ею, Грессли, наконец, насытился.

*Текст п. II.1.1 заимствован из очерка Н. С. Шатского в работе «Портреты геологов» (1986).

Исследования Грессли по Юре прежде всего примыкают к исследованиям его друга Турманна, но расширяют и углубляют их очень значительно в различных направлениях. Это относится особенно к стратиграфии и еще больше к палеонтологии. Здесь мы обязаны Грессли обобщением, которое скоро получило чрезвычайно широкое подтверждение и также навсегда обеспечило скромному юрскому геологу почетное место в истории общей геологии.

Именно, чем подробнее он прослеживал распространение и развитие отдельных слоев (Schichten) через все горы насквозь, тем больше приходил он к убеждению, что часто такое бросающееся в глаза изменение в свойстве породы связывается также с соответствующим изменением в характере фауны. Для объяснения этого факта Грессли указывал на то, что как в современных морях, так и в морях прошлого прибрежные и отдаленные от берега мелководные и глубокие воды, зоны прибоя и затишья, скалистый и илистый грунт – все должны обладать своими собственными характерными осадками и соответствующим им характерным животным миром. По особым физическим обстановкам соответствующего окружающего мира эти меняющиеся петрографо-фаунистические виды (Aspect) какого-либо отложения (einer Ablagerung) Грессли назвал его фациями и соответственно этому различал в Юре литоральную, пелагическую и субпелагическую фации, шламовую фацию и коралловую, из которых последние по свойствам их пород и животного мира были обрисованы особенно подробно*.

Литература

1. Agassiz L. Etudes critiques sur les millusquesfossiles. 2. Monographie des Myes. Neuchâtel, 1842.

2. Desor E., Gressly A. Etudes géologiques sur le Jura neuchâtelois – Mém. Soc. sci. natur. Neuchâtel, 1859, 4.

3. F. L. Amanz Gressly. Dans: Actes de la Societé Helvétique. Les Sciencesnaturelles. 49-me session. Comptes Rendus. Génève, 1865.

4. Gressly A. Geognostische Bemerkungenűber den Jura der Kanton Bern, Aargau und Basel. – N. J. Min., Geogn., Geol. u. Petrefakten, 1836.

5. Gressly A. Observations géologiques sur le Jura Soleurois – Nouv. Mém. Soc. Helvétique, Sci. Natur., 1838, 2.

6. Gressly A. Erinnerungeneines Naturforschersaus Sűdfrankreich. – In: Album von Combe-Varin. Zur Erinnerungan Theodor Parker und Hans Lorenz Kuchler. Zűrich, 1861.

*Это и теперь еще заслуживающее изучения развитие понятия «фация» находится в его «Observations». Грессли было едва 24 года от роду, когда он написал эти в высшей степени важные высказывания. Слово «фация» появилось даже еще в первой работе Грессли в 1836 г. Эта статья представляет очень краткий конспект его будущей книги. Она написана Грессли еще в бытность его студентом медицинского факультета Страсбургского университета.

II.1.2. Актуализм и униформизм
(Первое Всесоюзное совещание по осадочным породам)

АКТУАЛИЗМ (позднелат. actualis – современный, практически существующий) – термин, понятие, подход (метод), который можно трактовать двояко. 1) Принципиальная равнозначность современных процессов реализованным в прошедшие геологические эпохи. В таком виде актуализм соответствует принципу *униформизма*. 2) Метод исследования, «при котором к пониманию прошлого идут от изучения современных процессов, но с сознанием того, что в прошлом, особенно отдаленном от современности, и физико-географическая обстановка на поверхности (и в глубинах) Земли, и сами процессы, протекавшие тогда, заведомо в некоторой степени отличались от современных и тем больше, чем более удалена от нас прошлая геологическая эпоха» (Н. М. Страхов). В условиях специфики геологического времени актуализм – единственно возможный метод изучения геологического прошлого, неизбежно приводящий к использованию представлений о **генезисе** объектов – по меньшей мере в литологии.

УНИФОРМИЗМ (лат. uniformis – единообразный) – представления, в соответствии с которыми все процессы и силы, действовавшие в геологическом прошлом, совершенно аналогичны современным («крайнее» понимание *актуализма*). Униформистский подход весьма привлекателен с позиций практического использования сведений о современном состоянии объектов для решения различных целей и задач, в том числе построения детерминированных моделей. Однако увлечение подобным практицизмом, в условиях отсутствия проверки (что невозможно для геологического времени) неизбежно приводит либо к недостаточности, либо к ошибочности построений, выполняемых на **агенетической** основе.

Ярким примером противоборства сторонников и противников актуалистического (сравнительно-исторического; генетического) подхода к изучению геологических процессов явилось Всесоюзное совещание по осадочным породам 1952 г. и предшествовавшая ему дискуссия. Сущность последней сводится к оформлению в середине 40-х гг. двух точек зрения на процессы осадко- и породообразования и методы их изучения. Одна из них – теория осадочной дифференциации Л. В. Пустовалова – ставила во главу угла расшифровку процессов формирования ископаемых осадочных образований, что виделось в разделении веществ по их механическим и физико-химическим свойствам. Другой генеральной точки зрения придерживался Н. М. Страхов, видевший основу для познания геологического прошлого в изучении современного осадконакопления (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 основоположником и соответствующей группой его учеников и единомышленников. Вопросы, которые не решались путем личных контактов и определенных взаимных уступок, вылились в публичную *дискуссию* на страницах журнала «Известия АН СССР» (1950-1951 гг.). Уже изначально программные статьи Н. М. Страхова и Л. В. Пустовалова показали антагонистические тенденции этих ученых, что дало толчок к серии взаимных обвинений. Так, ряд исследователей, и прежде всего Л. В. Пустовалов, стоя на позициях теории осадочной дифференциации, резко критиковали Н. М. Страхова за отход от позиций марксистко-ленинской диалектики. Л. В. Пустовалов писал: «... метод актуализма, основывающийся на метафизическом принципе актуализма и не отделимый от него, также является метафизичным...» (1952). Его возражения про-

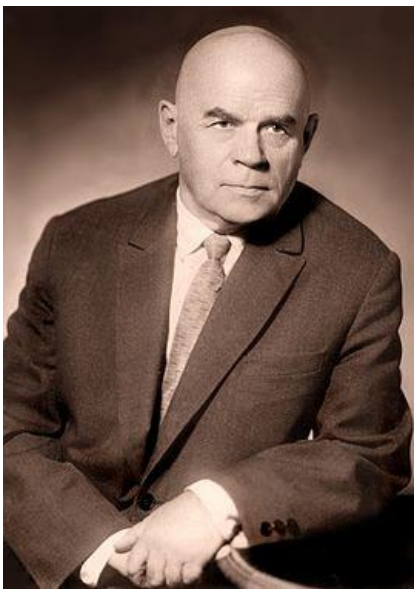
тив применения сравнительно-литологического метода заключались в следующем: «Следует ... отметить, что метод сравнительной литологии, помимо заложенной в нем антиисторичности, имеет еще один весьма существенный дефект. Дело в том, что этот метод молчаливо предусматривает необходимость сопоставления современных осадков с ископаемыми горными породами, измененными как процессами диагенеза, так и эпигенеза» (1950).

Н. М. Страхов и его сторонники, защищая правомерность сравнительно-литологического метода, в то же время указывали на ошибки в построениях Л. В. Пустовалова. Ими отмечалось, что основную роль в литогенезе играют фазовые превращения веществ, которые красной нитью проходят через все стадии осадочного процесса. При этом имеет место разделение и смешение веществ, причем последнее играет не меньшую роль, чем разделение, и нередко выступает даже на первый план. Не вдаваясь глубоко в анализ ошибок, действительно имевшихся у Л. В. Пустовалова, отметим, что зачастую критика теории осадочной дифференциации являлась весьма тенденциозной и во многом не отвечала существу вопроса.

Лишь небольшая часть исследователей справедливо констатировала отсутствие антагонизма в исследованиях Н. М. Страхова и Л. В. Пустовалова. В этом плане особенно примечательна статья Д. В. Наливкина, который указал, что «... для дела было бы больше пользы, если бы в этом споре теория осадкообразования и закономерности образования полезных ископаемых заняли первое место» (1951).

Итоги дискуссии подведены сборником «К вопросу о состоянии науки об осадочных породах» (1951). Сборник содержит 16 статей, в которых зачастую «за деревьями не видно леса», так как в пылу полемики каждая из сторон нередко ударяется в крайности и иногда содержат выпады в недопустимо резкой форме. Несомненно объективны, пожалуй, лишь статьи группы тектонистов (Н. С. Шатский и др.) и в особенности Л. Ш. Давиташвили. Последний констатирует практическую ценность дискуссии, «... способствующей выяснению слабых сторон и недостатков советской науки об осадочных породах и скорейшему преодолению этих недостатков ...».

Первое Всесоюзное совещание по осадочным породам состоялось 17-24 ноября 1952 г. На нем присутствовало 1077 представителей 145 организаций из 63 городов. Фактически на Совещании острота дискуссии достигла наивысшего накала. Кроме основного доклада Оргкомитета, выражавшего взгляды противников сравнительно-литологического метода, был сделан содоклад шести членов Оргкомитета (П. Л. Безрукова, Б. М. Гиммельфарба, Н. М. Страхова, Е. В. Шанцера, М. С. Швецова, В. С. Яблокова), не согласившихся с основным докладом. В большинстве сделанных докладов давалась оценка исследований по дифференциации вещества в ходе осадконакопления и правомерности сравнительно-литологического метода. После оживленного обсуждения принято Решение совещания, в котором совершенно справедливо констатировано *отсутствие* в советской литологической науке двух разных идейных направлений. Совещание подтвердило *правомерность* сравнительно-литологического метода и отметило неправильное отношение к этому вопросу Л. В. Пустовалова. В то же время Совещание не согласилось с тем, что в основу литологической теории должно быть положено изучение современного осадконакопления, как это предлагалось Н. М.Страховым в 1945 г., и указало на ошибочность этого положения (Решение…, 1953).



Никола́й Миха́йлович СТРА́ХОВ (2 [15] апреля 1900 – 13 июля 1978) – советский геолог и геохимик, один из создателей современной литологии. Доктор геолого-минералогических наук, академик АН СССР. Лауреат Ленинской (1961) и Сталинской (1948) премий.

Н. М. Страхов является одним из создателей современной литологии, он внёс значительный вклад в развитие геохимии осадочных пород. Большинство работ Н. М. Страхова посвящено изучению современных осадков как модели древнего осадкообразования и разработке на этой основе сравнительно-исторического метода.

Продолжая работы учёных Н. И. Андрусова и А. Д. Архангельского, Н. М. Страхов развивал и последовательно применял сравнительно-литологический метод для объяснения способов образования древних осадочных отложений.

Н. М. Страхов выдвинул и обосновал идею о четырёх типах литогенеза и рассмотрел их эволюцию в истории Земли, разработал теорию диагенеза, галогенеза и гумидного рудообразования; исследовал горючие сланцы, соли, железные и марганцевые руды, известково-доломитовые горные породы.

Одна из главных работ Н. М. Страхова «Основы теории литогенеза» (1960, 1962) посвящена теоретическому осмысливанию всего осадочного процесса. Эта работа стала итогом развития генетической литологии на конец 1950-х – начало 1960-х годов и доныне сохраняет свою научную значимость.

По материалам из Википедии

Леони́д Васи́льевич ПУСТОВА́ЛОВ (8 августа 1902 – 15 ноября 1970) – советский геолог, геохимик, петрограф, член-корреспондент АН СССР (1953). Сталинская премия за работу «Петрография осадочных пород» (1940).

Основные работы Л. В. Пустовалова, числом более 150, посвящены петрографии и геохимии осадочных пород. Его главный труд – монография «Петрография осадочных пород» (1940) – явился толчком к изучению осадочного породообразования и осадочных полезных ископаемых, так как в нём были разработаны теоретические положения о дифференциации осадочного вещества, периодичности осадконакопления и существенно уточнены представления об осадочных геохимических фациях.

В 1934 г. Л. В. Пустовалов возглавил кафедру минералогии и кристаллографии в Московском нефтяном институте (МНИ). Инициатива исходила от тогдашнего директора МНИ И. М. Губкина, с которым они были знакомы по работе в Московском отделении Геологического комитета, где с 1928 года Леонид Васильевич организовал и руководил геохимической лабораторией. С первых дней руководства кафедрой Л. В. Пустовалов обратил особое внимание на изучение геохимии и петрографии осадочных пород, включая возможно нефтематеринские и продуктивные горизонты нефтяных и газовых месторождений. Это стало одной из причин переименования кафедры. С 1934 г. она стала называться кафедрой петрографии осадочных пород, что оказалось первым из подобных названий в советских вузах. В 1961 г. Л. В. Пустовалов создал лабораторию осадочных полезных ископаемых (ЛОПИ), которой руководил до конца жизни.

По материалам из Википедии

II.1.3. О «генетизме» в геологии

В разделе в хронологическом порядке приводятся развернутые цитаты из работ трех видных отечественных литологов, первые двое из которых всегда критически относились к фациальным реконструкциям (!).

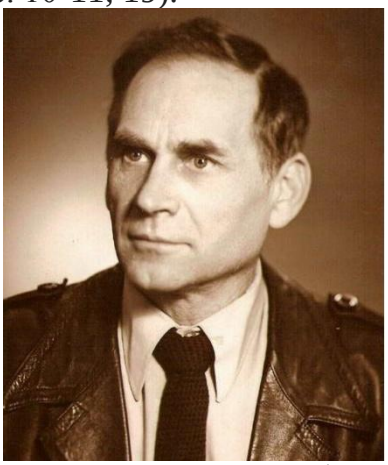
Серге́й Ива́нович РОМАНО́ВСКИЙ (13.07.1937 – 24.08.2005).

С. И. Романовский – яркий представитель немногочисленной плеяды ученых-энциклопедистов. Создатель основ физической седиментологии, автор ряда биографических работ о геологах, истории науки, составитель 3-го издания Геологического словаря, вышедшего в свет после его кончины (2010-2012). Всю жизнь проработал во ВСЕГЕИ.

«Униформистская концепция Ч. Лайеля трактовала геологическую историю как циклически повторяющуюся цепь событий, остававшуюся неизменной на протяжении всех геологических периодов. Поэтому реставрация событий прошлого, т. е. геологических процессов, базировалась на утверждении "сегодня, как всегда, и всегда, как сегодня". В дальнейшем, когда стало ясно, что "сегодня не совсем так, как всегда", принцип униформизма был преобразован в привычную для нас форму: "настоящее есть ключ к познанию прошлого", т. е. в ту, которую мы привыкли считать принципом актуализма.

•••

Для литологических задач, которые могут быть сформулированы на базе конкретных седиментологических предпосылок вне зависимости от того, какая из двух рассмотренных схем (первая – построение моделей и их последующая проверка новыми сведениями; вторая – "прямое" использование современных представлений для реконструкции геологического прошлого. – *В. А.*) является основой их решения, конечной целью чаще всего выступают реконструкции обстановок и условий накопления осадков, т. е. эти задачи неизбежно фокусируются в сферу прикладных аспектов фациального анализа. Поэтому если актуалистический принцип познания можно рассматривать как своеобразную методологическую основу при реставрации геологических процессов прошлого, то фациальный анализ является конкретно методическим воплощением этого принципа, нацеленным на его практическую реализацию» (С. И. Романовский, 1977, с. 10-11; 19).



Валенти́н Никола́евич ШВА́НОВ (12.04.1933 – 22.07.1999)

Выпускник Ленинградского гос. университета, выученик Л. Б. Рухина, долгое время заведовавший кафедрой литологии и морской геологии ЛГУ. Автор серии монографических работ по осадочным породам, являющихся настольным руководством для геологов любого уровня, занимающихся изучением осадочных толщ.

«Давая оценку фациальному направлению изучения геологических формаций, необходимо, на мой взгляд, признать следующее.

1. Проведение генетического анализа не всегда необходимо и не всегда диктуется производственным заданием. Вряд ли возможно требовать выполнения генетического анализа при геологической съемке, и так отягощенной различного рода работами, или при поисках и разведке многих полезных ископаемых, не связанных непосредственно с определенными фациями. Фациально-генетическое исследование, кроме того, не всегда выполнимо: например, во многих метаморфических толщах докембрия, в сложноскладчатых системах с проявлениями регионального кливажа, при обработке буровых материалов с малым выходом керна и т. д.

2. 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». (В. Н. Шванов, 1992, с. 15).

Влади́мир Ти́хонович ФРОЛО́В (16.03.1923 – 10.02.2015).

Поступил в МГУ в 1940 г., в 1941 ушел на фронт. Закончил МГУ в 1949 г., и до конца дней в нем работал, в том числе в течение ряда лет заведовал кафедрой литологии и морской геологии. Автор большого количества работ по осадочным породам, в течение полувека являющихся учебными пособиями для многих поколений геологов. Среди них особенно выделяется трехтомная «Литология» (1992, 1993, 1995).

«Стратиграфия вообще, корреляция разрезов в особенности, несмотря на оперирование объективными, реальными телами (слоями), – во многом *творческий раздел геологии,* в котором многое определяется опытом и зоркостью исследователя. В последние 2-3 десятилетия геофизика вооружила стратиграфов мощным методом корреляции разрезов и их расчленения на стратоны почти любой дробности ... методом *сейсмической стратиграфии*. По отраженным сейсмическим волнам от границ стратонов или их частей в платформенных и в не сильно дислоцированных районах удается составить непрерывные разрезы длиной в сотни километров и видеть форму геотел, различные виды их взаимоотношений (налегания, прилегания, разрывы и т. д.) и, главное, – непосредственный переход друг в друга по горизонтали (А. Грессли практически первым добивался этого "вышагиванием" на местности). Характерные пачки слоев – *секвенции* – не замедлили истолковывать генетически, а их смену по вертикали однозначно связать с колебаниями уровня Мирового океана, благо к этому времени подоспели кривые Вейла и другие. Возникла *секвентная стратиграфия,* в которой адекватно отразились успех и "грехопадение" американской геологии, блеск которой – в ведущей роли в разработке сейсмостратиграфии, а "грех" – в полной непоследовательности, в измене себе (хотя в данном случае "падение" – в правильном направлении .... То они обвиняли русских геологов в излишнем генетизме, видя в нашем постоянном стремлении понять природу геотел недопустимый уровень спекулятивности, теперь сами вдруг впали в такое малообоснованное "навешивание генетических ярлыков", на которое мало кто из российских геологов отваживался: смену секвенций они однозначно укладывали в прокрустово ложе кривой колебаний уровня океана, как будто не действовали тектонические и другие факторы. Видимо, справедливо выражение "крайности сходятся": крайний позитивизм ("верю только в очевидные факты") и чрезмерные спекуляции (генетические заключения под идею или теорию)» (В. Т. Фролов, 2004, с. 93-94).

II.2. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ФАЦИЯХ

II.2.1. Полисемичная трактовка понятия «фация»

На рис. II.2.1 показаны разночтения в трактовке понятия «фация», заложенные уже в работах А. Грессли. Они могут быть существенно снивелированы сужением смыслового поля, что показано на рис. II.2.2 и в табл. II.2.1.

Рис. II.2.1. Различия в трактовке понятия «фация», содержащиеся уже в работах А. Грессли (см. п. II.2.1), или его «первородный грех», по образному определению Н. Б. Вассоевича (1948). Стрелками обозначены: *1* – основные трактовки, широко используемые в настоящее время; *2* – контрадикторность (взаимоисключаемость) в их узком использовании; *3* – возможный синтез в литолого-фациальном анализе; *4* – направление, к настоящему времени «поглощенное» рассмотрением эволюции осадочного процесса

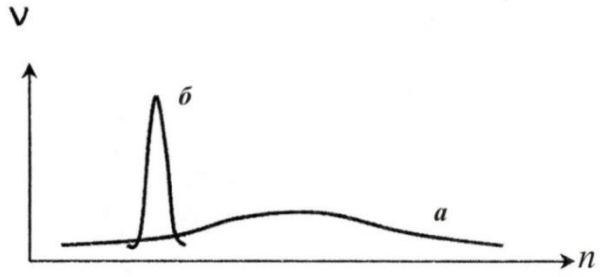


Рис. II.2.2. Смысловое поле многозначного термина до (**а**) и после (**б**) его ограничения в контексте (А. Д. Арманд, 2008):

V – частота использования термина; *n* – смысловой континуум

В то же время разночтения в трактовке термина «фация» глубоко укоренились в геологии, что иллюстрирует рис. II.2.3 (см. также рис. I.1.3, на котором показаны принципиально различные методы получения информации).

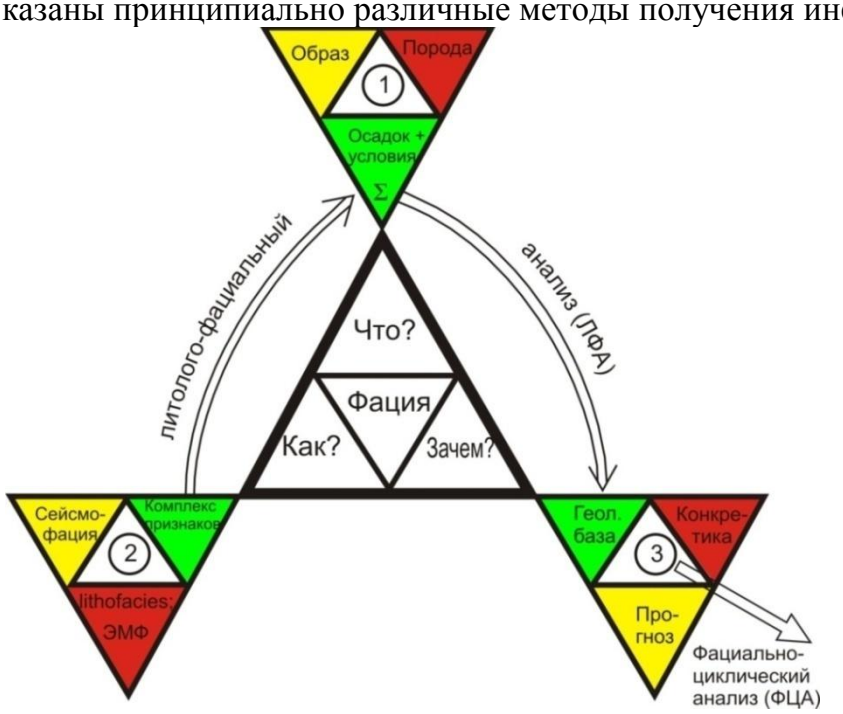


Рис. II.2.3. «Фациальный треугольник»:

1 – исходные понятия (см. рис. II.2.1.); *2* – основные понятия, используемые в методике исследований; *3* – их применение в практике работ

Таблица II.2.1

Таблица соотношения понятий, используемых при седиментологических реконструкциях

Термин	Определение термина	Чем определяется термин	Примеры названий	Примечание
Гранулометрический тип породы (Grain Type)	Порода с определенной размерностью и соотношением частиц	Размерностью преобладающих частиц и их соотношением	Песчаник мелкозернистый алевритистый	Всегда одна порода, которая может быть представлена бимодальным сочетанием двух типов (ритмит или ламинит)
Литологический тип породы или литотип	Порода с комплексом взаимосвязанных существенных признаков	Суммой конститутивных (вещественный, гранулометрический составы, текстура) и индикативных (ориктоценозы, конкреции и пр.) признаков	Песчаник крупнозернистый с косой однонаправленной слоистостью и включением грубых растительных остатков	Одна порода или 2-3, но очень близкие по составу и другим признакам
Литогенетический тип (Lithofacies; Lithotope)			То же, с установленным генезисом: русел крупных равнинных рек	
Фация (Facies)	Отложения, сформированные в определенной физико-географической обстановке, выраженной в признаках этих отложений (осадок + условия)	Генетическими признаками пород и их взаимоотношениями, с учетом сведений об осадконакоплении в современных ландшафтах (актуалистический или сравнительно-исторический подход)	Фация песчаных осадков речного русла. Фация алевритовых отложений зоны морских течений	Обычно представлена несколькими литогенетическими типами (если они выделяются)
Обстановка седиментации (Sedimentary Environments)	Физико-географическая, динамическая и геохимическая обстановка формирования отложений (палеогеографическая)	Главным образом ландшафтами разных порядков (с учетом динамики среды отложения и других свойственных ей особенностей)	Речная долина. Прибрежное мелководье	Употребляется при описании ландшафта, в котором формируются отложения
Генетический тип (Genetic type)	Естественная группа отложений, связанных общностью процесса формирования	Преимущественно механизмом формирования конкретных пород или группы отложений	Аллювиальные отложения равнинных рек. Отложения мутьевых потоков	Относится как к породам, так и к осадкам. Отражает механизм их формирования

Более широким (и реже употребляемым), чем фация, является понятие **генетический тип отложений** (ГТО). Под таковым понимается «... таксономическая категория, включающая комплекс генетически связанных геологических тел (фаций), которые выделены главным образом по преобладанию того или иного геологического процесса, определившего способ накопления вещества, специфику условий его залегания и возникающих при этом аккумулятивных форм рельефа» (Геологический словарь, 2010. Т. 1. С. 212).

Учение о генетических типах предложено А. П. Павловым (1888, 1898), для континентальных отложений детально разработано Е. В. Шанцером (1966), а для морских – В. Т. Фроловым (1984).

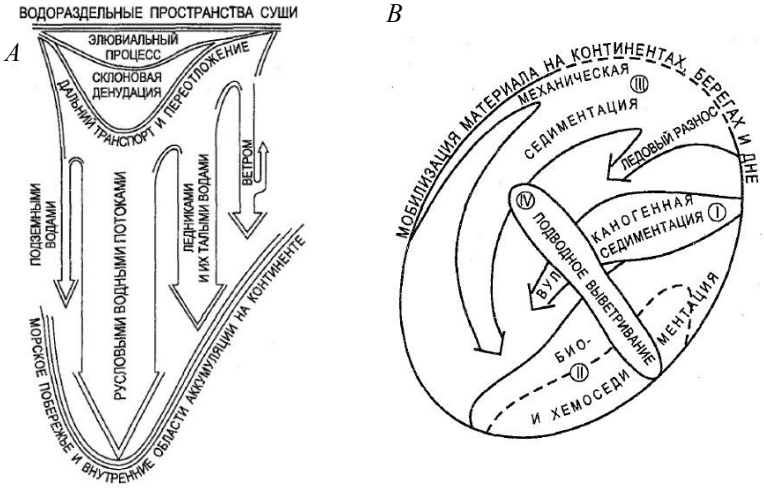


Рис. II.2.4. Схемы основных способов формирования генетических типов континентальных (*A*, по Е. В. Шанцеру, 1966) и морских (*B*, по В. Т. Фролову, 1984) отложений

Алексе́й Петро́вич ПА́ВЛОВ (19 ноября [1 декабря] 1854 – 9 сентября 1929) – русский, советский геолог, палеонтолог, профессор Московского университета, академик СПбАН и АН СССР. Окончил естественное отделение физ.-мат. ф-та Московского ун-та (1879). Заслуженный деятель наук РСФСР (1928).

Основатель московской школы геологии, в 1914-1917 гг. организовал Геологический музей Московского ун-та. Впервые выделил генетические типы континентальных отложений (1888), в том числе два новых – делювий и пролювий, создал новое направление в геологии четвертичных отложений (1898).

Фото 1943 г.

Евге́ний Вирги́льевич ША́НЦЕР (26 декабря 1905 – 24 ноября 1987).

Родился в семье видного революционера Виргилия Леоновича Шанцера (1867-1911), известного по партийной кличке Марат.

Окончил Московский геологоразведочный институт в январе 1931 г., став еще в октябре 1930 г. ассистентом кафедры исторической геологии. С 1941 г. на фронте (доброволец), после ранения вернулся в МГРИ (1943). Доктор геолого-минералогических наук (1948), профессор (с 1950 г.). С 1959 г. – старший научный сотрудник Геологического института АН СССР. Работы Е. В. Шанцера, посвященные генетическим типам континентальных отложений, в том числе аллювию равнинных рек, стали классическими. Специализировался на геологии четвертичных отложений.

II.2.2. Рельеф как организующий фактор седиментогенеза

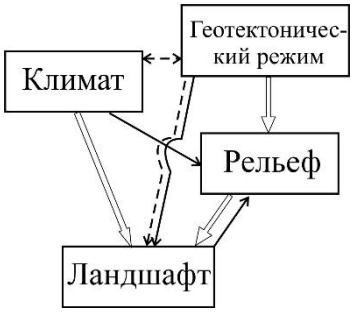


Рис. II.2.5. Взаимодействие основных факторов, формирующих ландшафт как современную фацию (обстановку осадконакопления):

взаимозависимости: *1* – определяющие; *2* – значимые; *3* – дополняющие

A *B*

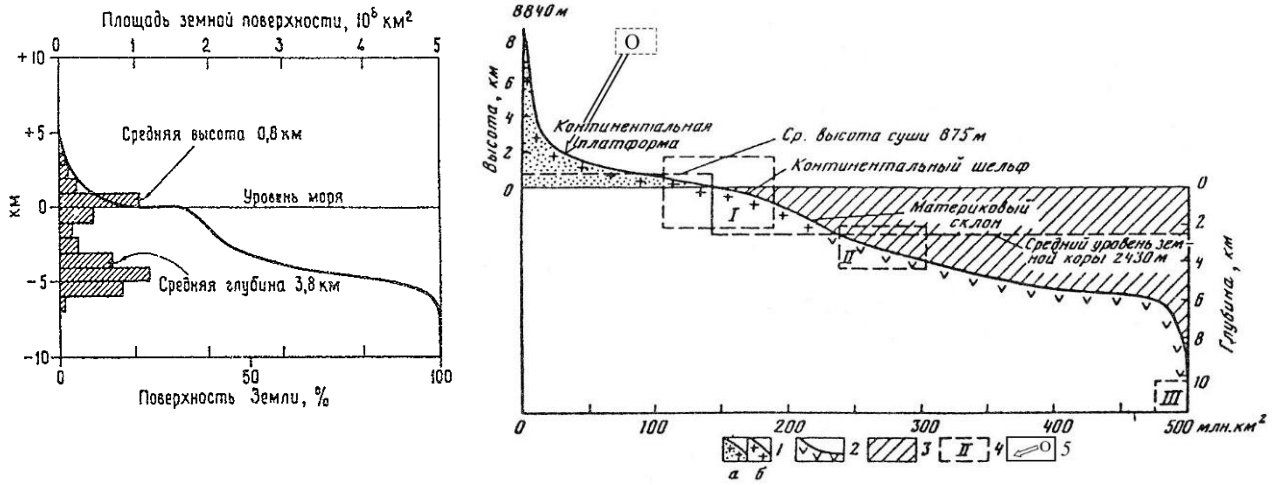


Рис. II.2.6. Гипсографическая кривая твердой поверхности Земли (*A*) и уровни лавинной седиментации (ЛС), по А. П. Лисицыну (*B*):

1 – континентальная кора выше (*а*) и ниже (*б*) уровня океана; *2* – кора океанического типа; *3* – вода; *4* – глобальный уровень лавинной седиментации; *5* – внутриконтинентальный или «горнопородный», нулевой уровень лавинной седиментации: дополнение автора

A *B*

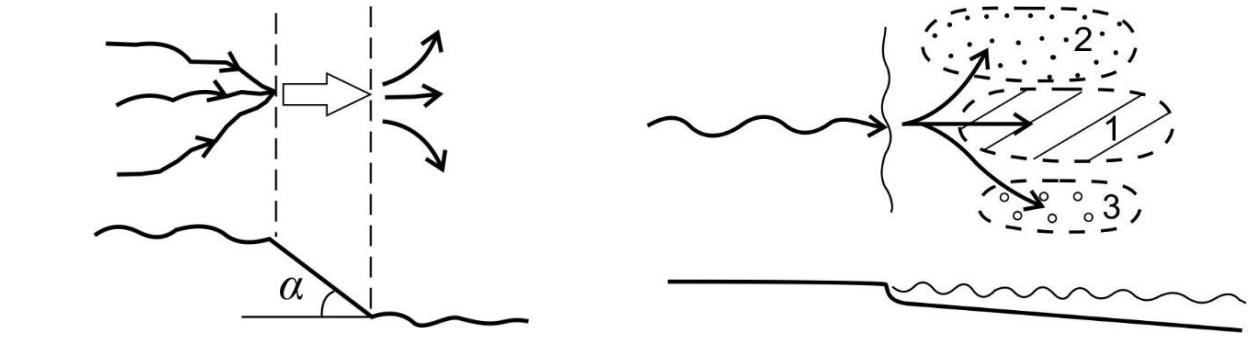


Рис. II.2.7. Принципиальные различия в механизме седиментации для уровней ЛС (см. рис. II.2.6): вверху – планы, внизу – разрезы

A – схема для уровней ЛС 0 и II: подготовленная в области сноса (уровень 0) или транзита (уровень II) масса катастрофически быстро смещается по склону с углом α и формирует конусы выноса;

B – осадки, влекомые потоком, встречаются с обширным приемным водоемом (уровень ЛС I) и последовательно, по мере поступления материала, латерально смещаются в области седиментации 1→2→3

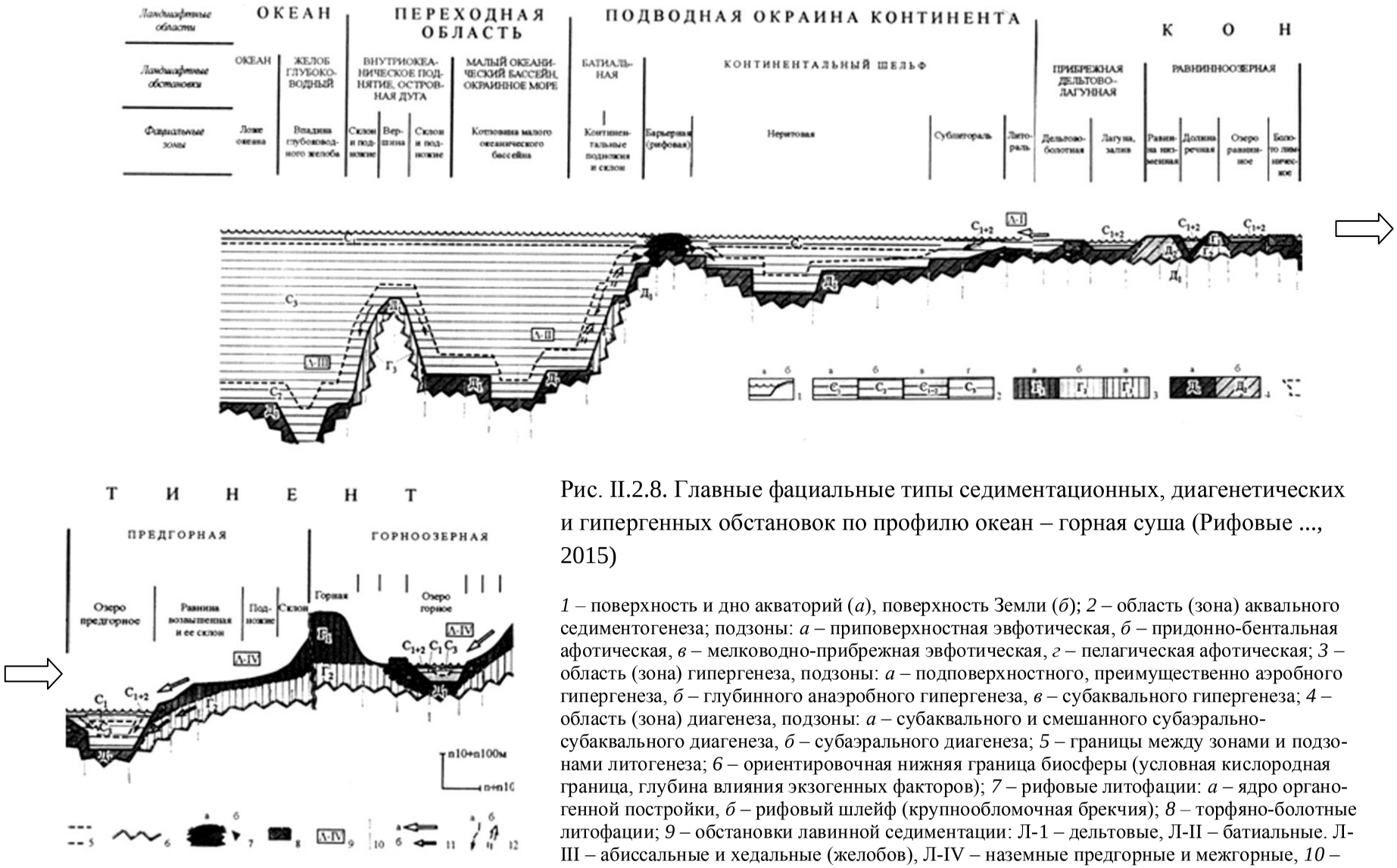


Рис. II.2.8. Главные фациальные типы седиментационных, диагенетических и гипергенных обстановок по профилю океан – горная суша (Рифовые ..., 2015)

1 – поверхность и дно акваторий (*а*), поверхность Земли (*б*); *2* – область (зона) аквального седиментогенеза; подзоны: *а* – приповерхностная эвфотическая, *б* – придонно-бентальная афотическая, *в* – мелководно-прибрежная эвфотическая, *г* – пелагическая афотическая; *3* – область (зона) гипергенеза, подзоны: *а* – подповерхностного, преимущественно аэробного гипергенеза, *б* – глубинного анаэробного гипергенеза, *в* – субаквального гипергенеза; *4* – область (зона) диагенеза, подзоны: *а* – субаквального и смешанного субаэрально-субаквального диагенеза, *б* – субаэрального диагенеза; *5* – границы между зонами и подзонами литогенеза; *6* – ориентировочная нижняя граница биосферы (условная кислородная граница, глубина влияния экзогенных факторов); *7* – рифовые литофации: *а* – ядро органогенной постройки, *б* – рифовый шлейф (крупнообломочная брекчия); *8* – торфяно-болотные литофации; *9* – обстановки лавинной седиментации: Л-1 – дельтовые, Л-II – батиальные. Л-III – абиссальные и хедальные (желобов), Л-IV – наземные предгорные и межгорные, *10* – тектонические нарушения; *11, 12* – векторы: *11* – континентального стока в бассейны седиментации *(а* – поверхностного, *б* – подземного), *12* – внутрибассейнового разноса материа-

На рис. II.2.9 приведена общая схема палеоландшафтов / обстановок седиментации / фаций в сравнении русскоязычных и англоязычных терминов и представлений.

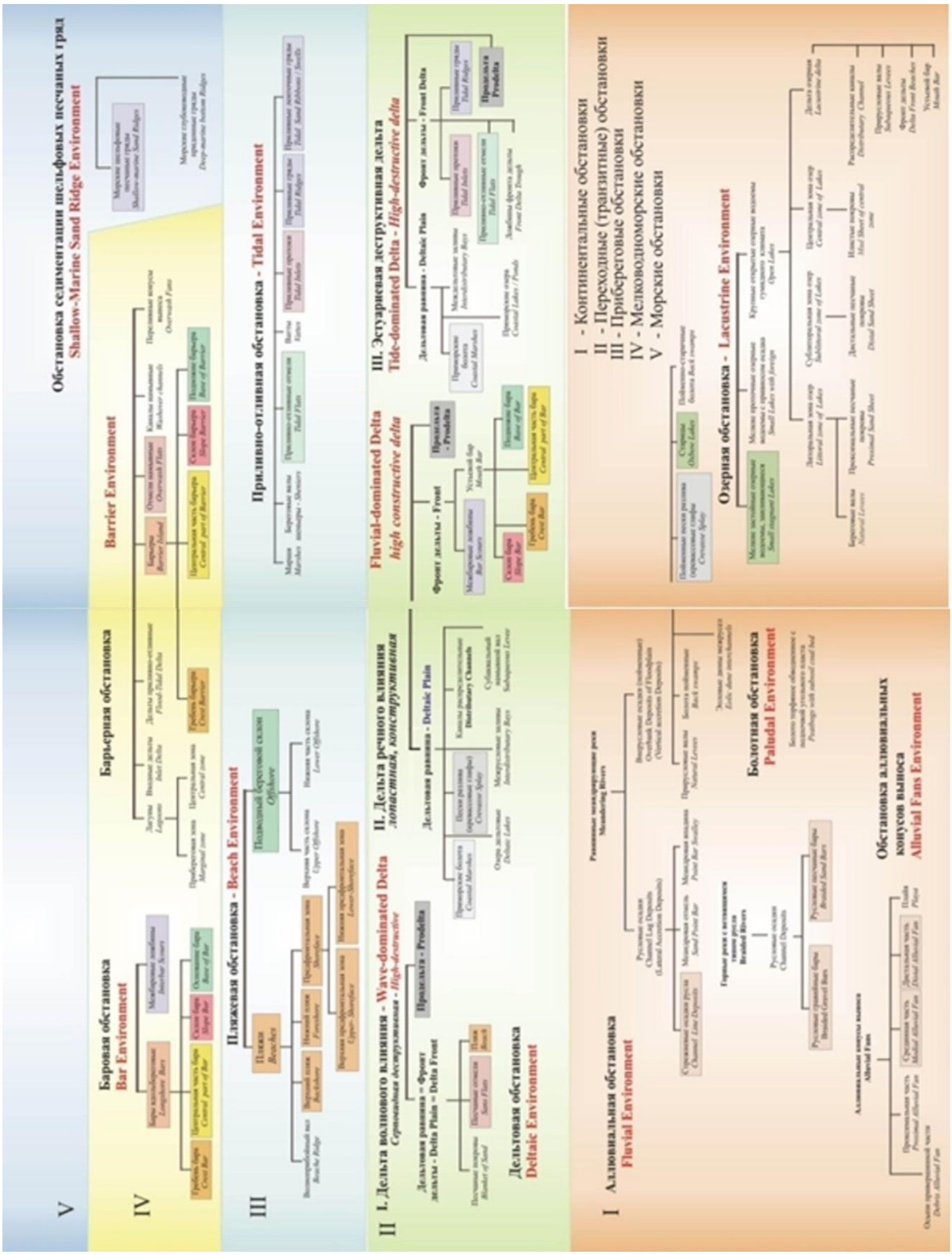


Рис. II.2.9. Сводная схема обстановок седиментации и фаций гумидного климата (О. С. Чернова, 2011)

II.2.3. Ландшафт как распределяющий фактор седиментогенеза

Ландша́фт (нем. *Landschaft*, вид местности, от *Land* – земля и *schaft* – суффикс, выражающий взаимосвязь, взаимозависимость). Дословно может быть переведен как "образ края"– конкретная территория, однородная по своему происхождению, истории развития и не делимая по зональным и азональным признакам. Ландшафт в научном понимании – это генетически однородный природный территориальный комплекс (ПТК), сложившийся только в ему свойственных условиях, которые включают в себя: единую материнскую основу, геологический фундамент, рельеф, гидрографические особенности, почвенный покров, климатические условия и единый биоценоз. Иначе, ландшафт – это предельная категория геосистемной иерархии, характеризующаяся полной гомогенностью; элементарная морфологическая единица территории.

Фация есть единица палеоландшафта

Таблица II.2.2

Сопоставление уровней организации объектов исследований

(А – Земля в целом; В – экзогенные объекты)

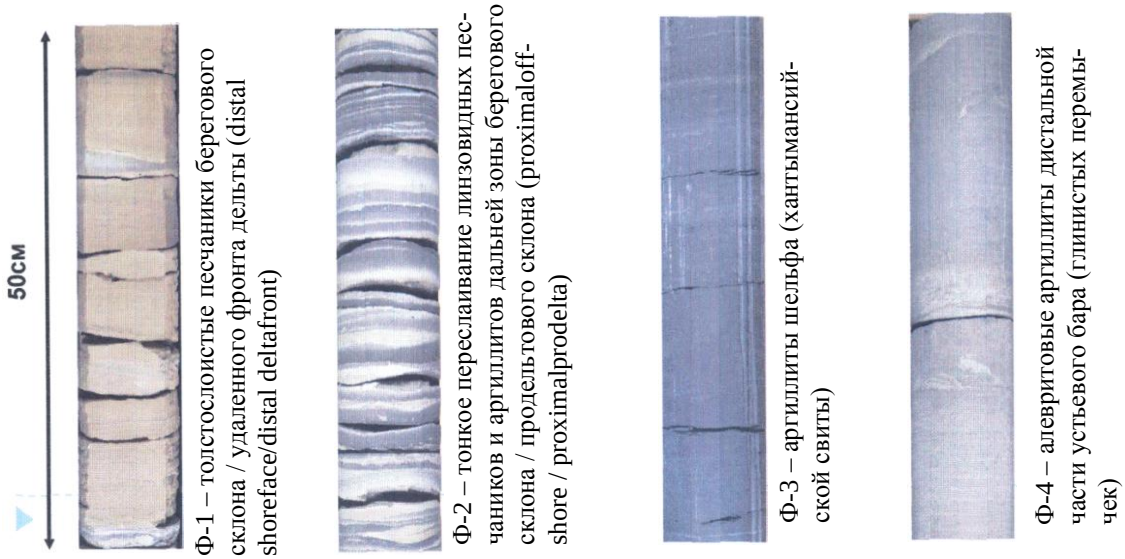
А			В			
Уровни организации (О. А. Вотах, 1991)			Уровни организации (В. А. Познанин, 2012, с сокращениями)			
Группа	Ранг	Виды элементов	Ранг	Название	Содержание	Пространственные пределы
Планетарный		Земля	10	Глобальный	Литосфера	до 40 000 км
Глобальная	12	Сегменты планеты	9	Сегментный	Плита планетарная	до 10 000 км
	11	Геосфера				
	10	Глобальные зоны геосфер				
Геоструктурная	9	Геоструктурные области	8	Региональный	Ландшафтная страна	160 – 4 000 км
	8	Слои земной коры				
	7	Тектонические комплексы				
Формационная	6	Формационные комплексы (серии)	7	Территориальный	От ландшафта до ландшафтной провинции	30 – 160 км
	5	Геоформации (свиты)				
	4	Наборы пород (литоциклы)	6	Местный	Урочище - местность	3 – 30 км
Минеральная	3	Породы	3-5	Локальный детальный эталонный	Фация и фациальный комплекс	0,3 м – 3 км
	2	Минералы	2	Элементарный		0,1 – 14 см
	1	Молекулы	1	Точечный		10^{-6} – 10^{-2} см

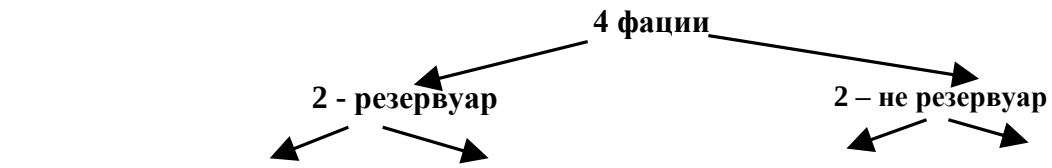
II.3. ФАЦИЯ – «ПОРОДА» И ФАЦИЯ – «ОБСТАНОВКА»

Из предыдущего рассмотрения (см. п. II.2.1) следует, что вплоть до настоящего времени используется два существенно различающихся (контрадикторных) понимания фации: 1) как породы, сформированной в некоторой обстановке; 2) как обстановки осадконакопления, реализованной в конкретных породах.

II.3.1. Литофации

«Выбор фаций представляет собой сложную, зависимую от конкретных условий задачу, которая может не иметь однозначного решения. Предпочтительно придерживаться простоты. Часто для моделирования бывает достаточно двух фаций: породы-коллекторы и породы-неколлекторы. Иногда продуктивная толща коллектора бывает представлена двумя типами пород, имеющими существенно различный характер пространственной вариации. Потребность включения в рассмотрение трех и более типов возникает редко. Исключительно редко возникает необходимость рассмотрения трех и более типов непродуктивных пород. Таким образом, максимальное число типов фаций может достигать шести» (К. В. Дойч, 2011, с. 214).





1. Массивные песчаники речного русла с влиянием приливно-отливных процессов tidal influenced fluvial channel (H до 4 м)

2. Песчаники с флазерной слоистостью приливно-отливных отмелей – sand tidal flat (H до 4 м)

3. Аргиллиты с линзами и тонкими прослоями песчаника с течениевой рябью смешанных песчано-илистых приливно-отливных отмелей – mix sand-mud tidal flat

4. Аргиллиты с тонкой горизонтальной ритмичной слоистостью илистых приливно-отливных отмелей mud tidal flat

Рис. II.3.1. Фациальный состав отложений комплекса коллекторов $ВК_{1-3}$ Каменного месторождения (Красноленинский НГР, Западная Сибирь) (по А. Медведеву, А. Лопатину, К. Звереву, 2009)

II.3.2. Сейсмофации

Сейсмическая фациальная единица (сейсмофация) объединяет группу отражений, характеризующихся схожим набором параметров, таких как конфигурация, непрерывность, амплитуда, частота и т. д. Каждый параметр несет определенную информацию о геологическом строении изучаемого интервала. Конфигурация отражений тесно связана с основными характеристиками напластования, непрерывность отражений – с непрерывностью пластов, амплитуда показывает соотношение плотности и скорости, частота зависит от мощности пластов и т. д. (Сейсмическая…, 1982). Со становлением доминирующей роли трехмерной сейсморазведки, значительным улучшением качества регистрируемых данных, а главное, в связи с последними достижениями в области обработки и интерпретации, удалось заметно сместить понятие «сейсмофация» в область, более близкую понятию «литофация», и добиваться более детального расчленения разреза (Т. Н. Малярова, 2007).

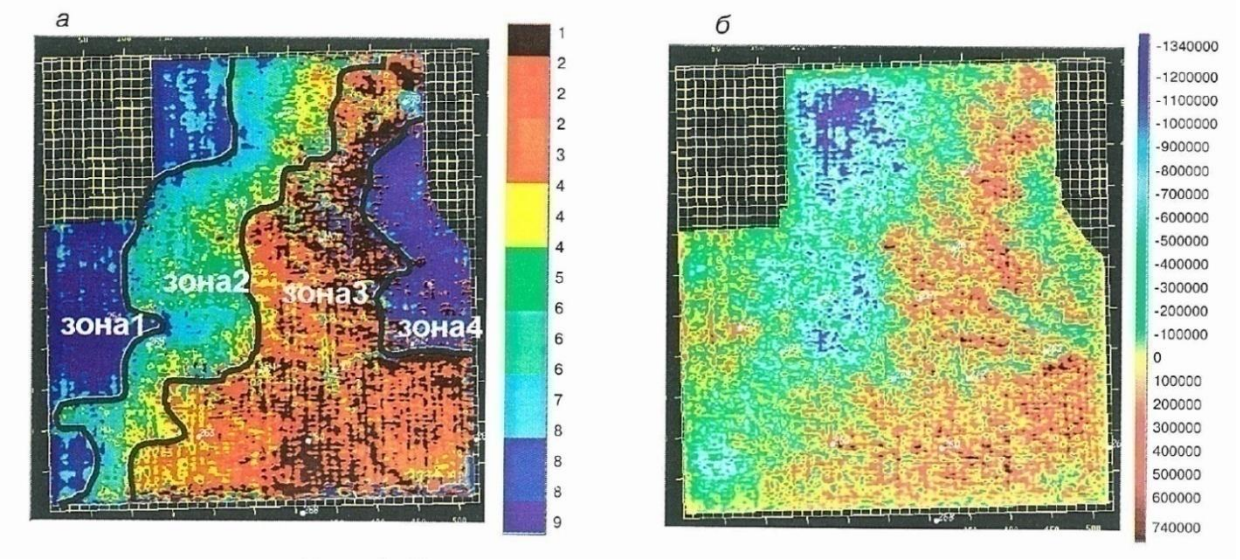


Рис. II.3.2. Карта сейсмофаций изучаемого интервала (а) и распределение амплитуд вдоль отражающего горизонта (б) (Т. Н. Малярова, 2007). Восточная часть Широтного Приобья, ачимовская пачка

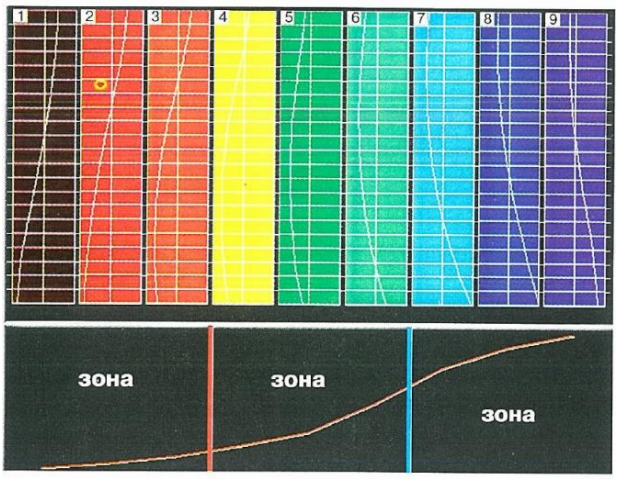


Рис. II.3.3. Модели сейсмофаций и корреляционная кривая (см. рис. II.3.2) (Т. Н. Малярова, 2007)

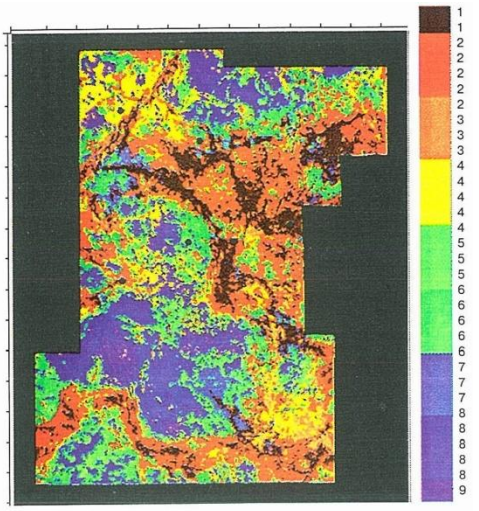


Рис. II.3.4. Карта сейсмофаций, полученная на основании анализа срезов вдоль горизонта по нескольким атрибутам (Т. Н. Малярова, 2007). Пласт $Ю_2$, Широтное Приобье

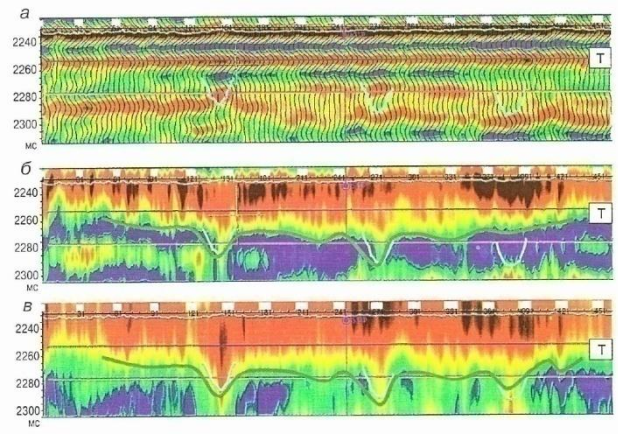


Рис. II.3.5. Вертикальные сечения в интервале пласта $Ю_2$ в палеоварианте (Т. Н. Малярова, 2007): *а* – куб амплитуд; *б* – куб мгновенных частот, взвешенных по амплитуде; *в* – результат спектральной декомпозиции – огибающая сигнала с центральной частотой 40 Гц

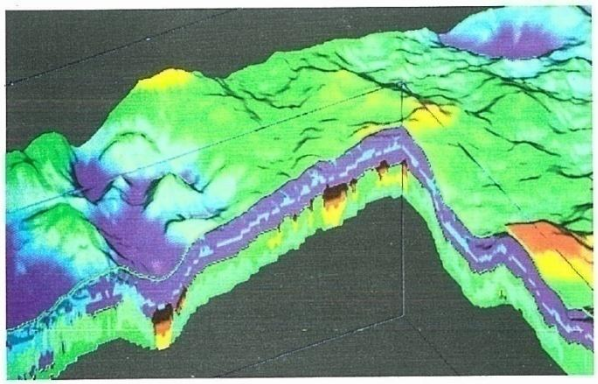


Рис. II.3.6. Отображение куба сейсмофаций в пакете VoxelGeo для пласта $Ю_2$ (см. рис. II.3.5) (Т. Н. Малярова, 2007)

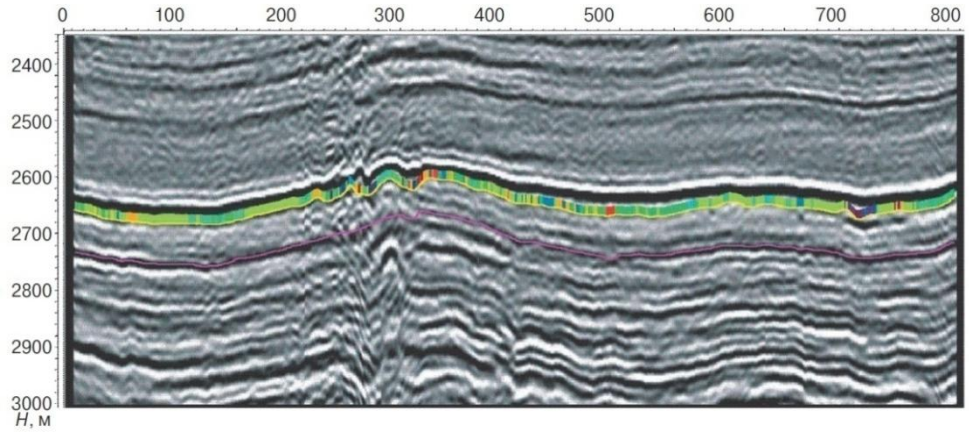


Рис. II.3.7. Сейсмофациальное сечение по глубинному кубу для интервала пластов J_1^{1-2}-J_1^3 (Р. С. Птецов и др., 2008)

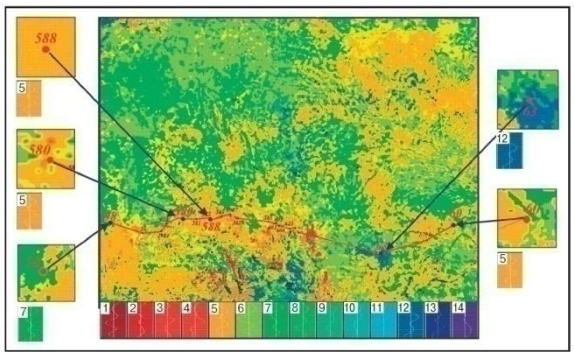


Рис. II.3.8. Карта сейсмических фаций по интервалу юрских пластов J_1^{1-2} – J_1^3 (Р. С. Птецов и др., 2008)

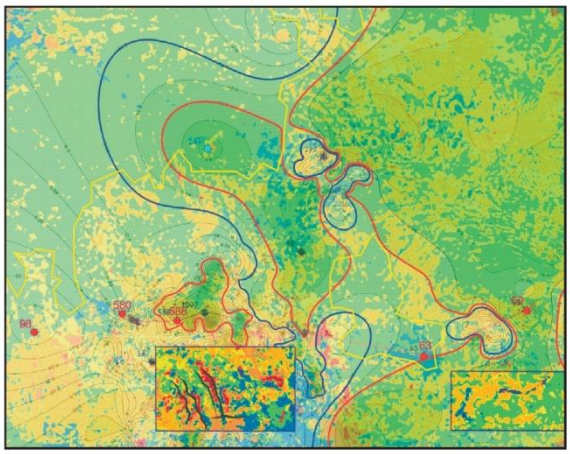


Рис. II.3.9. Сравнение трендов распространения песчаных коллекторов по ГИС (красным показаны зоны с высокими значениями коэффициента песчанистости, синим – с низкими) и по сейсмофациальному анализу по данным 3D-сейсморазведки (внизу слева – зона, осложненная тектонической активностью, справа – зона палеорусел) (Р. С. Птецов и др., 2008)

II.3.3. ГИС-ФАЦИИ*

«Представляется, что идея применения данных ГИС как седиментологического инструмента впервые появилась в 1956-1957 гг. Ее авторами являются инженеры SHELL-PECTEN Company (Хьюстон, США). Исследуя дельту Миссисипи, они установили, что кривые ПС имеют характерную форму. Каждая из этих форм соответствует фации определенного песчаного тела» (О. Серра, 1985).

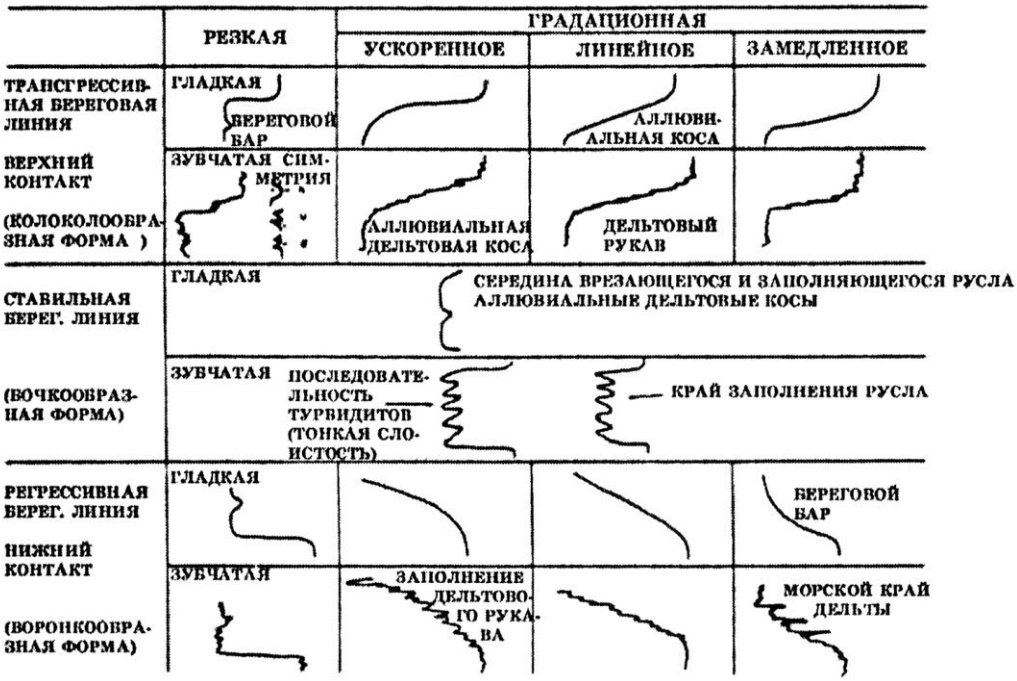


Рис. II.3.10. Классификация форм кривых ПС в терминах особенностей осадконакопления (Pirson, 1970, 1977; из работы О. Серра, 1985)

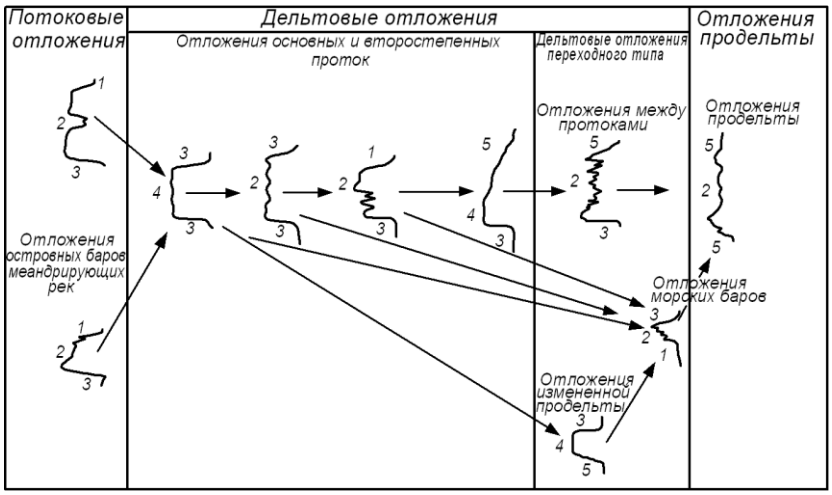


Рис. II.3.11. Формы кривых ПС для отложений, образовавшихся в различных условиях (Сейта и Вишер, 1968; из работы О. Серра, 1985):

1 – переходная; *2* – зазубренная; *3* – резкая; *4* – плавная; *5* – переходная зазубренная

* ГИС – геофизические исследования скважин

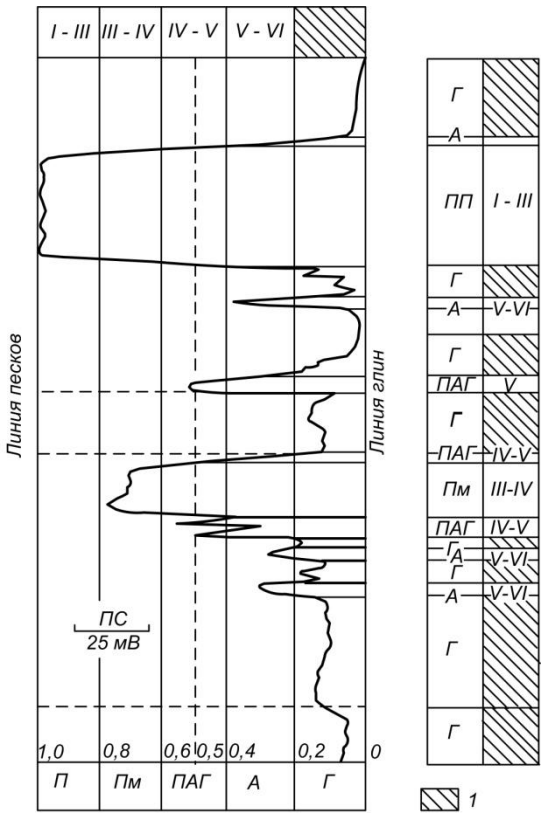


Рис. II.3.12. Схема интерпретации кривой $\alpha_{пс}$ с выделением литологии разностей пород и классов коллекторов, по (В. С. Муромцев, 1984):

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

П – песчаник крупно-среднезернистый неглинистый; *П*м – песчаник мелкозернистый; *ПАР* – смешанные песчано-алеврито-глинистые породы; *А* – алевролит, глинисто-алевритовые породы; *Г* – глины и алеврито-глинистые породы; *ПП* – продуктивный пласт; коллекторы: *I – III* – хорошо проницаемый, *III – IV* – проницаемый, *IV – V* – слабопроницаемый, *V – VI* – непроницаемый; *1* – породы-экраны.

Примечание. Классы коллекторов по А. А. Ханину

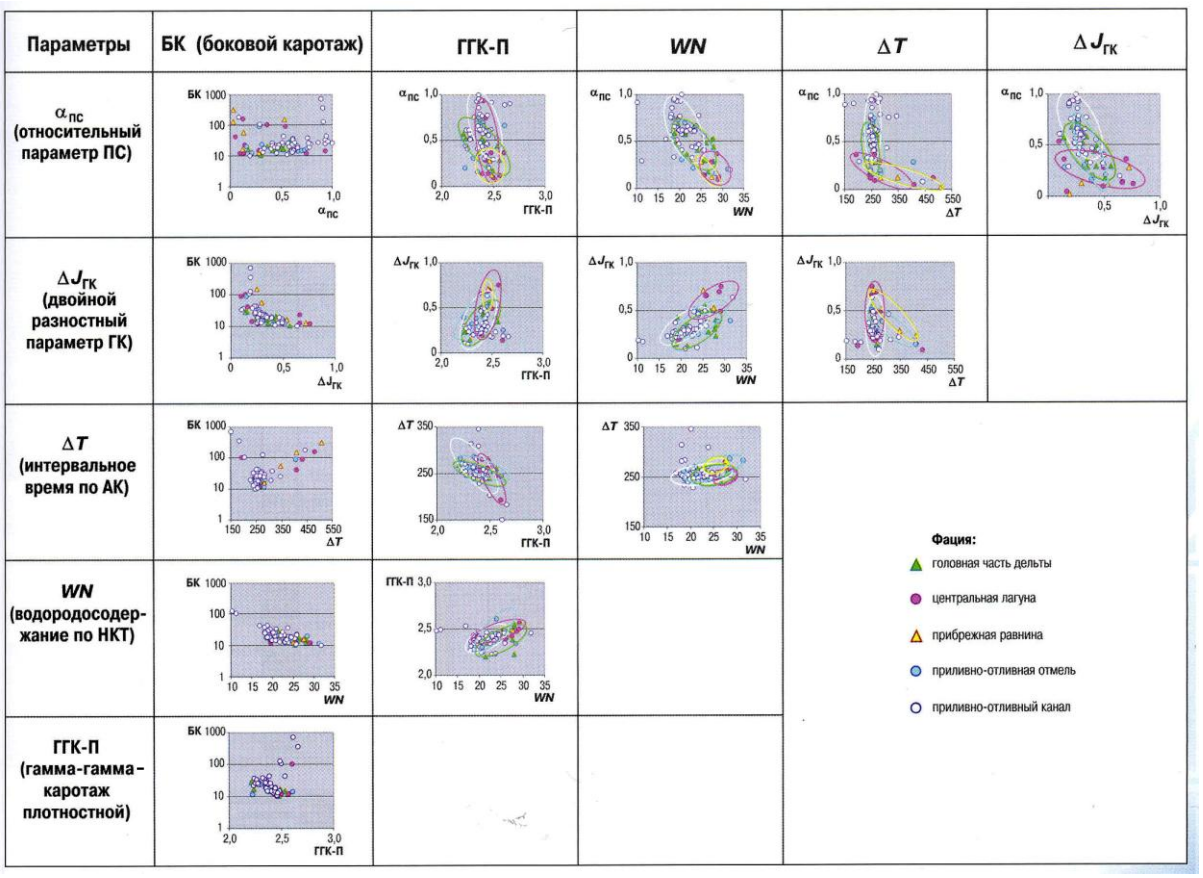


Рис. II.3.13. Сопоставление методов ГИС для различных фаций тюменской свиты Уватского района (Е. А. Марченко, Ю. В. Шилова, 2010)

$$ФАЦИЯ = a \pm b \cdot ГГК\text{-}П \pm c \cdot \Delta T \pm d \cdot \alpha_{ПС} \pm f \cdot \Delta J_{ГК} \pm g \cdot WN,$$

где *a, b, c, d, f, g* – подбираемые коэффициенты, минимизирующие различия между фактическими и экспериментальными данными

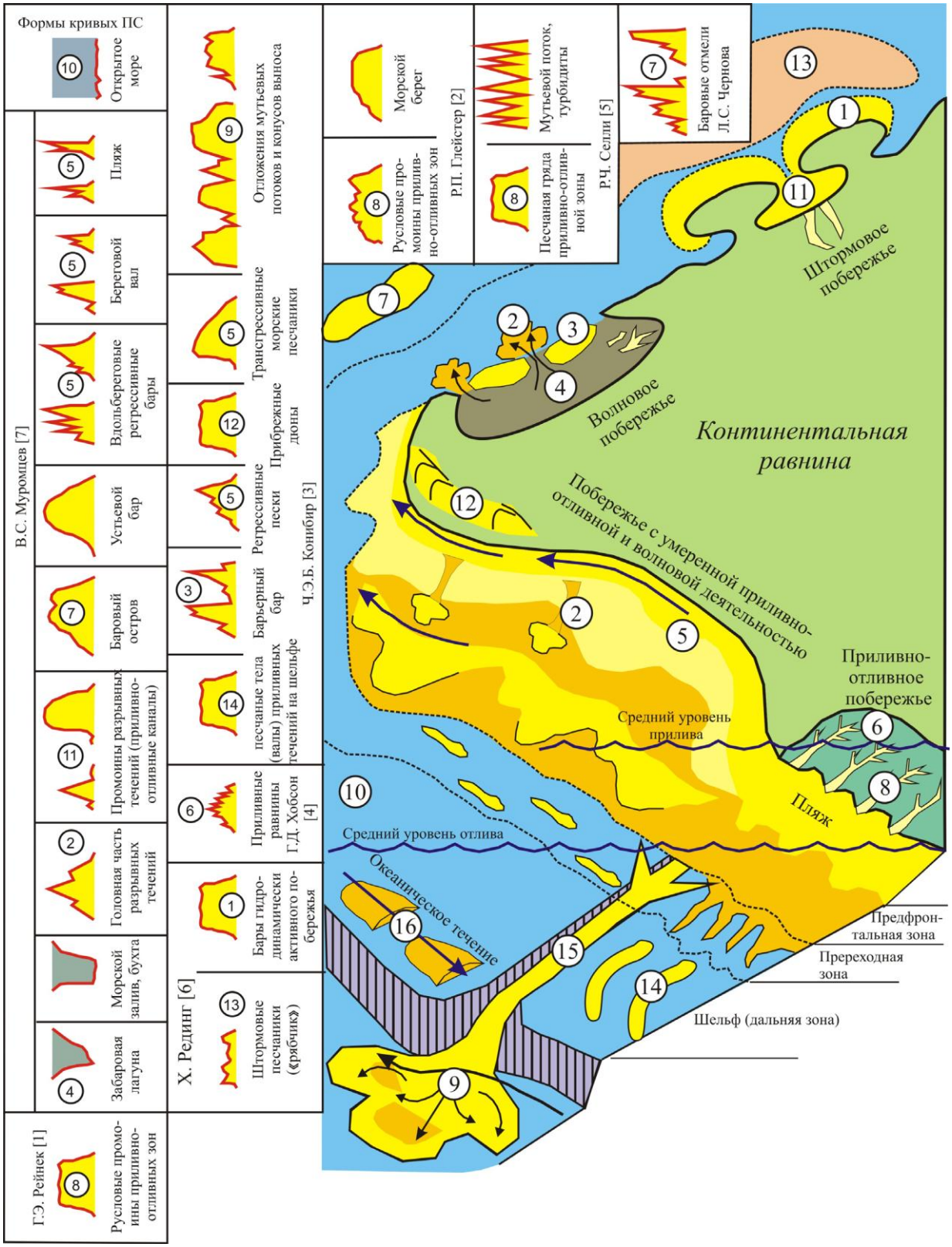


Рис. II.3.14. Электрометрические модели фаций (ЭМФ) морских отложений (В. Б. Белозёров, 2011): фациальная интерпретация кривой ПС для морских отложений: *1* – баровый остров; *2* – промоины и головные части разрывных течений; *3* – барьерный бар; *4* – забаровая лагуна; *5* – пляж, береговой вал (трансгрессивные и регрессивные береговые пески); *6* – приливно-отливная зона с рукавообразной системой русловых промоин; *7* – бары дальней зоны и песчаные банки; *8* – приливно-отливные каналы и гряды; *9* – глубоководный конус выноса; *10* – глинистые осадки шельфа; *11* – приливно-отливные дельты; *12* – дюны; *13* – штормовые пески; *14* – песчаные валы приливных течений; *15* – подводная долина; *16* – подводные дюны

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

II.4. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

II.4.1. Методы фациальных реконструкций

В 50-х гг. прошлого столетия было предложено несколько методов изучения фациального состава отложений, преимущественно на материале угленосных толщ. Среди них наиболее известными и обсуждаемыми были:

- фациальный (литогенетический);
- фациально-циклический (Ю. А. Жемчужников и др.);
- фациально-геотектонический (Г. А. Иванов).

Их краткая характеристика дана во 2-м издании «Геологического словаря» (Геологический…, 1973, т. 1), а подробное описание – в работе (Методы формационного …, 1975).

Общие принципы первой стадии **фациально-циклического анализа**, которую П. П. Тимофеев предложил называть **литолого-фациальным анализом**, приведены на рис. II.4.1.

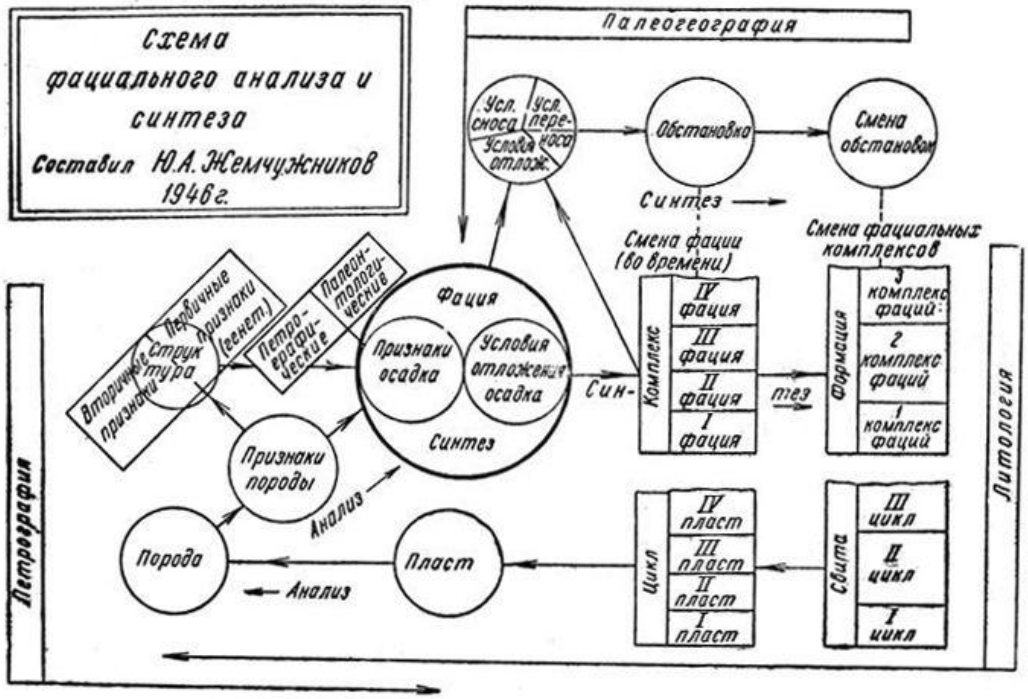


Рис. II.4.1. Принципы фациального анализа (Ю. А. Жемчужников, 1948)

Под **фацией** создателями метода понималась «… совокупность физико-географических условий (глубина бассейна, удаленность от морского берега, положение в застойном водоеме или речной долине, условия произрастания, жизни и захоронения организмов, т. е. все условия среды осадконакопления) образования осадка, выраженных в одном или нескольких литогенетических типах пород, тесно связанных между собой» (Атлас…, 1956, с. 8).

Под **литогенетическим типом** (см. табл. II.2.2) подразумевался «… тип первоначального осадка, превращенного в породу, обладающую совокупностью определенных первичных генетических признаков. Под генетическими признаками горных пород понимаются их черты, связанные с условиями накопления и формирования осадка» (Атлас…, 1956, с. 7 – 8).

Авторами метода особо подчеркнуто, что понятие «*генетический тип*» А. П. Павлова, использованное для четвертичных отложений, совершенно не совпадает с определением *литогенетического типа* (см. табл. II.2.1).

II.4.2. Первый этап – установление диагностических признаков

Основным, базовым этапом для литолого-фациального анализа (ЛФА) является установление и детальная характеристика диагностических признаков, которые характеризуют все выделяемые при документации керна слои.

В классическом для литолого-фациального анализа варианте перечень признаков, подлежащих определению, выглядит следующим образом (Атлас литогенетических типов ..., 1956).

1. Порода, структура, состав:

а) гранулометрический состав (название породы);

б) изменение крупности зерна;

в) сортировка зерен;

г) окатанность зерен;

д) минеральный состав зерен;

е) характер галек и неокатанных включений (форма, состав, распределение).

2. Текстура:

а) тип слоистости (или соотношение нескольких типов);

б) четкость серий и слоев;

в) причины, обусловившие слоистость;

г) распределение материала в слойках;

д) толщина слоев и серий, углы наклона слойков;

е) переходы внутри слоя, однородность и другие признаки текстуры слоя в целом.

3. Растительные остатки
4. Фауна

} Чем представлены, степень сохранности. Форма захоронения, распределение в породе.

5. Минеральные включения:

а) конкреции – форма, состав, строение, распределение в породе;

б) отдельные минералы – пирит и др.

6. Вскипаемость с соляной кислотой.

7. Контакты и переходы (нижний и верхний).

При изучении пород необходимо учитывать весь комплекс признаков, так как только понимание их различных сочетаний позволит наиболее правильно проводить последующие работы.

В несколько упрощенном и схематизированном варианте перечень признаков выглядит следующим образом: структура (размерность и сортированность) – цвет – текстура (слоистость) – органические остатки (количество и степень сохранности) – минеральные включения и изменения – вторичные изменения – прочие признаки – контакт. Особо подчеркнем, что если детальность определения того или иного признака зависит от целого комплекса факторов и может варьировать от простой констатации факта до его тщательного анализа, то *последовательность* их характеристики должна выдерживаться *неукоснительно.*

Диагностические признаки **терригенных отложений**, с их разделением на конститутивные (1-2 и 7 в выше приведенном перечне) и индикативные (3-6), рассмотрены в I части пособия (соответственно, темы I.2 и I.3). Добавим к изложенному следующее. Общая последовательность в перечне признаков, а также в подходе к их характеристике за истекшие более чем полвека не претерпела принципиальных изменений. В то же время существенный прогресс в познании осадочных толщ и слагающих пород определяет необходимость использовать современные

представления о наблюдаемых признаках и их значении для фациальных реконструкций. К примеру, это сведения об ихнофоссилиях, активно разрабатываемые в последние десятилетия (см. п. I.3.2); использование люминесцентного анализа, буквально «на глазах» введенного в обязательный комплекс изучения керна во многих организациях нефтегазового профиля (см. рис. I.10.11, I.10.12) и мн. др. В качестве одного из множества таких примеров на рис. II.4.2 приведено совершенствование представлений о бугорчатой косой слоистости (БКС) или hummockycross-bedding, являющейся важным идентификатором активных (штормовых) волнений.

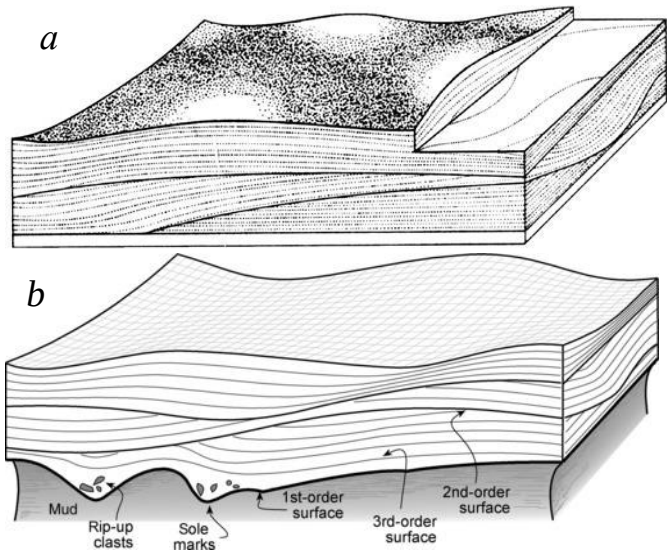


Рис. II.4.2. Бугорчатая косая слоистость (hummockycross-bedding):

a – представления И. Хармса и др. (J. C. Harms e. a., 1982); *b* – современный взгляд (M. Morsilli, L. Pomer, 2012):

Mud – подстилающее (глинистое) ложе;

Solemarks – подошвенные знаки (заполнение первичных, подготовленных текстур ложа);

Rip-upclasts – литокласты (текстуры «срыва»);

Order-surface – порядки поверхностей: 1 – со значительным перерывом (диастемой): см. п. I.2.4; 2 – границы серий и 3 – границы слойков (см. рис. I.2.10)

Другой пример, иллюстрирующий механизм формирования слоистости в приливно-отливной полосе и дополняющий приведенный ранее (см. рис. I.2.12), показан на рис. II.4.3.

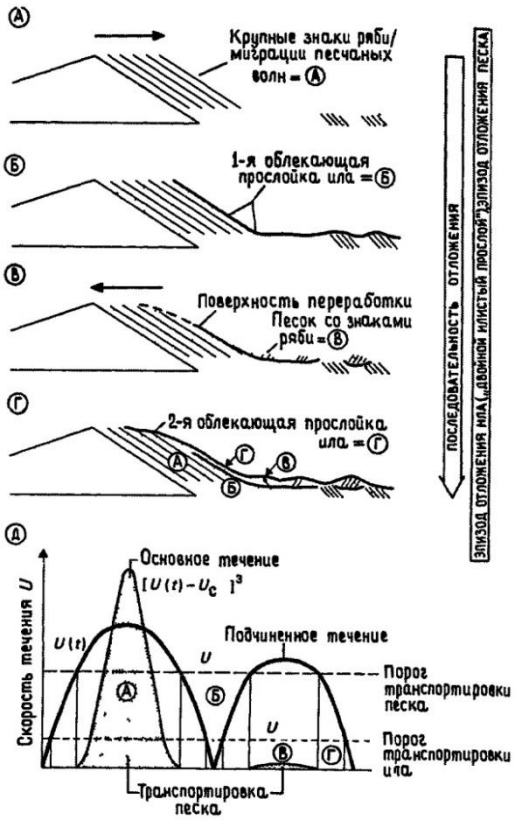


Рис. II.4.3. Интерпретация участка косой слоистости в терминах приливно-отливного цикла с асимметричной скоростью прилива-отлива:

А – Г представляют стадии отложения осадка в соответствии с приливно-отливным циклом; *Д* представляет кривую скорости прилива и отлива, которая объясняет структуры, показанные на *А – Г*: *А* – стадия с преобладанием течений; *Б* – первая стадия образования заводи; *В* – подчиненная стадия течений; *Г* – вторая стадия образования заводи; *Д* – приливно-отливный цикл и соответствующая ему последовательность отложения песок – ил. По М. Виссеру и Дж. Аллену (Visser, 1980; Allen, 1982): из (Обстановки..., 1990, ч. 1. С. 226)

II.4.3. Второй этап – определение генезиса отложений

При наличии правильно установленных диагностических признаков и четких представлений о генезисе изучаемых отложений, само определение легко свести к достаточно простой информационно-поисковой процедуре. Принципы систематики выделяемых объектов приведены в табл. II.4.1 (см. также табл. II.2.1).

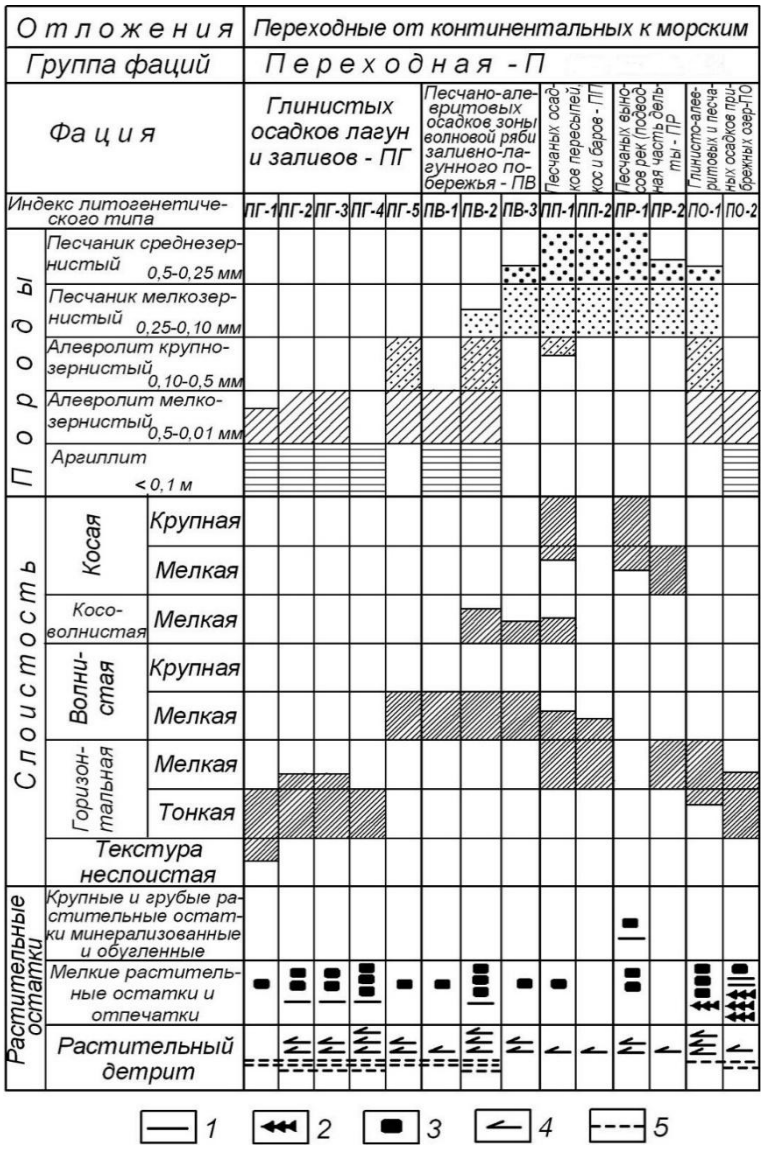
Таблица II.4.1

Рекомендуемая индексация (Атлас..., 1956)

Группа	Макрофация	Фация	Литогенетический тип
А Аллювиальные отложения	АР Аллювий русловый	АРР Аллювий русловый, равнинный	АРР-2 2 – порядковый номер типа, который охарактеризован следующими признаками: гравелит мелко- и среднезернистый, песчаники средне- и крупнозернистые, разнозернистые, с крупной косой однонаправленной прямолинейной слоистостью и ритмической сортировкой материала

Таблица II.4.2

Реализация информативно-поисковой процедуры на примере распределения признаков по литогенетическим типам пород среднего карбона Донецкого бассейна (только переходная группа) по (Атлас..., 1956)



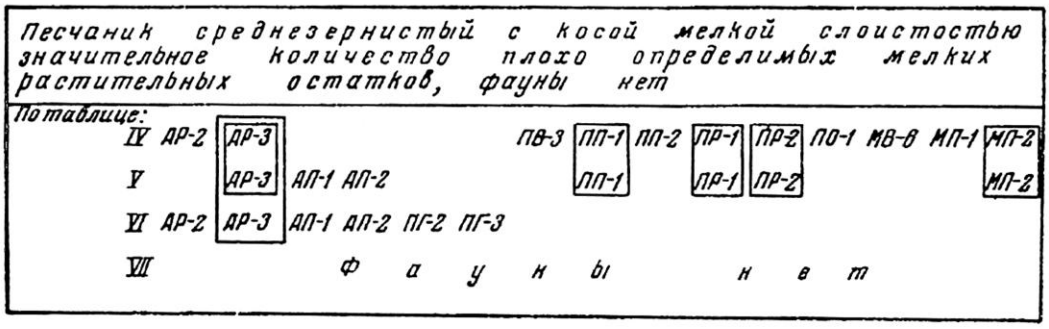
Обозначения (для растительных остатков): *1* – стебли хорошей сохранности; *2* – листья хорошей сохранности; *3* – растительные остатки плохой сохранности; *4* – растительный детрит; *5* – тонкий растительный детрит.

Количество растительных остатков: 3 знака – очень много (обильные); 2 знака – довольно много (присутствуют в значительном количестве); 1 знак – мало (иногда, редко, единичные)

В табл. II.4.3 приводится пример установления генезиса для конкретной породы с набором диагностических признаков. При этом поочередно выделяются литогенетические типы, для которых свойственны эти признаки: гранулометрический («таблица IV»), текстурный («табл. V»), распределения растительных остатков («табл. VI») и фаунистический («табл. VII»). Повторение признаков выделено прямоугольником, что в итоге позволило отнести породу к типу АР-3.

Таблица II.4.3

Пример определения литогенетического типа (Атлас ..., 1956, с. 31)



Нами предложено упростить эту процедуру, сведя поиск на следующей итерации **только** для тех объектов, которые выделены для предыдущей. Таким образом, в табл. II.4.3 на второй итерации, относящейся к текстурной характеристике, из первоначальных 11 типов *останется* пять, а на третьей (растительные остатки) – один (АР-3). Такой подход еще более ужесточает требования к *правильности* определения диагностических признаков. Впрочем, без этого вся процедура становится малоосмысленной.

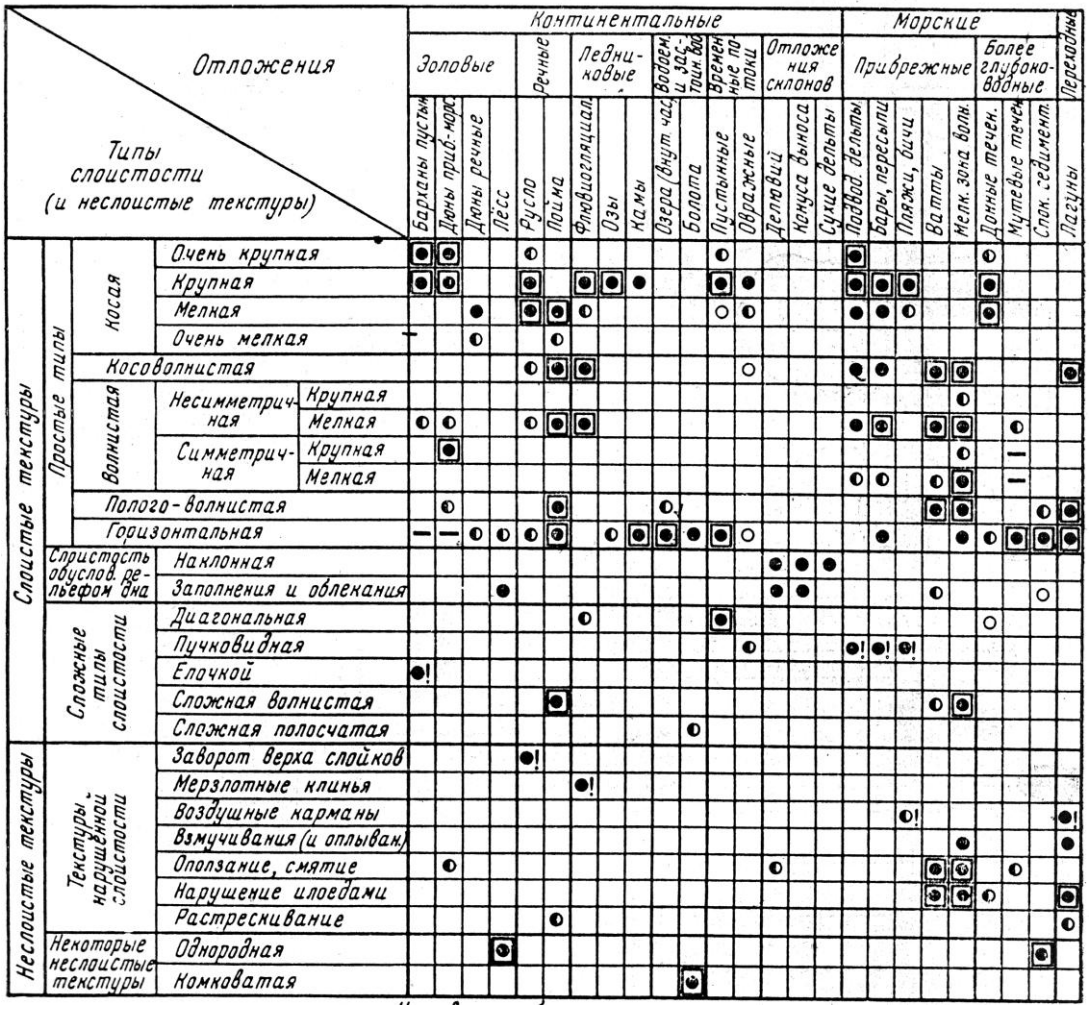
Отдельно и особо подчеркнем ведущую роль в установлении генезиса отложений, принадлежащую **текстуре породы или слоистости**, что подробно рассмотрено в работе (Л. Н. Ботвинкина, 1962).

К примеру, наличие специфической чередуемости тонких слойков сразу позволяет сузить поиск обстановки осадконакопления до двух основных типов – приливно-отливной (миграционной), описанной выше (см. рис. I.2.12; II.4.3) и озерно-ледниковой (мутационной). В обоих случаях можно говорить о специфическом типе породы – ритмите (Л. Н. Ботвинкина, 1966) или ламините (от lamina – слоек: В. Н. Шванов, 1992). Изначально также отложения изучались на примере ледниковых озер Скандинавии, где получило название варвы.

Варвы – по шведскому названию ледниковых озер (дословно «varve» – оборот, сезон; Hvarfiglera – ленточные глины; De Geer G., 1910) – годичная лента тонких алеврито-глинистых слойков, отложенных чаще всего в ледниковых озерах в режиме «неподвижной воды». Обычно двуслойны, то есть включают в себя нижний «летний» слой, состоящий из хорошо сортированного песчано-алевритового материала и имеющий более светлую окраску и более тонкий «зимний» слоек, в основном глинистого состава и более темного цвета (Геологический словарь, 2010. Т. 1. с. 138; с дополнениями).

Таблица II.4.4

Связь комплексов различных типов слоистости с отложениями разного генезиса (по Л. Н. Ботвинкиной, 1965; с сокращениями)



Примечание: ■ – основной, ведущий тип слоистости, определяющий фацию; ● – тип, часто встречающийся в данной фации, но не определяющий ее; ◑ - тип, встречающийся нечасто или нехарактерный; ○ – тип, еще никем не отмеченный, но теоретически возможный в данной фации; ! – особенно характерен для данной фации, хотя может быть встречен редко, в особых условиях; ▬ - характерное отсутствие данного типа

В самом общем виде наиболее типичные признаки для терригенных угленосных толщ показаны в табл.II.4.5.

Таблица II.4.5

Генезис		Структура				Сортированность			Слоистость				Колич. растит. материала		
Механизм	обстановка	крупнозерн. песч., гравелит	мелко-, средне-зерн. песчаники	алевролит	аргиллит	плохая	средняя	хорошая	косая	косо-волнистая	полого-волнистая	горизонтальная	небольшое или отсутствуют	среднее	значительное
Потоково-волновой	Русловая	++	+			++	+		++	+			+	++	+
	Подводно-дельтовая	+	++	+		+	++	+	++	+			++	+	
	Баровая		++	+			+	++	+	++	+		++		
Тиховодный	Озерная			++	+		+	++		+	++	+	++	++	+
	Лагунная			+	+ +		++	+		+	+	++	++	+	
	Ваттовая		+	++		++	+			++	++			++	+

Примечание. ++ - наиболее характерный признак для данной обстановки; + - часто встречаемый; кружками объединены ведущие, индикаторные признаки.

II.5. ФАЦИАЛЬНОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ

II.5.1. Примеры классификаций

На рис. II.2.8 и II.2.9 были приведены достаточно детальные схемы фациального разделения поверхности земного шара. Они базируются на представлениях, имеющих обобщенный характер – для примера в табл. II.5.1-II.5.4 приводится несколько классификаций разного характера и содержания. При их принципиальной схожести (особенно для континентального блока), имеется и ряд существенных различий.

Таблица II.5.1

Обстановки современного осадконакопления (ретроспективный аспект)

У. Х. Твенхофел, 1936	Д. В. Наливкин, 1956 нимии*	
Континентальные обстановки	Формация** материк	Долосклон
Наземные		Горный хребет
Пустынная		Горное подножие
Ледниковая		Пустыня
Речные		Прибрежная равнина
Предгорная		Дельта
Плоскодолинная		
Болотные		
Озерные		
Пещерные		
Смешанные континентальные и морские обстановки	Формация** море	Открытый шельф
Береговые		Лагунная область
Краевые лагунные		Материковое море
Устьевые		Внутреннее море
Дельтовые		Архипелаг
Морские обстановки		Рифовая область
Неритовые или мелководные		
Батиальные или промежуточных глубин		Батиальная область
Абиссальные или глубоководные		Абиссальная область

*Нимия – комплекс сервий, постепенно переходящих друг в друга и образующих крупные географические области (сервия – комплекс фаций, постепенно переходящих друг в друга и образующих единое географическое явление). «Сервия» = букет; «нимия» = сверхмерная.

**Формация – крупнейшая составная часть земной поверхности

Таблица II.5.2

Сводка основных обстановок осадконакопления на поверхности Земли

(М. Р. Лидер, 1986); см. также рис. II.2.8

Ассоциация обстановок осадконакопления	Обстановки осадконакопления	Субобстановки или варианты обстановок осадконакопления
Континентальная	Гляциальная и перигляциальная	Супрагляциальная (флюидальная валунная глина), субгляциальная (скопление валунной глины, морены), интрагляциальная (проталины безморенной глины), моренный комплекс, зандровый веер, ледниковое озеро, эскер или оз (также ледниково-морская)
	Пустыня	Эрг, вади. Шлейф эрга, междюнная, плайя, твердая корка
	Аллювиальный конус выноса	Вершина аллювиального конуса выноса, проксимальная область конуса выноса, дистальная область конуса выноса, впадины на поверхности конуса выноса
	Аллювиальная равнина и речной конус	Ветвящееся русло, меандрирующее русло, прирусловый вал, надпойменный конус, паводковая область, озера
	Озера	(Соленые, умеренно стратифицированные, тропические стратифицированные, ледниковые, дельтовых долин), озерные террасы, береговой склон, бассейн, дельта
Прибрежно-шельфовая	Дельты	Русло дельтового рукава, приливно-отливное русло, пойменное болото, залив, бар в устье реки, продельта

Окончание таблицы II.5.2

Ассоциация обстановок осадконакопления	Обстановки осадконакопления	Субобстановки или варианты обстановок осадконакопления
	Эстуарии	Эстуариевое русло, окраинная равнина, приливная дельта
	Линейно вытянутые побережья с терригенным осадконакоплением	Пляж, прибрежная зона, внешняя зона прибрежья, береговой бар, лагуны, приливно-отливная отмель, приливно-отливная дельта, приливная протока, береговые эоловые дюны
	Побережья, шельфы и бассейны с карбонатно-эвапоритовым осадконакоплением	Себха, водорослевый марш, приливно-отливная отмель, пляж, лагуна, приливная дельта, край платформы, краевые постройки (рифы, биогермы, банки), глубоководный бассейн; эвапоритовый бассейн
	Шельф с терригенным осадконакоплением	(Воздействие атмосферы и приливов-отливов). Различные приливные донные формы, песчаные ленты, линейно вытянутые приливные гребни, песчаные волны, мелководные отступающие гряды, погребенное русло, уступы
Океаническая	Пассивный край	Континентальный склон, континентальное поднятие, абиссальная равнина, подводный конус выноса, подводный канал
	Активный край	Впадина, субдукционный комплекс, висячий бассейн, предостроводужный и заостроводужный бассейн, конус выноса
	Океаническая пелагическая	Срединно-океанический хребет, фланги хребта, абиссальная равнина (гиперсолевый океан, эвксинный океан)

Таблица II.5.3

Пояса и зоны осадконакопления аллохтонного седиментогенеза (Осадочные ..., 1994)

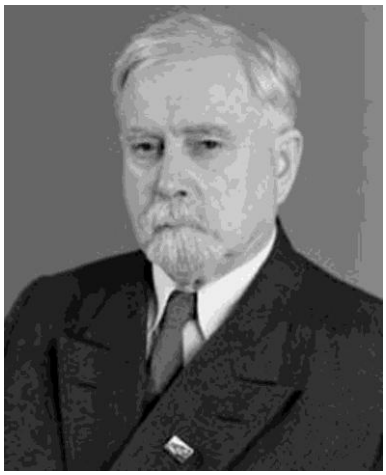
Континентальное осадконакопление				
Среда седиментации	Преобладающий характер движения среды			
	прерывисто-поступательный	устойчиво-поступательный	колебательный	статический
Воздушная	Эоловая зона		–	Гравитационная зона (осыпи, обвалы и др.)
Водная	Пролювиальная зона	Речная зона, течениевая субзона	Прибрежная озерная субзона	Водно-гравитационная (старичная и глубоководно-озерная)
Ледовая	Ледниковая зона		–	
Морское осадконакопление				
Пояс	Зона		Субзона	
Шельфовый	Прибрежно-морская		Дельтовая	
			Пляжевая	
			Приливной равнины и эстуариев	
			Лагунная	
	Собственно шельфовая		Континентального (внутреннего) шельфа	
			Бровки шельфа (наружного шельфа)	
Пелагический	Континентального склона		Склоновая	
			Подножий	
	Собственно пелагическая		Абиссальных равнин	
			Срединных хребтов и подводных поднятий	
			Межгорных впадин	
			Глубоководных желобов	

Таблица II.5.4

Классификация фациальных типов глин (Фациальные ..., 1973, с. 203)

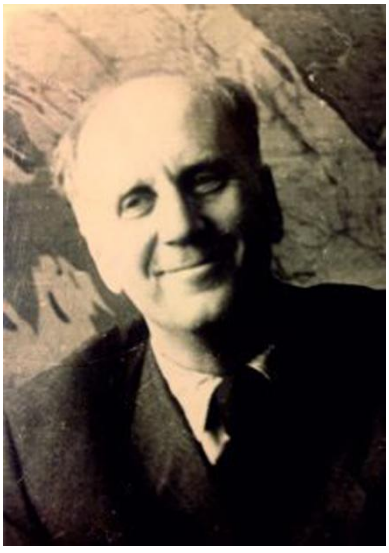
Континент	Переходная зона		Море
Элювиальные Поверхностные: почвы коры выветривания Подземные: карстовые	Водноосадочные Делювиальные Покровные флювио-гляциальные Аллювиальные Пролювиальные Озерные: пресноводные болотные ледниковые известковые и засоленные Такыры и шоры	Дельтовые Лагунные: лагун опресненных лагун с повышенной концентрацией солей	Шельфовые: прибрежной части шельфа мелководные умеренно-глубоководные Абиссальные
	Вулканические Глины грязевых вулканов (сопочные)	Эоловые – глиняные дюны Глины трения поверхностные: морены глубинные: надвиговые	

Значительный вклад в становление и развитие учения о фациях внесен советскими литологами Д. В. Наливкиным и Г. Ф. Крашенинниковым.



Дми́трий Васи́льевич НАЛИ́ВКИН (13 (25) августа 1889 – 03 марта 1982). В 1915 г. окончил Петроградский горный институт, в котором был оставлен и работал более 60 лет, в т. ч. с 1930 по 1982 гг. заведующим кафедрой исторической геологии. Академик (с 1946 г.), лауреат Ленинской и Сталинской премий.

Основные труды по стратиграфии, палеонтологии, палеогеографии палеозоя. Среди них – «Учение о фациях» (1932, 1933 гг.; доп. издание в 2-х томах – 1955, 1956 гг.), в котором предложена оригинальная классификация фаций и дана их подробная характеристика. Редактор сводных геологических карт СССР, автор монографии «Геология СССР» (1962).



Григо́рий Фёдорович КРАШЕНИ́ННИКОВ (18.11.1909 – 29.03.1992)

В 1931 г. окончил Московский геологоразведочный институт, работал над изучением многих угленосных бассейнов Восточной Сибири и Урала. С 1949 г. – в МГУ. Профессор, доктор геол.-минерал. наук (1955), автор большого количества научных работ, посвященных общим, региональным и методическим вопросам литологии, фациального анализа и др. Среди них фундаментальное исследование «Условия накопления угленосных формаций СССР» (1957), учебное пособие «Учение о фациях» (1971), ряд методических пособий по изучению осадочных пород, сохраняющих свою актуальность.

II.5.2. Сопоставление и детализация схем фациального расчленения терригенных (угленосных) отложений

Таблица II.5.5

Сопоставление схем фациального расчленения отложений (без торфяных болот – углей, являющихся предметом самостоятельного рассмотрения)

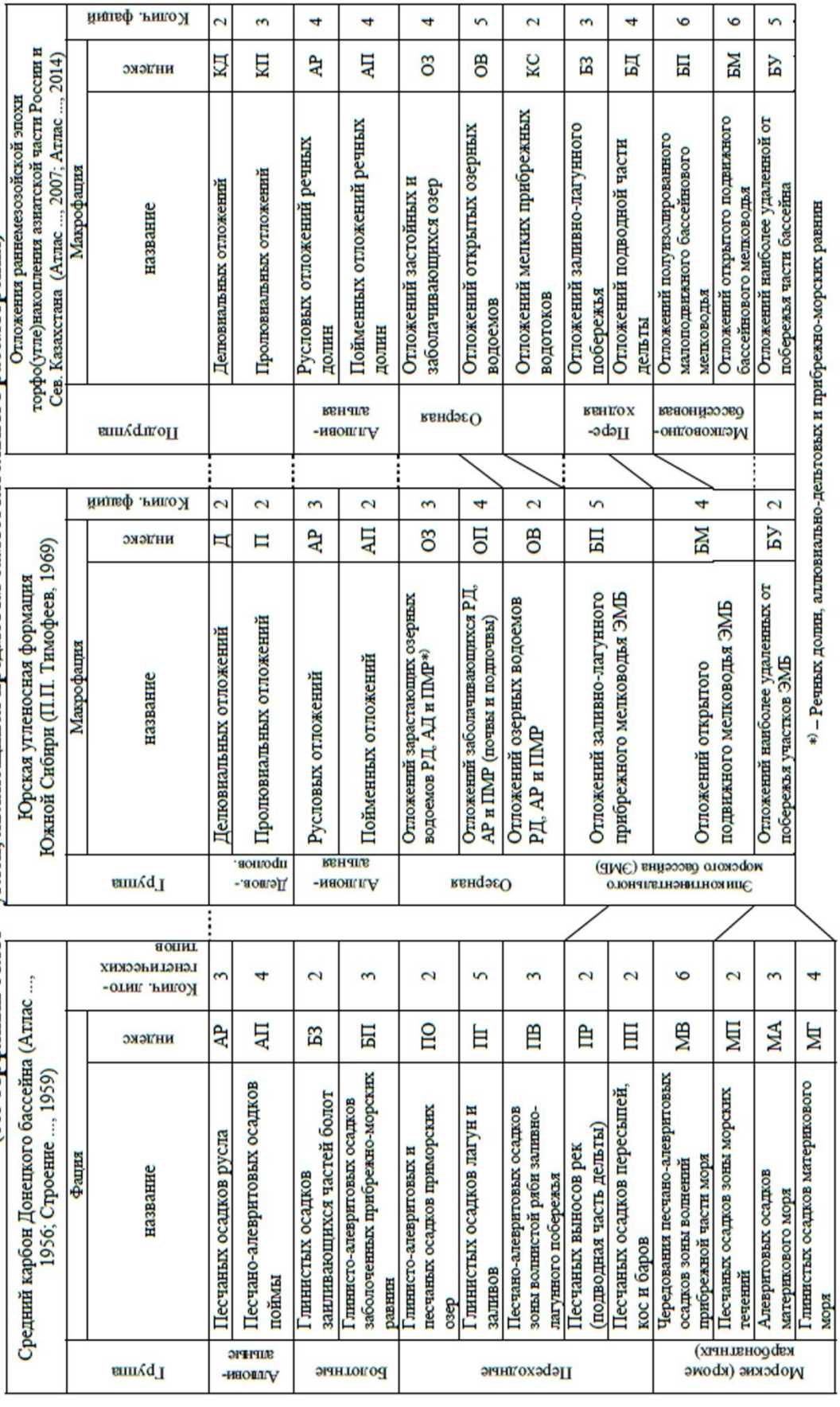


Таблица II.5.6

Фациальное расчленение отложений прибереговой зоны приемного водоема (первый пример детализации схем при получении новых сведений)

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">Средний карбон Донецкого бассейна (Атлас ..., 1956)</th><th colspan="2" rowspan="2">Юрская угленосная формация Южной Сибири (П. П. Тимофеев, 1969)</th><th colspan="4">Авторские схемы</th><th rowspan="2">дополнение в Атласе (2014)</th></tr>
<tr><th colspan="2">раннемезозойские угленосные отложения в целом (В. П. Алексеев, 1990)</th><th colspan="2">тюменская свита Западной Сибири (Атлас ..., 2007)</th></tr>
<tr><td rowspan="5">Отложения, переходные от континентальных к морским*</td><td rowspan="3">Фация песчано-алевритовых осадков зоны волновой ряби заливно-лагунного побережья – ПВ</td><td rowspan="5">Макрофация отложений заливно-лагунного прибрежного мелководья эпиконтинентального морского бассейна (ЭМБ) – БП</td><td>Фация алеврито-песчаных осадков прибрежного мелководья ЭМБ, в том числе прибрежных частей заливов и лагун – БПА</td><td rowspan="5">Макрофация отложений полуизолированного малоподвижного бассейнового мелководья – БП</td><td rowspan="3">Фация песчано-алевритовых осадков малоподвижного мелководья бассейна** – БПА</td><td rowspan="5">Макрофация отложений полуизолированного малоподвижного бассейнового мелководья – БП</td><td>Фация песчано-алевритовых осадков малоподвижного мелководья бассейна – БПА</td><td></td></tr>
<tr><td>Фация глинисто-карбонатных осадков прибрежного мелководья ЭМБ, в том числе прибрежных частей заливов и лагун – БПК</td><td>Фация песчаных осадков малых аккумулятивных форм (косы, пересыпи) – БПК</td><td rowspan="3">Фация глинистых и алеврито-песчаных осадков прибереговой взмучивания («рябчик) – БПВ</td></tr>
<tr><td>Фация алеврито-глинистых осадков прибрежного мелководья ЭМБ, в том числе центральных частей заливов и лагун – БПГ</td><td>Фация тонкого переслаивания глинистых и алевритовых осадков прибереговой зоны (ватты, марши) – БПР</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Фация глинисто-алевритовых и песчаных осадков приморских озер – ПО</td><td>Фация песчано-глинистых осадков прибрежного застойного мелководья ЭМБ, в том числе заливов и лагун – БПЗ</td><td>Фация алеврито-глинистых и карбонатных осадков малоподвижного мелководья бассейна – БПП</td><td>Фация алеврито-глинистых осадков прибрежного малоподвижного мелководья– БПП</td><td></td></tr>
<tr><td>Фация алеврито-глинистых осадков полуизолированного прибрежного мелководья ЭМБ, в том числе заливов и лагун – БПП</td><td>Фация глинисто-алевритовых и песчаных осадков приморских озер – БПО</td><td></td></tr>
</table>

* Без фаций лагун и заливов; пересыпей, кос и баров; подводной части дельты.

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

Таблица II.5.7

Сопоставление фациального расчленения отложений приберегового полуизолированного (БП) и открытого подвижного (БМ) бассейнового мелководья
(второй пример детализации схем при получении новых сведений)

<table>
<tr><td rowspan="2">Фации юрских терригенных отложений (Атлас ..., 2007) плюс вновь выделенная фация (см. табл. II.5.6)</td><td rowspan="2">Зоны М. Ирвина</td><td colspan="2">Расчленение отложений открытого подвижного бассейнового мелководья (БМ)</td></tr>
<tr><td>Ранее выделяемые фации (Атлас ..., 2007)</td><td>Новые фации</td></tr>
<tr><td>Глинисто-алевритовых и песчаных осадков приморских озер – БПО</td><td>К (континент)</td><td colspan="2">–</td></tr>
<tr><td>Алеврито-глинистых осадков прибрежного малоподвижного мелководья – БПП</td><td rowspan="6">Низкодинамичное мелководье - Z
Высокодинамичное мелководье - Y</td><td>Переслаивания глинисто-алеврито-песчаных осадков подвижного приберегового мелководья (малых аккумулятивных форм) – БММ</td><td></td></tr>
<tr><td>Вновь выделенная: Глинистых и алеврито-песчаных осадков приберегового взмучивания, биотурбации и волновой переработки – БПВ</td><td rowspan="4"></td><td>Переслаивания алевритовых и песчаных осадков волновой ряби – БМВ</td></tr>
<tr><td>Тонкого переслаивания глинистых и алевритовых осадков прибереговой зоны (ватты) – БПР</td><td>Переслаивания алевритовых и песчаных осадков в зоне активной волновой переработки (проксимальные темпеститы) – БМР</td></tr>
<tr><td>Песчано-алевритовых осадков малоподвижного мелководья бассейна – БПА</td><td>Алеврито-песчаных осадков активного подвижного мелководья (дистальные темпеститы) – БМА</td></tr>
<tr><td>Песчаных осадков малых аккумулятивных форм (косы, пересыпи) – БПК</td><td>Песчаных осадков сильноподвижного мелководья (бары) – БМБ</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td rowspan="2">Низкодинамичное глубоководье – X</td><td>Алеврито-песчаных осадков дальней зоны подвижного мелководья – БМП</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Низко- и высокодинамичное глубоководье (БУ)</td></tr>
</table>

II.5.3. Предлагаемая классификация

Таблица II.5.8

Сводная схема фациального расчленения юрско-меловых отложений Западной Сибири

Группа	Подгруппа	Макрофация		Фация		обозначение
		название	индекс	название	индекс	
1	2	3	4	5	6	7
Континентальная	Аллювиальная	Делювиальных отложений	КД	Щебенчатых осадков верховьев склонов	КДС	
				Песчано-алеврито-глинистых осадков подножий склонов	КДП	
		Пролювиальных отложений	КП	Песчано-гравийных и галечниковых осадков потоков конусов выноса	КПП	
				Песчано-алеврито-глинистых осадков шлейфов конусов выноса	КПШ	
				Песчано-алеврито-глинистых осадков конусов выноса в озера	КПО	
		Русловых отложений речных долин	АР	Песчано-гравийных и галечниковых осадков русла горных рек	АРГ	
				Гравийно-песчаных осадков русла крупных равнинных рек	АРР	
				Алеврито-песчаных осадков русел малых рек и проток крупных равнинных рек	АРП	
				Песчаных осадков приустьевых частей равнинных рек	АРД	
		Пойменных отложений речных долин	АП	Алеврито-песчаных осадков прирусловой 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	
				Песчано-алевритовых осадков приозерных пойменных (паводковых) равнин	АПО	
		Отложений торфяных болот и сапропелевых озер	Т	Подлежат самостоятельному рассмотрению		
	Озерная	Отложений застойных и заболачивающихся озер	ОЗ	Углистых глинисто-алевритовых осадков заболачивающихся озер и заиливающихся участков торфяных болот	ОЗУ	
				Глинисто-алевритовых слабоуглистых осадков застойных и слабопроточных участков зарастающих озер	ОЗО	
				Глинистых осадков заиливающихся участков застойных озер	ОЗЗ	
				Песчано-алевритовых слабоуглистых осадков проточных участков зарастающих озер	ОЗП	
		Отложений открытых озерных водоемов	ОВ	Глинистых и песчано-алевритовых осадков небольших озер	ОВН	
				Песчаных и глинисто-алевритовых осадков полуизолированного малоподвижного мелководья крупных озер	ОВП	
				Алеврито-песчаных осадков открытого подвижного озерного мелководья	ОВМ	
				Песчаных осадков конусов выноса рек в озера	ОВД	
				Глинисто-алевритовых осадков сравнительно глубоководных частей крупных озер	ОВГ	

Окончание таблицы II.5.8

1	2	3	4	5	6	7
Континентальная		Отложений мелких прибрежных водотоков	КС	Гравийно-песчаных осадков русел мелких прибрежных водотоков	КСР	
				Глинистых и песчано-алевритовых осадков поймы мелких прибрежных водотоков	КСП	
Бассейновая*	Мелководно-бассейновая	Отложений заливно-лагунного побережья	БЗ	Глинисто-алевритовых осадков полуизолированных частей побережья заливов и лагун	БЗП	
				Песчано-алевритовых осадков прибрежных частей заливов и лагун	БЗА	
				Алеврито-глинистых и карбонатных осадков центральных частей заливов и лагун	БЗГ	
		Отложений подводной части дельты	БД	Гравийно-песчаных (пуддинговых) осадков оснований конусов выноса рек	БДП	
				Гравийно-песчаных осадков центральных частей конусов выноса рек	БДЦ	
				Песчаных осадков конусов выноса рек	БДД	
				Алеврито-песчаных осадков передовой части дельты	БДА	
		Отложений полуизолированного малоподвижного бассейнового мелководья	БП	Глинисто-алевритовых осадков приморских озер	БПО	
				Алеврито-глинистых осадков прибрежного малоподвижного мелководья	БПП	
				Глинистых и алеврито-песчаных осадков приберегового взмучивания («рябчик»)	БПВ	
				Тонкого переслаивания глинистых и алевритовых осадков прибереговой зоны (ватты, марши)	БПР	
				Алеврито-песчаных осадков малых аккумулятивных форм (косы, пересыпи)	БПК	
				Алеврито-песчаных осадков активных участков	БПА	
		Отложений открытого бассейнового подвижного мелководья	БМ	Переслаивания глинисто-алеврито-песчаных осадков подвижного приберегового мелководья (малые аккумулятивные формы)	БММ	
				Переслаивания алевритовых и песчаных осадков волновой ряби	БМВ	
				Переслаивания алевритовых и песчаных осадков в зоне активной волновой переработки (проксимальные темпеститы)	БМР	
				Алеврито-песчаных осадков активного подвижного мелководья (дистальные темпеститы)	БМА	
				Песчаных осадков сильноподвижного мелководья (бары)	БМБ	
				Алеврито-песчаных осадков дальней зоны подвижного мелководья	БМП	
		Отложений наиболее удаленной от побережья части бассейна	БУ	Алеврито-глинистых осадков открытой части бассейна	БУГ	
				Алеврито-глинистых и песчаных осадков склонов и оползней	БУО	
				Песчаных осадков зерновых потоков	БУЗ	
				Пуддинговых осадков «аномальных» разрезов баженовской свиты	БУА	
				Битуминозных осадков (баженитов) наиболее глубоководных областей	БУБ	

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

II.6. ПРОВЕРКА (ВЕРИФИКАЦИЯ) ФАЦИАЛЬНЫХ РЕКОНСТРУКЦИЙ

II.6.1. Общие положення

С. И. Романовским сформулированы три позиции, обосновывающие необходимость и значимость фациальных исследований, без которых нельзя представить геологию (С. И. Романовский, 1977, с. 18-19). Эти представления дополняют материалы, изложенные в пп. II.1.2, II.1.3, и сводятся к следующему.

1. Имеется две логические схемы переноса знания, полученного при исследовании современных процессов, на объекты прошлых геологических эпох: А. Прямая экстраполяция. Б. Схема по пути создания теоретической модели, с ее последующей проверкой эмпирическими данными.

2. Гипотеза или теоретическая модель, нацеленная на объяснение механизма исследуемого явления, должна удовлетворять, в первую очередь, требованию принципиальной эмпирической проверяемости.

3. Если актуалистический принцип познания можно рассматривать как своеобразную методологическую основу при реставрации геологических процессов прошлого, то фациальный анализ является конкретно методическим воплощением этого принципа, нацеленным на его практическую реализацию.

Приведенные положения находятся в полном соответствии с известной схемой тектониста (!) Ю. А. Косыгина, предложившего ее в 1969 г. совместно с В. В. Соловьевым (рис. II.6.1, *А*). По своей внешней форме она получила название зет-системы или Z-системы. В рамках наших рассуждений к данной Z-системе добавлены пути разноуровневой *верификации*, применительно к фациальным реконструкциям (рис. II.6.1, *Б*)

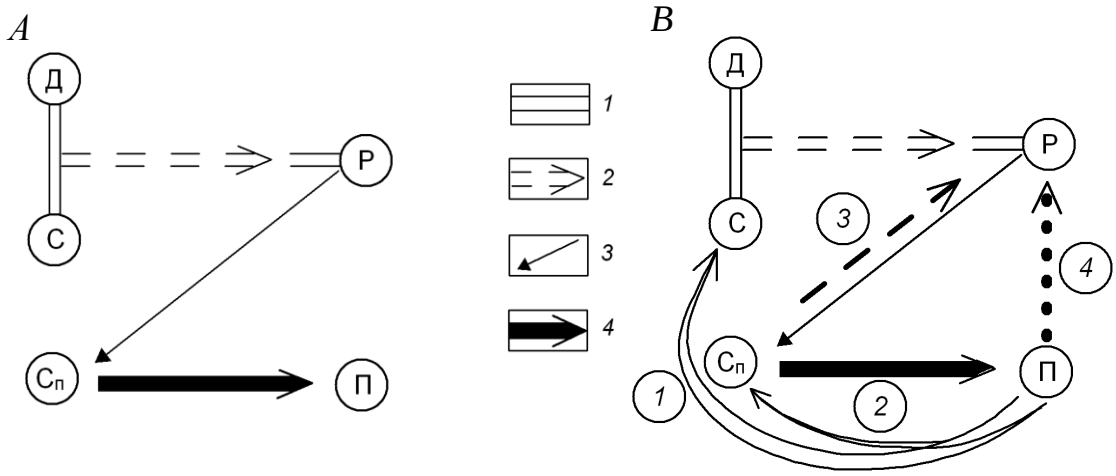


Рис. II.6.1. Зет-система:

А – по Ю. А. Косыгину (1983 и др.): С – квазистатические системы; Д – динамические системы; Р – ретроспективные системы; $С_п$ – прогнозные модели квазистатических систем; П – практический результат; *1*– сравнение по распространенной аналогии; *2* – построение ретроспективной модели по принципу актуализма; *3* – построение прогнозной модели; *4* – практическая реализация;

В – верификация моделей зет-системы по путям *1-4* (в кружках): *1* – проверка правомерности собственно литолого-фациального анализа использованием на принципиально иных объектах; *2* – сравнительно-генетические исследования одно(близко)возрастных объектов, либо геологических тел, находящихся в сходных условиях; *3* – верификация методологических приемов фациальных реконструкций при получении новых данных; *4* – то же, при наложении отработанных методических приемов на новый объект (схож с путем *1* и соответствует переходу на новый виток спирали познания)

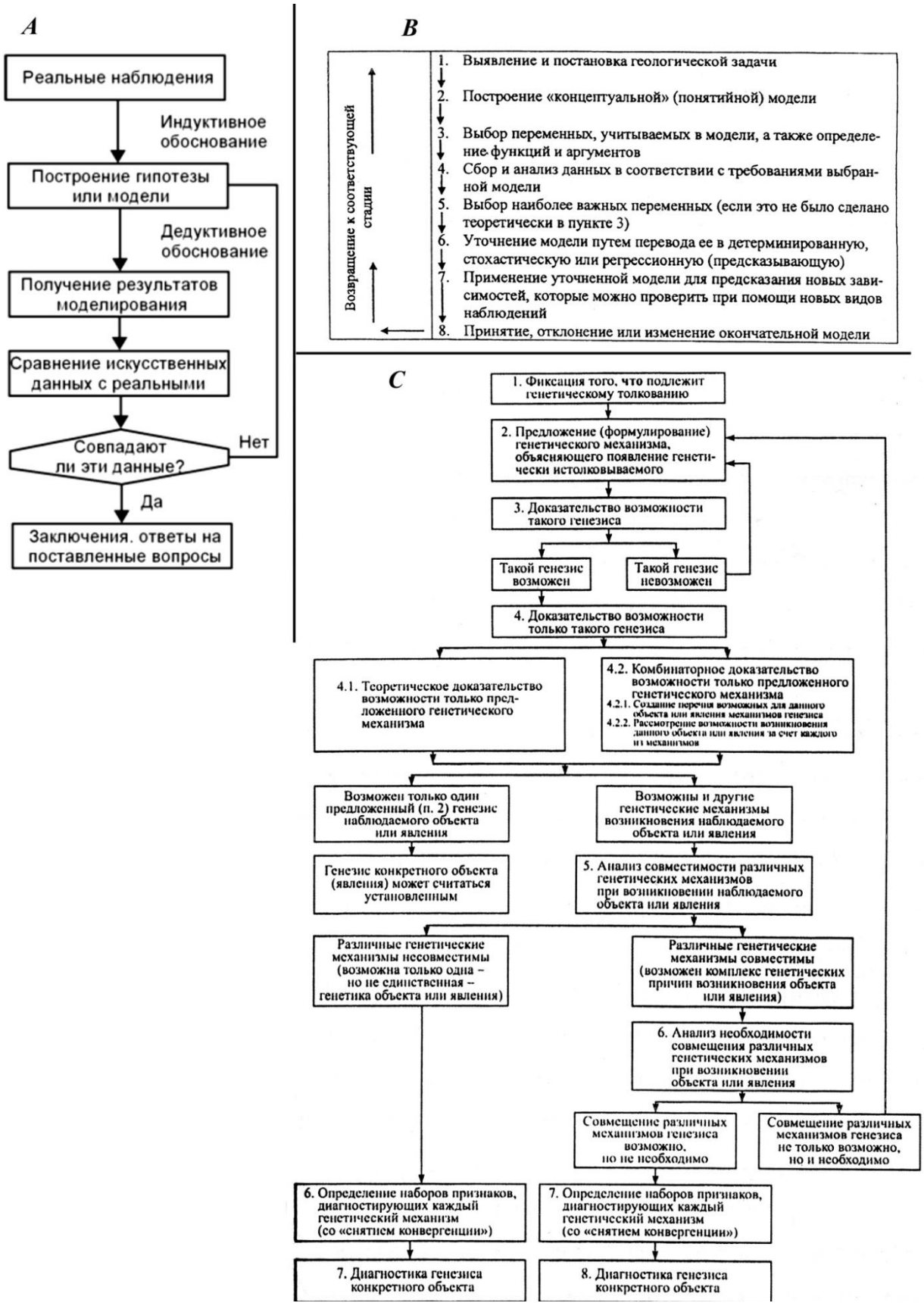


Рис. II.6.2. Принципиальная тождественность процессов моделирования:

A – блок-схема (Дж. Харбух, Г. Бонэм-Картер, 1974, с. 18); *B* – этапы геологического исследования (У. Крамбейн и др., 1973, с. 10); *C* – стратегия установления генезиса наблюдаемого объекта или явления (М. П. Покровский, 2014, с. 126)

II.6.2. «Внутренняя» верификация

Проверкой по пути 3 (см. рис. II.6.1) является статистическая обработка исходных данных, описанная в теме I.12. В табл. II.6.1 приведена матрица факторных нагрузок, рассчитанная для массива исходных данных из 95 слоев по скв. 10320, пробуренной на Тальниковом месторождении Шаимского нефтегазоносного района (НГР) Западной Сибири, а на рис. II.6.3 – распределение объектов (слоев) в поле факторов $F_1 - F_2$.

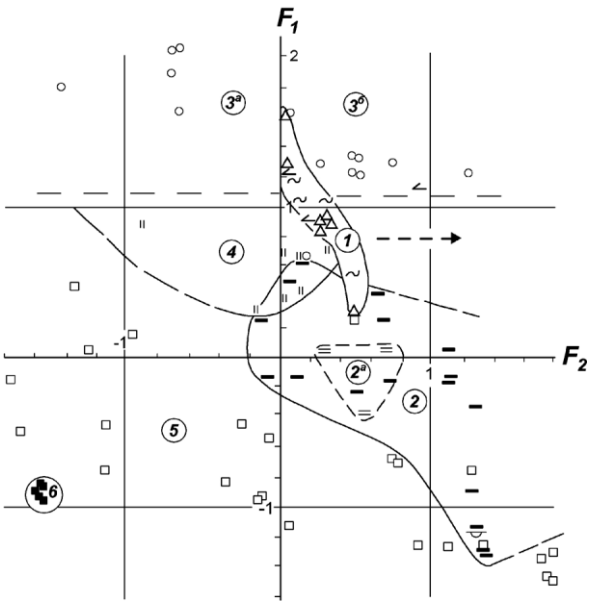


Таблица II.6.1

Матрица факторных нагрузок

Признаки		Индекс	Факторы	
Метризация (по изменению параметра)			F_1	F_2
Грансостав (увеличение размерности)		S_1	,95*	,26
Сортированность (увеличение дисперсии)		S_2	,94*	,10
Текстура (усиление гидродинамики)		S_3	,96*	,11
Растительный материал	-уменьшение количества	S_4	,26	,91*
	-снижение размерности	S_5	,05	,95*
Вклад			55,22	36,37

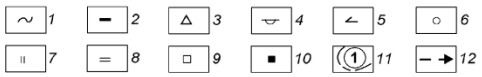


Рис. II.6.3. Распределение слоев в виде факторов $F_1 - F_2$ (скв. 10320, признаки $S_1 - S_5$): *1-10* – макрофации (см. табл. II.5.8): *1*– БМ; *2* – БП; *3* – БД; *4* – БЗ; *5* – КС; *6* – АР; *7* – АП; *8* – ОВ; *9* – ОЗ; *10* – Т; *11* – поля фаций и их номера; *12* – направление увеличения «мористости»

Полученное распределение удивительно похоже на общий палеоландшафт, где конкретные точки группируются в соответствующие поля. Так, достаточно узким полем *1*, имеющим, кстати, «баровый» облик, объединяются слои с подвижно-мелководным (БМ) и подводно-дельтовым (БД) генезисом. Поле *2* объединяет отложения полуизолированного малоподвижного мелководья (БП), а внутри него – своего рода «анклавом» локализуется поле открытых озерных водоемов (ОВ: $2^а$). Поле *3* со значениями $F_1>1$ характеризует отложения текучих вод (преимущественно АР), с их разделением по значениям $0<F_2>0$ на поля $3^а$ и $3^б$. Поле пойменных осадков *4* находится в тесном переплетении с полем *2* на границе значений $F_1 \simeq 0{,}5$ и $F_2 \simeq 0{,}1$. Наконец, наиболее обширную территорию занимает поле *5* (застойные озера, с фиксированным положением углей – поле *6*). Весьма интересно сгущение точек в квадрате $F_1<-1$ и $F_2>1$. Здесь озерные отложения представлены исключительно застойными и заиливающимися разностями (фация ОЗЗ), практически не содержащими органики.

Стрелкой на рис. II.6.3 показано, как в пустом пространстве между полями $3^б$ (АР) и *2* (БП) могут располагаться отложения открытой части бассейна, характеризующиеся тонкозернистым песчаным составом, хорошей сортировкой и отсутствием слоистости (реставрация признаков по значению фактора $F_1=0{,}5 \div 1{,}0$) и небольшим количеством растительной органики (то же для фактора $F_2>0{,}5$). Поскольку для тюменской свиты данные отложения не характерны, это предположение оставлено гипотетичным.

II.6.3. «Внешняя» верификация

Значительно более ценной представляется проверка, или верификация, имеющая как бы «сторонний» характер, то есть максимально объективный анализ (она соответствует путям 1 и 4 на рис. II.6.1). Ее реализацию можно посмотреть на материале сопоставления геохимических данных, полученных лабораторными (независимыми) методами и «полевой» диагностикой слоев.

Химический (силикатный) анализ (см. п. I.8.2)

Таблица II.6.2

Матрица факторных нагрузок для расчетов по 155 анализам химического состава проб, отобранных из скв. 10628 Шаимского НГР

Геохимические модули (см. п. I.8.2)	F_1	F_2	F_3
АМ – алюмокремниевый: Al_2O_3/SiO_2	,15	-,81	,31
ТМ – титановый: TiO_2/ Al_2O_3	-,02	,02	-,97
НКМ – натрий÷калиевый: $(Na_2O+K_2O)/ Al_2O_3$	,09	,86*	,21
ЖМ – железный: $(FeO+Fe_2O_3+MnO)/ (TiO_2+ Al_2O_3)$	,86	,14	-,01
ФМ – фемический: $(FeO+Fe_2O_3+MgO+MnO)/ SiO_2$	,84*	-,18	,06
Вклад	29,64	29,26	21,65

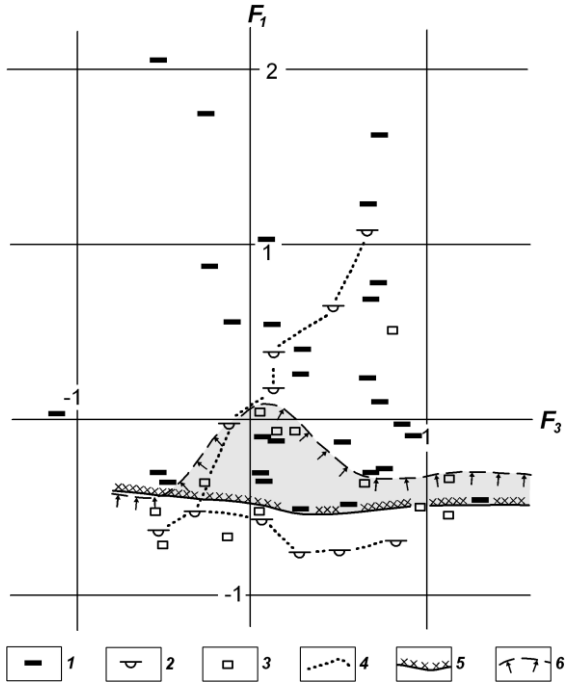
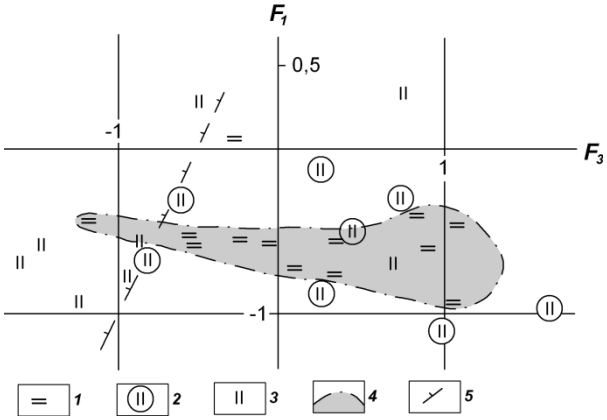


Рис. II.6.4. Распределение проб, отобранных из алевроаргиллитов разного генезиса, в поле факторов $F_1 – F_3$ (расшифровку буквенных аббревиатур фаций см. в табл. II.5.8):

1 – макрофация отложений полуизолированного малоподвижного бассейнового мелководья – БП (фации БПП и БПВ); *2* – макрофация отложений заливно-лагунного побережья – БЗ (фации БЗП и БЗГ); *3* – макрофация отложений застойных и заболачивающихся озер – ОЗ (фации ОЗО и ОЗЗ); *4* – линия, соединяющая пробы, отобранные из заливовых отложений; *5* – граница поля для макрофации БП (по минимальному значению фактора F_1); *6* – граница поля для макрофации ОЗ (по максимальному значению фактора F_1); зачернено перекрытие этих полей

Распределение точек, соответствующих опробованным слоям, показывает их отчетливую дифференциацию, вновь напоминающую некоторую палеогеографическую схему, например, по разделяющей «ортогональной» линии заливов.

Рис. II.6.5. Распределение проб, отобранных из крупнозернистых алевролитов озерно-пойменных отложений, в поле факторов $F_1 – F_3$ (расшифровку буквенных аббревиатур фаций см. в табл. II.5.8): *1* – макрофация отложений открытых озерных водоемов – ОВ (фации ОВП и частично ОВМ); *2* – макрофация пойменных отложений – АП (фация АПО – приозерной части поймы); *3* – та же макрофация АП (фации АПС + АПВ); *4* – поле озерных отложений; *5* – граница поля собственно пойменных отложений речных долин (в сторону берг-штрихов)



Поле озерного комплекса с узким диапазоном по фактору F_1 (в основном -0,4 ÷ -0,6) и широким – по фактору F_3 (от ±1,2) *окружено* точками, соответствующими фации приозерной поймы (АПО). Поле же собственно пойменных слабопроточных и застойных осадков (АПС+АПВ) занимает неширокую полосу, отличаясь преимущественно отрицательными значениями обоих факторов, достаточно высокими для F_3 (-0,5 ÷ -1,5).

Спектральный анализ (см. п. I.9.2)

Таблица II.6.3

Матрица факторных нагрузок для тех же 155 проб, по которым выполнен химический анализ (см. табл. II.6.2)

Элементы	Скв. 10628	
	F_1	F_2
Ga	,06	,47
Cu	,82*	,19
Sr	,71*	-,02
Mn	,39	,69
Cr	,43	-,65
V	,87*	-,29
Ba	-,28	,56
Вклад	33,43	22,38

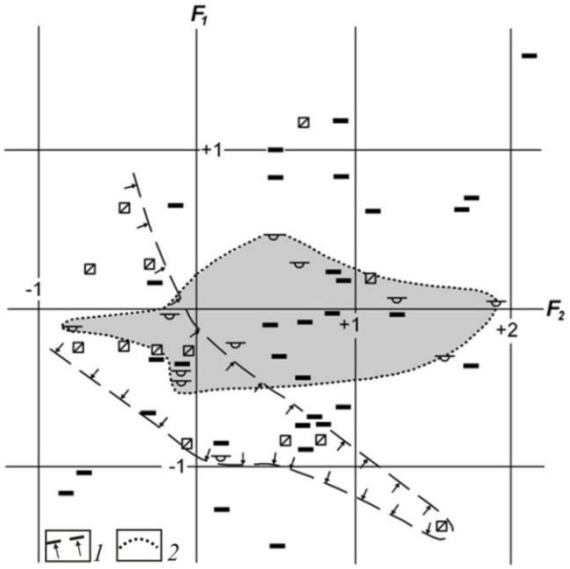


Рис. II.6.6. Распределение проб, отобранных из алевроаргиллитов речного генезиса (обозначения см. на рис. II.6.3). Обведены поля макрофаций: *1* – застойных и заболачивающихся озер (ОЗ); *2* – заливно-лагунного побережья (БЗ). Их пересечение в правой верхней части квадрата с F_1 = 0÷-1 и F_2 =0÷-1 подчеркивает ландшафтную близость выделяемых объектов

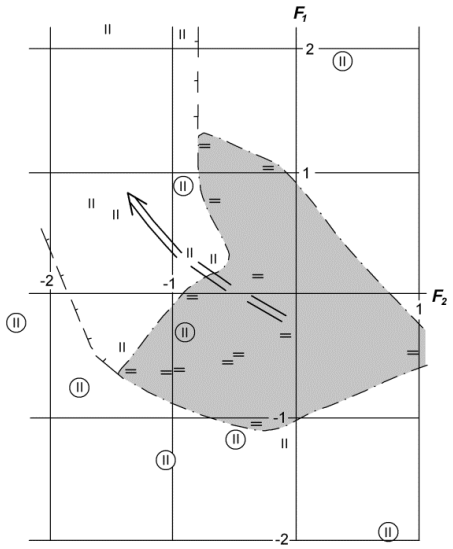


Рис. II.6.7. Распределение проб, отобранных из крупнозернистых алевролитов озерно-пойменного генезиса (обозначения см. на рис. II.6.4). Стрелкой показано усиление потоковой гидродинамики среды. Общая картина принципиально схожа с приведенной на рис. II.6.4, вплоть до «окаймления» положением проб из фации АПО поля проб из отложений открытых озерных водоемов (показано крапом)

Примером «сторонней», т. е. совершенно объективной, внешней по отношению к выполненным определениям проверки служат работы В. Н. Михайлова (В. Н. Михайлов, Ю. А. Волков, 2013 и др.). В них проведена литолого-генетическая типизация терригенных отложений с помощью кластерного анализа формализованных описаний керна. (По сути это близко к тому кодированию признаков и последующей кластеризации, что было описано в п. I.12.). Была сформирована база знаний по двум источникам: Атласу среднего карбона Донбасса Л. Н. Ботвинкиной и др. (Атлас ..., 1956) – по 43 литогенетическим типам и 230 относящимся к ним макроописаниям эталонных образцов; и Атласу юрских отложений (В. П. Алексеев, 2007) – по 45 литогенетическим типам и 296 относящимся к ним макроописаниям эталонных образцов.

На основе сформированных баз данных проведена предварительная настройка и тестирование экспертной системы для автоматической диагностики фациальной принадлежности образцов. Средняя эффективность распознавания, по Ботвинкиной, составила 93,4 %, а по Алексееву – 62 %. Анализ показал, что качество распознавания ограничивается в основном следующими объективными и субъективными факторами:

- неполнота макроописания образца;
- полиморфизм и изоморфизм фаций;
- возможное несовершенство исходных систем классификации.

В заключение укажем на перспективное направление, заключающееся в использовании нейронных сетей для решения задач фациального анализа на основе изучения керна скважин и их геофизических исследований (В. А. Серков и др., 2008; В. П. Алексеев, 2013, с. 96-98). На рис. II.6.8 приведен принципиальный пример решения поставленной задачи.

Рис. II.6.8. Решение задачи выделения фаций (фрагмент): варианты решения – в виде трехбуквенных аббревиатур, обозначающих фации (см. табл.II.5.8)

Контроль показал, что наиболее эффективно задача установления фаций решается с помощью сети Хэмминга. При использовании только геологических данных (размер входного вектора составляет 33) и предельном соотношении ($m < 0{,}2n$, где m – нейроны, а n – параметры), сеть уверенно распознает только 6 классов объектов. Увеличение размерности входного вектора за счет привлечения данных ГИС увеличивает информационную емкость почти в два раза.

II.7. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

II.7.1. Колонки скважин (1D)

D – от англ. dimension– измерение. 1D – линия; 2D – плоскость; 3D – объем; 4D – измерения во времени.

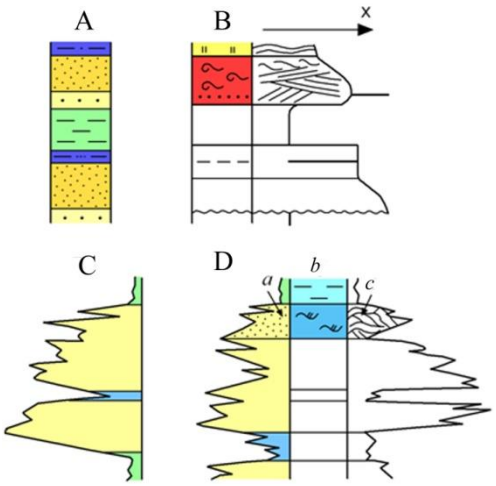


Рис. II.7.1. Варианты построения колонок скважин *A* – в параллельных линиях; *B* – в виде гранулометрической кривой (x – увеличение размерности частиц); *C* – по одной из кривых ГИС (чаще всего электрометрического метода потенциал-сопротивления ПС); *D* – по двум взаимополярным характеристикам ГИС, с различными вариантами цветового и графического заполнения полей *a*, *b* и *c*

Пример рельефной колонки и ее фациальной интерпретации.

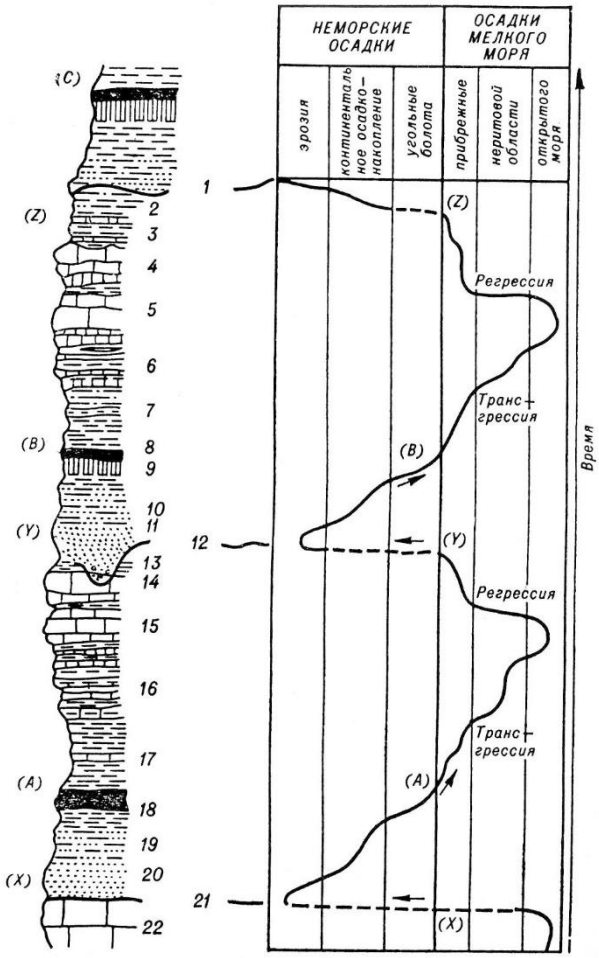


Рис. II.7.2. Разрез пенсильванских отложений Канзаса, Мидконтинент: по Р. К. Муру (Moore R. C., 1959):

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

Создание основы для построения рельефной колонки.

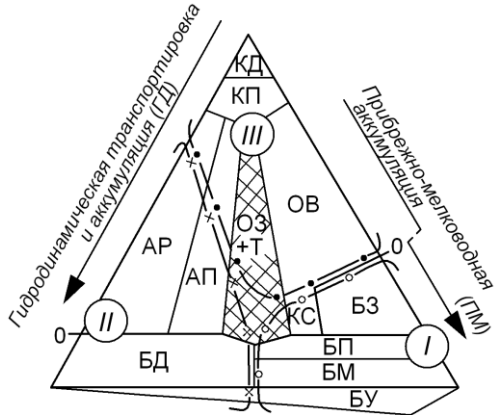


Рис. II.7.3. Фациальная палетка (принципиальное изображение палеоландшафта), с нанесенными полями основных режимов осадконакопления:

I – прибрежно-мелководный, *II* – потоковый (гидродинамический), *III* – аллювиально (пролювиально)-озерный.

Обозначения макрофаций см. в табл. II.5.8

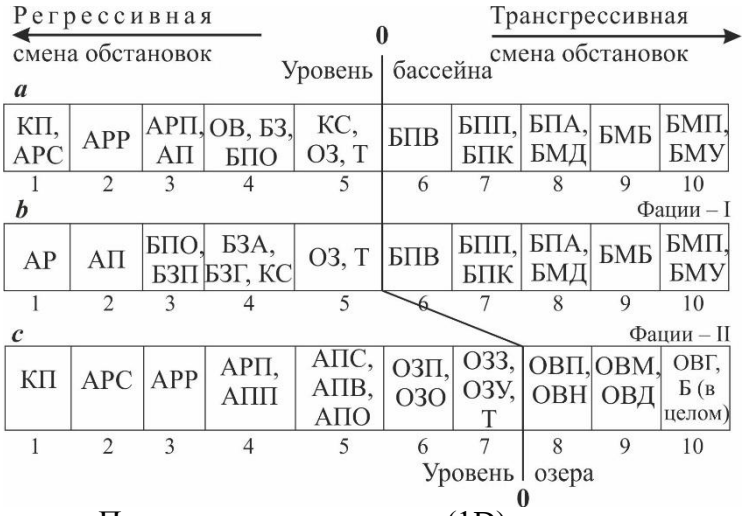


Рис. II.7.4. Распределение обстановок осадконакопления, в профиле (по вектору) «область сноса – приемный бассейн»:

заголовки для вычерчивания фациальных кривых: *а* – общей; *б* – для прибрежно-мелководного палеоландшафта (см. рис. II.7.3) – Фации–I; *в* – для озерно-аллювиального палеоландшафта (см. рис. II.7.3) – Фации–II. Расшифровку аббревиатур см. в табл. II.5.8

Пример вертикального (1D) расчленения колонок скважин по аналитическим данным и их дальнейшей корреляции (2D).

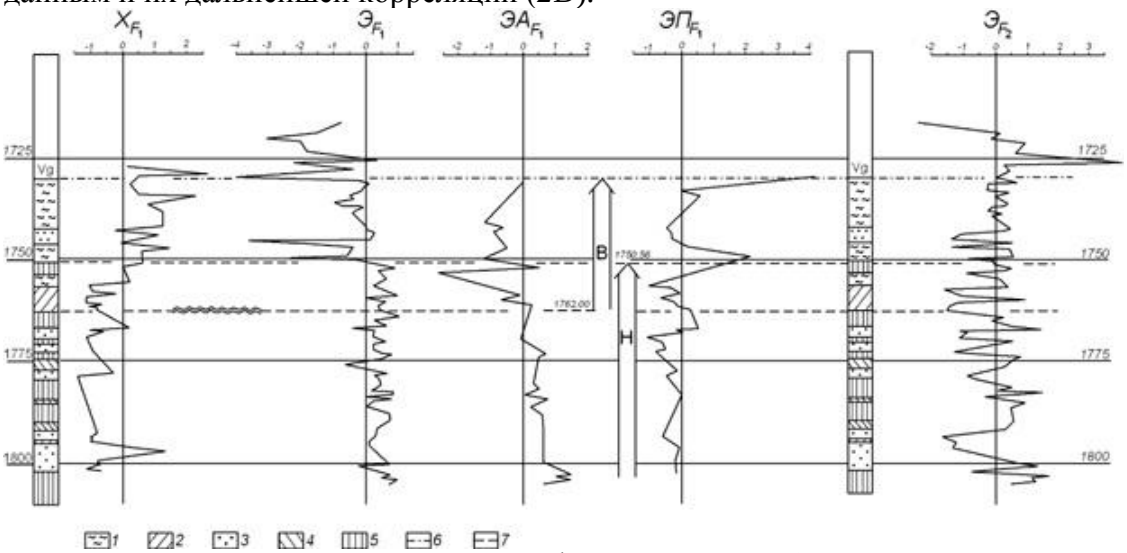


Рис. II.7.5. Изменение значений факторов по пробам для разных анализов и выборок (скв.10320 Шаимского НГР): отложения: *1* – бассейнового мелководья, *2* – подводно-дельтовые, *3* – аллювиальные, *4* – открытых озерных водоемов, *5* – озерно-болотные; границы: *6* – тюменской свиты с вогулкинской толщей (vg), *7* – комплексов.

График XF_1 – изменения первого фактора, характеризующего основную дисперсию системы из 52 проб, по которым определен химический состав отложений посредством силикатного анализа.

График $ЭF_1$ – изменения первого фактора для системы из 84 проб, по которым определено содержание малых элементов.

График $ЭAF_1$– изменения первого фактора по малым элементам, но для 28 проб, характеризующихся глинисто-алевролитовым составом (аргиллиты, мелкозернистые алевролиты).

График $ЭПF_1$– то же, но для выборки из 31 пробы песчаников

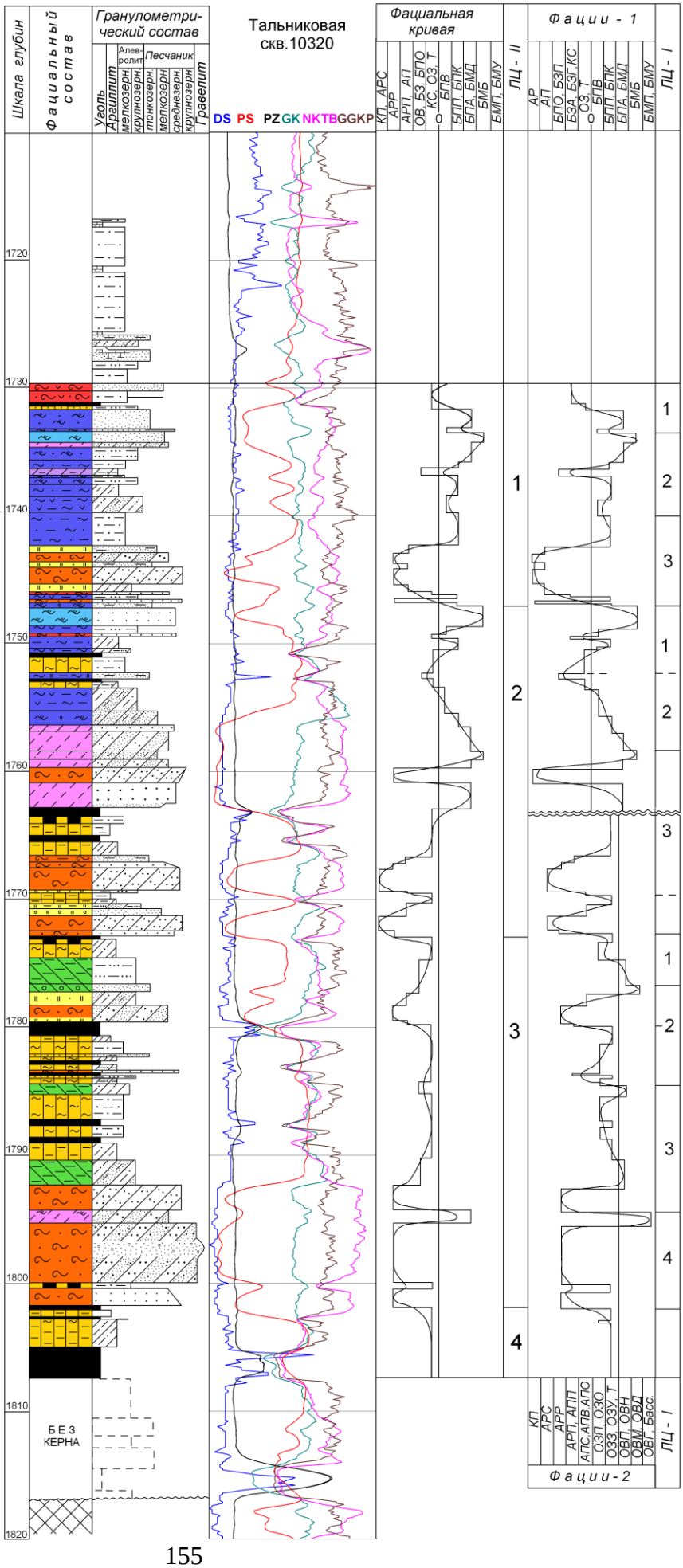


Рис. II.7.6. Геолого-геофизическая колонка по скв. 10320 Тальникового месторождения. Обозначения см. в табл. II.5.8. Двойная волнистая линия в колонке «Фации-1 – Фации-2» – смена палеоландшафта, подтверждаемая аналитическими методами (см. рис. II.7.5)

II.7.2. Разрезы и карты (2D)

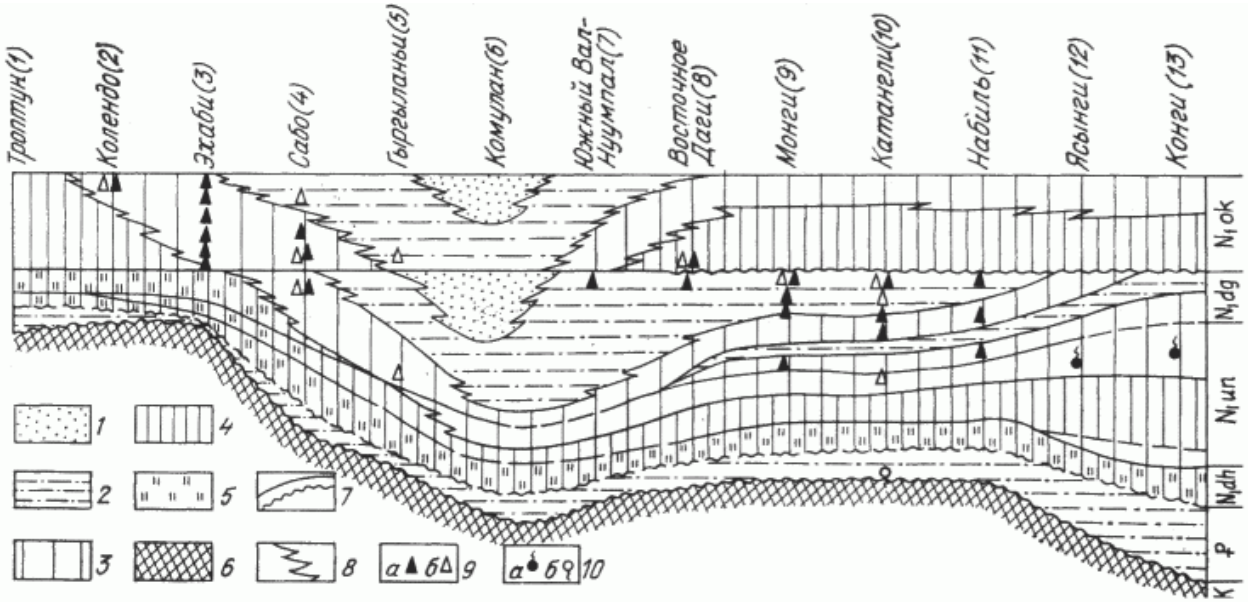


Рис. II.7.7. Литолого-фациальный профиль неогеновых отложений Северного Сахалина (О. О. Шеремета и др., 1981). Разрез удачно подчеркивает основные положения, выдвинутые А. Грессли (см. п. II.1.1)

Литолого-фациальные комплексы: *1* – песчаный; *2* – глинисто-песчаный; *3* – песчано-глинистый; *4* – глинистый; *5* – кремнистый; *6* – комплекс основания; *7* – стратиграфические границы; *8* – литологические границы; *9* – месторождения нефти (*а*), газа (*б*); *10* – проявления нефти (*а*), газа (*б*)

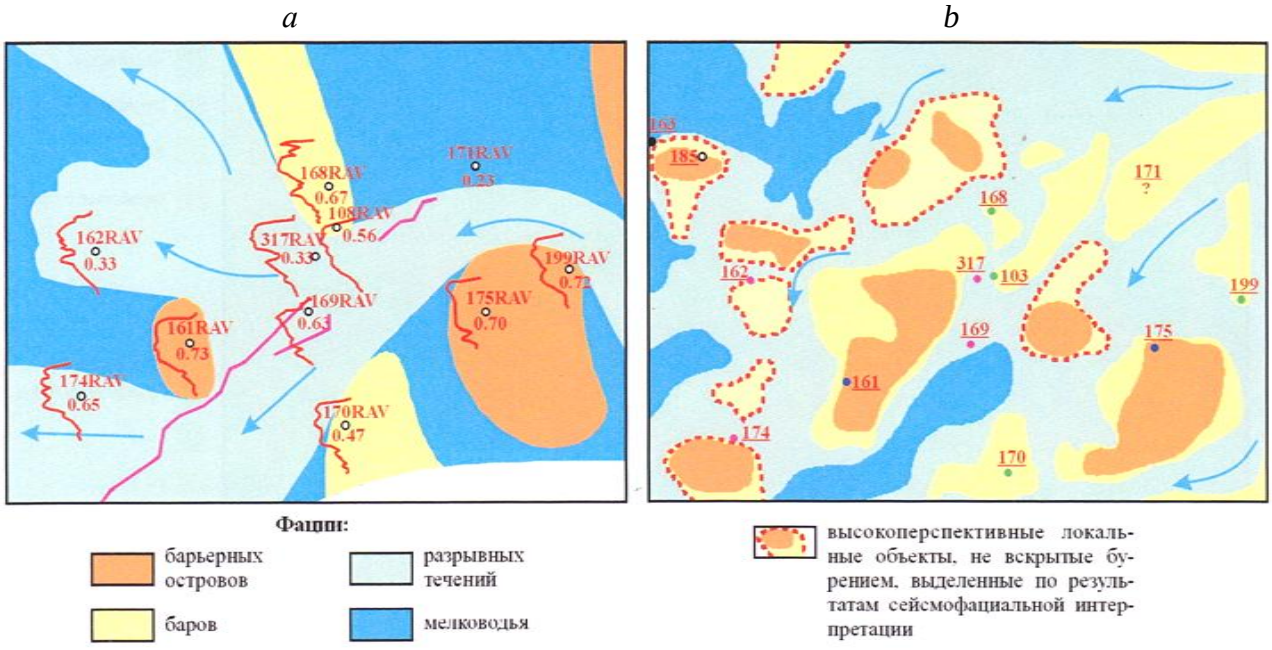


Рис. II.7.8. Сопоставление литолого-фациальных карт, построенных по данным бурения и ГИС (*а*), с привлечением данных сейсморазведки (*b*). Коллектор $Ю_1$ (Широтное Приобье, Западная Сибирь) (Н. М. Кропачев, К. Г. Скачек, 2008, с. 172)

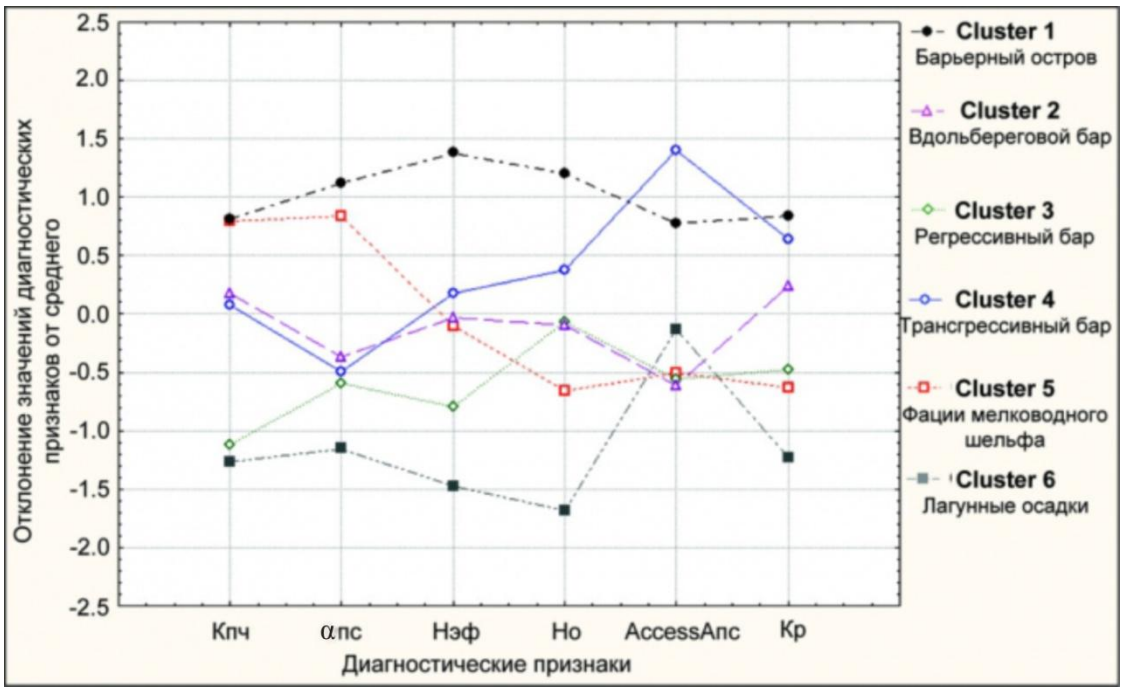


Рис. II.7.9. График средних значений диагностических признаков для выделенных кластеров (пласт $ЮВ_1^1$ Нижневартовский свод Западной Сибири) (С. В. Арефьев, Е. А. Щергина, 2009).

Признаки: 1) общая толщина пласта (H_0); 2) эффективная толщина ($H_{эфф}$); 3) коэффициент песчанистости ($К_{пч}$); 4) коэффициент расчлененности ($К_р$); 5) приведенная величина $\alpha_{пс}$ = произведению средневзвешенного значения $\alpha_{пс}$ на песчанистость $А_{пс}$; 6) положение максимума величины $\alpha_{пс}$ в разрезе (регрессивное – нейтральное – трансгрессивное) (Access Апс)

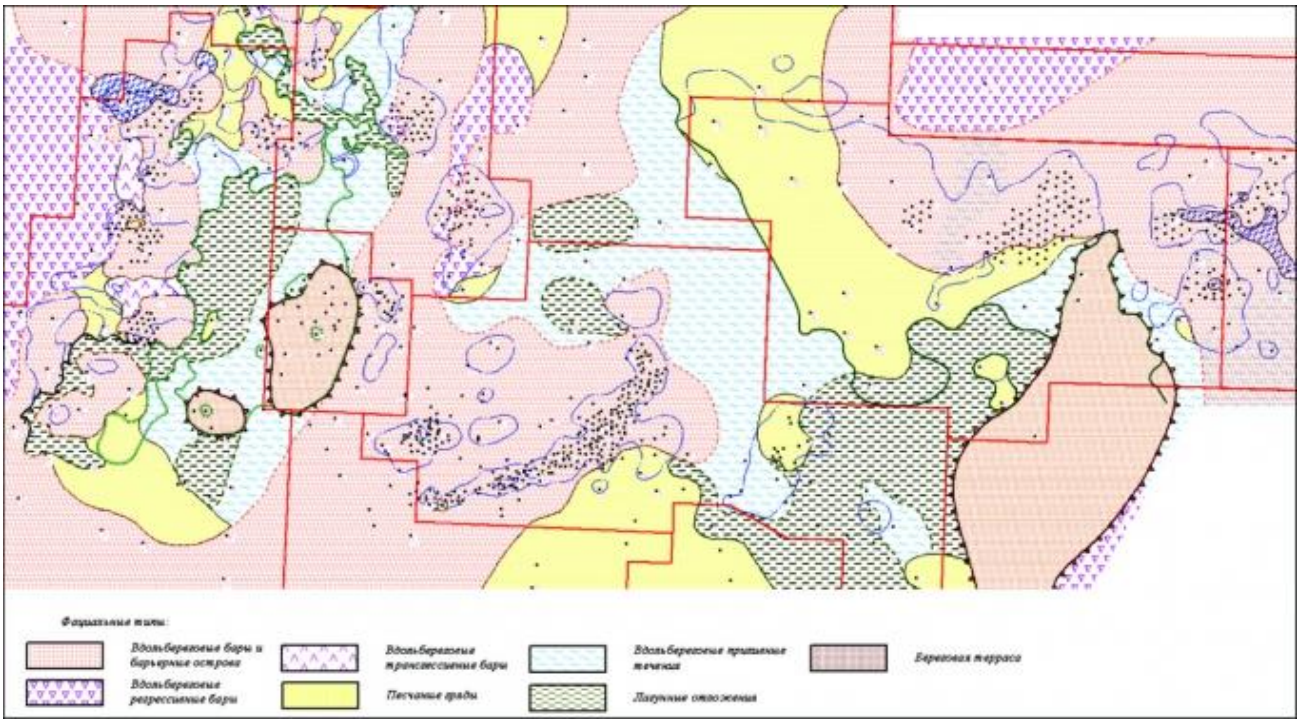


Рис. II.7.10. Схема фациального районирования отложений пласта $ЮВ_1^1$ для выделенных кластеров (см. рис. II.7.9)

II.7.3. Блок-диаграммы (3D)

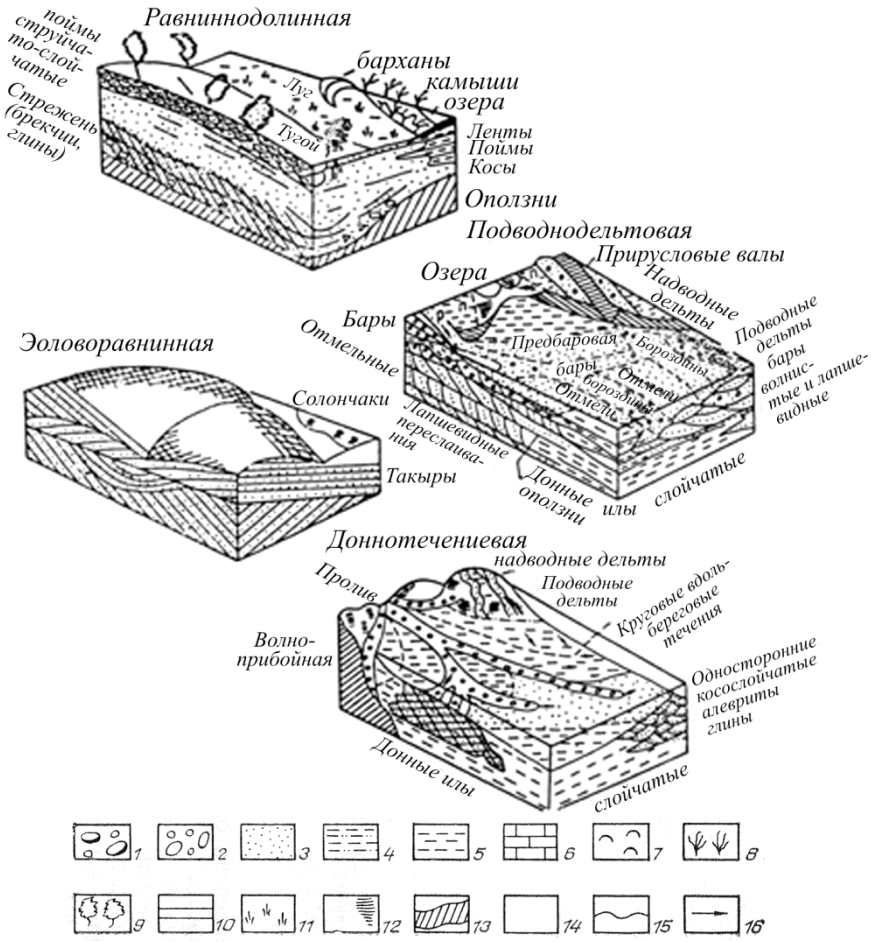


Рис. II.7.11. Блок-диаграммы, иллюстрирующие некоторые динамические фациальные пояса и строение возникающих в них фациальных свит (В. И. Попов и др., 1989, с. 9):

1 – валунники, щебни; *2* – галечники, гравий; *3* – пески, алевриты; *4* – алевропелиты; *5* – глины; *6* – известняки; *7* – ракушняки; *8* – травянистые растения; *9* – древесные; *10* – торфяники; *11* – солончаки; *12* – луга; *13* – болота; *14* – коренные породы; *15* – вода; *16* – водотоки

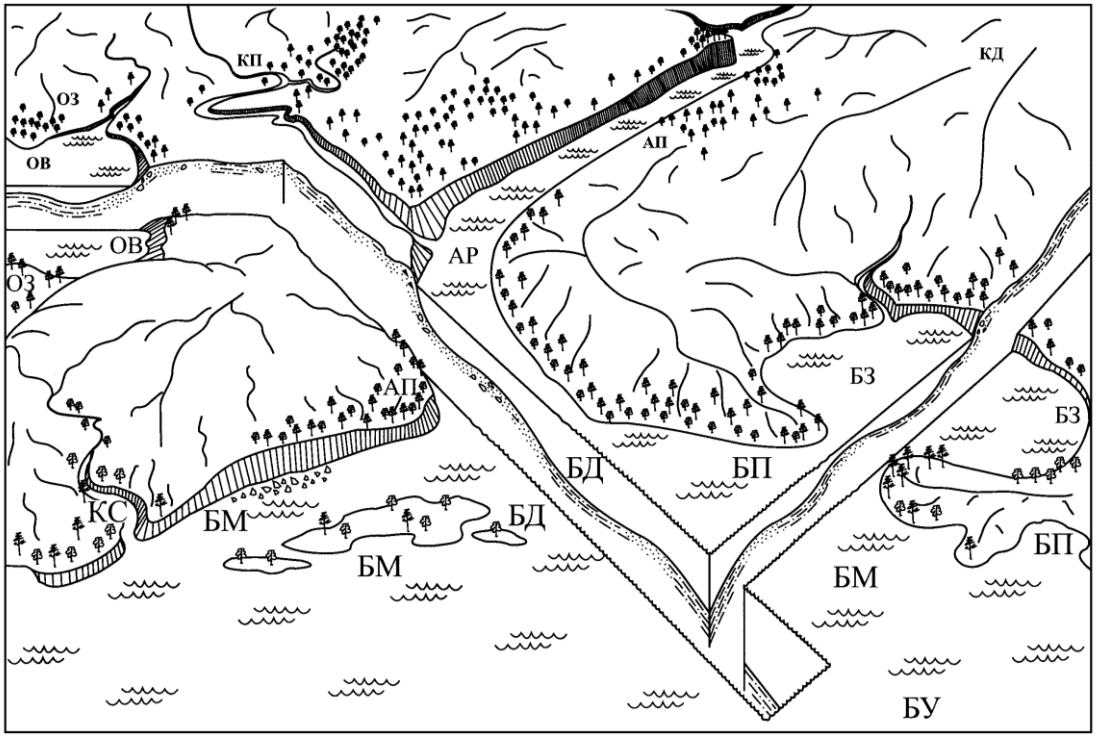


Рис. II.7.12. Блок-диаграмма, иллюстрирующая используемую схему фациального расчленения отложений (см. табл. II.5.8)

ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ФАЦИИ

Рассмотрение обстановок осадконакопления (environments), являющихся определяющей ландшафтной характеристикой фаций, производится в достаточно устоявшемся порядке, который был приведен в табл. II.5.1 – II.5.3.

КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ ОБСТАНОВКИ

II.8. ЛЕДНИКОВЫЕ (ГЛЯЦИАЛЬНЫЕ) И ДЕЛЮВИАЛЬНО-ПРОЛЮВИАЛЬНЫЕ ОБСТАНОВКИ

II.8.1. Гляциальные и перигляциальные обстановки

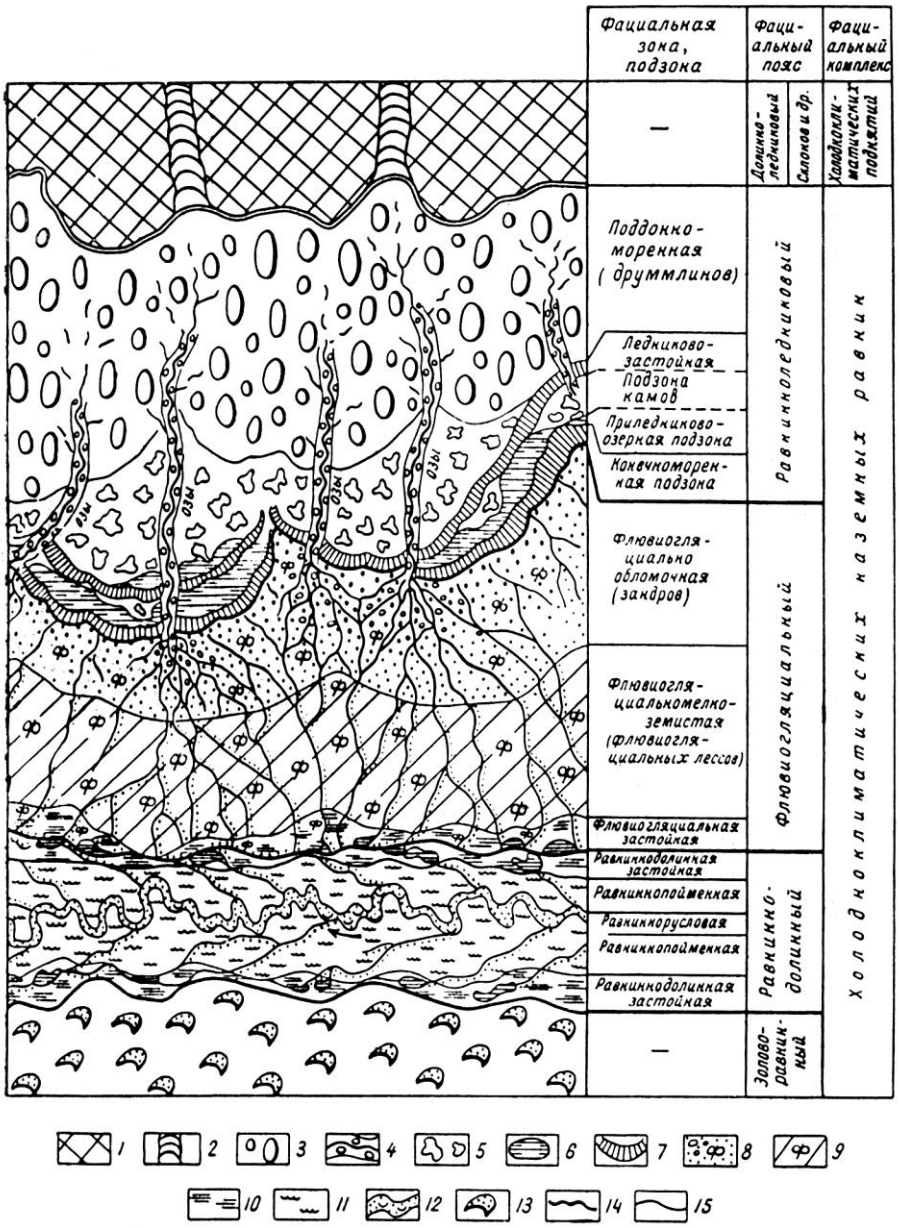


Рис. II.8.1. Схема соотношения динамических поясов и зон в холодноклиматическом (ледовом) наземно-равнинном комплексе (В. И. Попов и др., 1963, с. 305):

1 – коренные формации ложа (в поднятиях); *2* – долинно-ледниковый пояс (там же); *3* – донные морены (друмлины); *4* – озы; *5* – камы; *6* – ледниково-озерные осадки; *7* – конечные морены; *8* – зандры; *9* – флювиогляциальные лёссы (и ланжероны); *10* – болотные и озерные осадки флювиогляциально-застойной и равнинно-застойной зон; *11* – равнинно-пойменные алевриты и алевропелиты; *12* – равнинно-русловые пески; *13* – равнинно-эоловые пески; *14* – границы фациальных поясов; *15* – границы фациальных зон

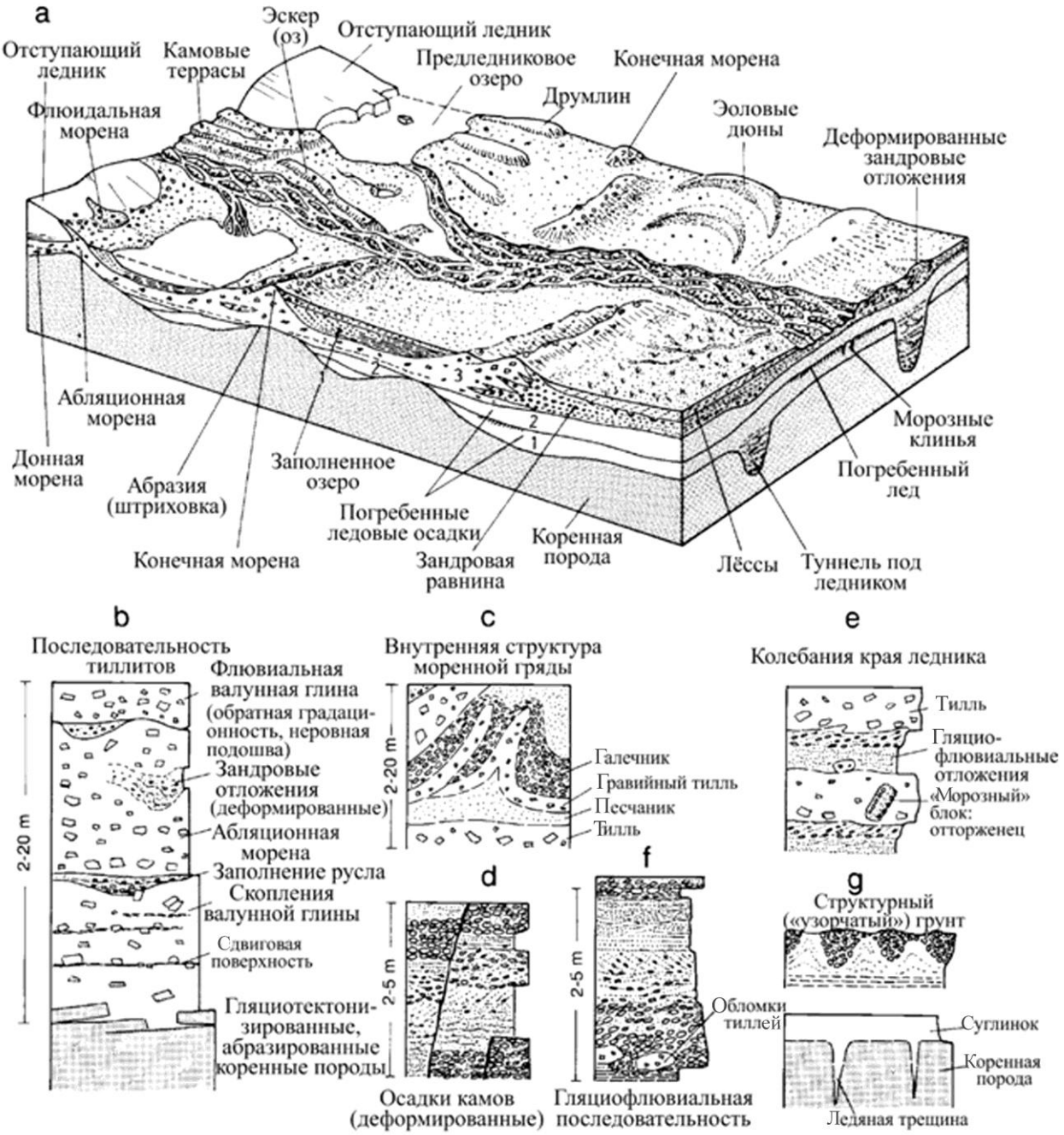


Рис. II.8.2. Седиментационная модель и типичный разрез ледниковых и перигляциальных отложений покровного оледенения (G. Einsele, 1992, p. 20):

a – формы рельефа и осадки континентальных ледниковых областей; *b* – типичная (полная) последовательность в континентальных ледовых областях; *c-g* – примеры последовательностей для разных областей

II.8.2. Коллювиально-делювиальные обстановки

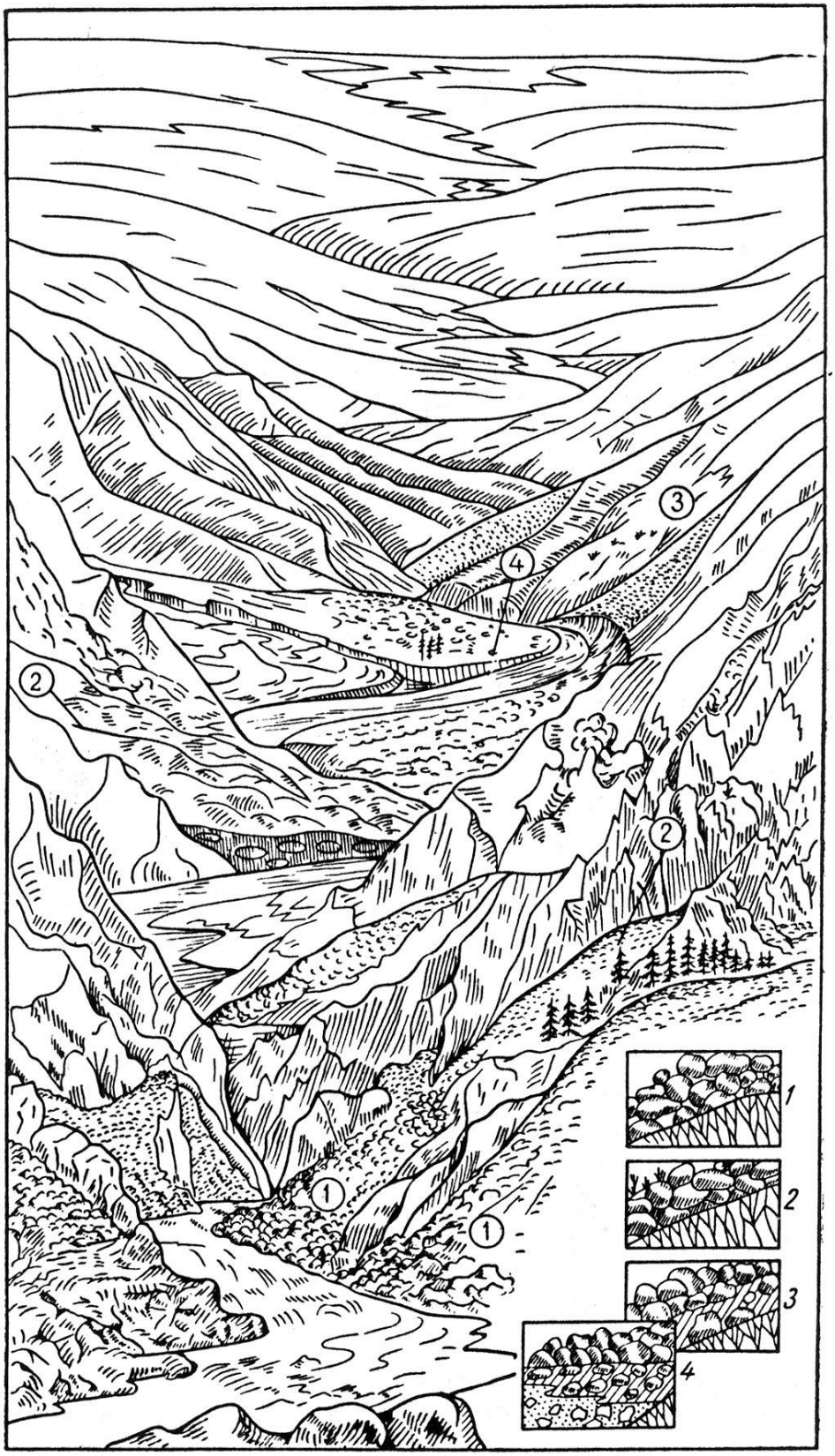


Рис. II.8.3. Общий вид и строение коллювия в районах, пограничных с предгорьем (Н. П. Костенко, 1975, с. 72)

Осыпи различного сложения: *1* – рыхлого, *2* – плотного, *3* – сложного, двухслойного; *4* – сопряжение флювиальных и коллювиальных отложений

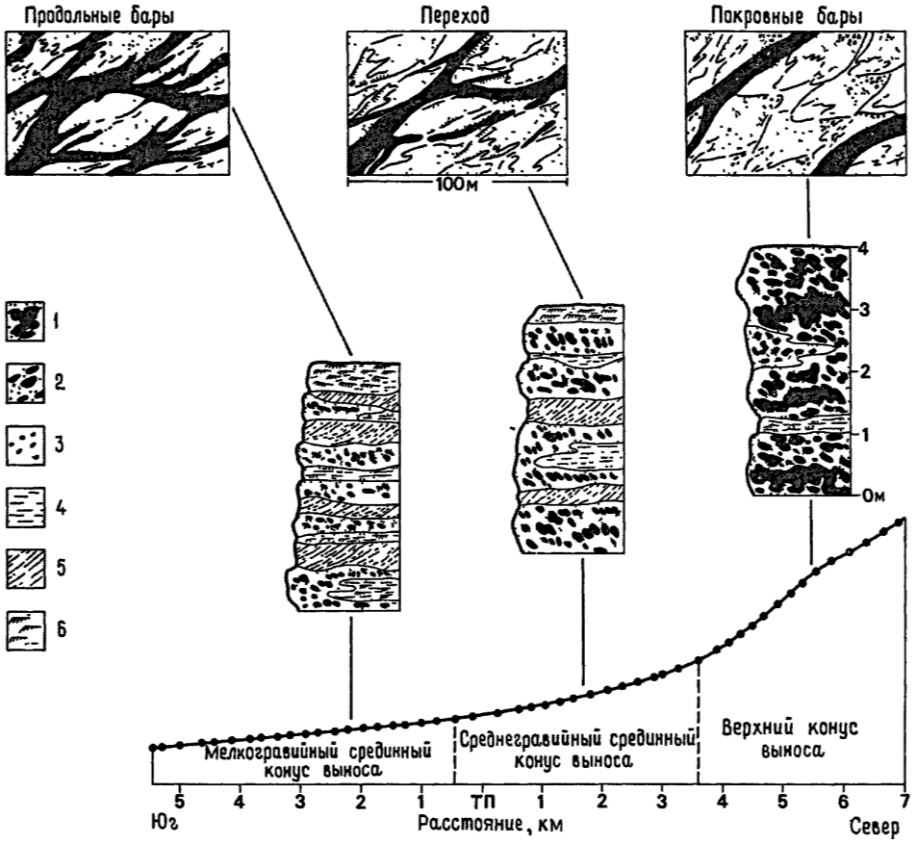


Рис. II.8.4. Изменения уклона, типы баров и их внутреннее строение, прослеженные через разветвленный зандровый конус выноса перед ледником Скотта на Аляске (Обстановки …, 1990. Т. 1. С. 46):

1 – крупный гравий, более 15 см; *2* – средний гравий, 5 – 15 см; *3* – мелкий гравий, менее 5 см; *4* – плоскопараллельно-слоистый песок; *5* – крупный косослоистый песок; *6* – песок со знаками ряби

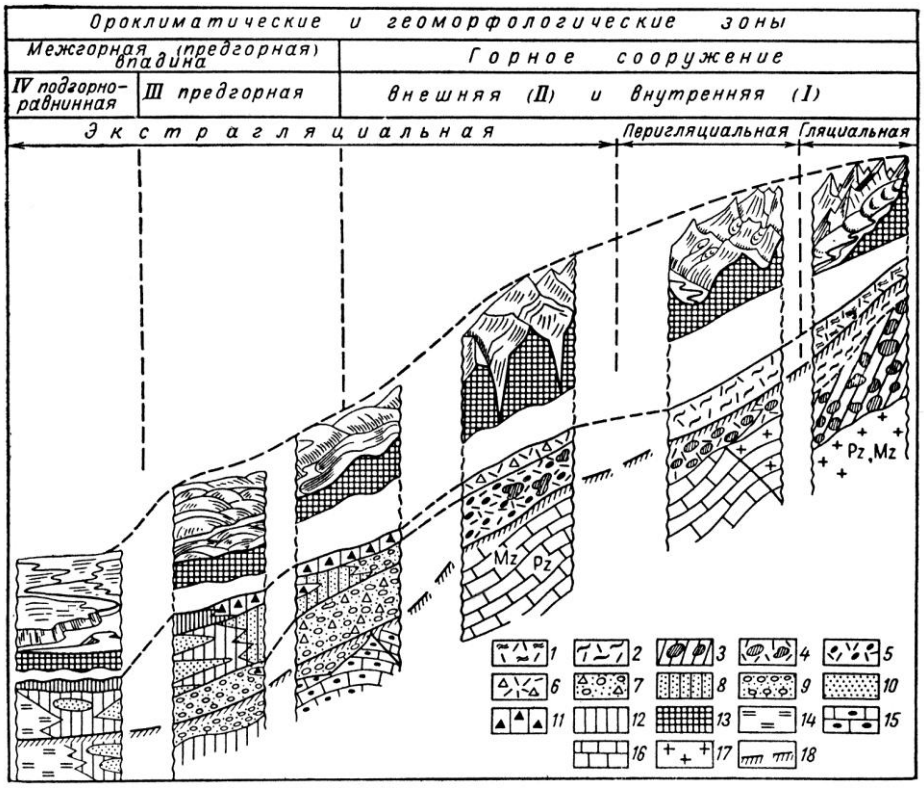


Рис. II.8.5. Распределение генетических подтипов горного аллювия в различных ороклиматических и геоморфологических зонах горной страны (Н. П. Костенко, 1975, с. 102)

Отложения: *1* – моренно-аллювиальные; *2* – солифлюкционно - аллювиальные; *3* – моренные; *4* – солифлюкционные; *5* – гравитационно - аллювиальные; *6* – полигенные покровные толщи террас горного сооружения; *7* – фанлювиально - аллювиальные; *8* – пролювиально - аллювиальные; *9* – галечники с песчано-гравийным заполнителем; *10* – пески; *11* – полигенная покровная толща террас суглинистая и супесчаная со щебнем, в предгорье – суглинки лессовидные в различной степени запесоченные: *12* – легкие; *13* – средние; *14* – тяжелые, местами переходящие в глины. Дочетвертичные породы: *15* – орогенные; *16* – платформенного чехла; *17* – фундамента; *18* – глубина современного эрозионного среза

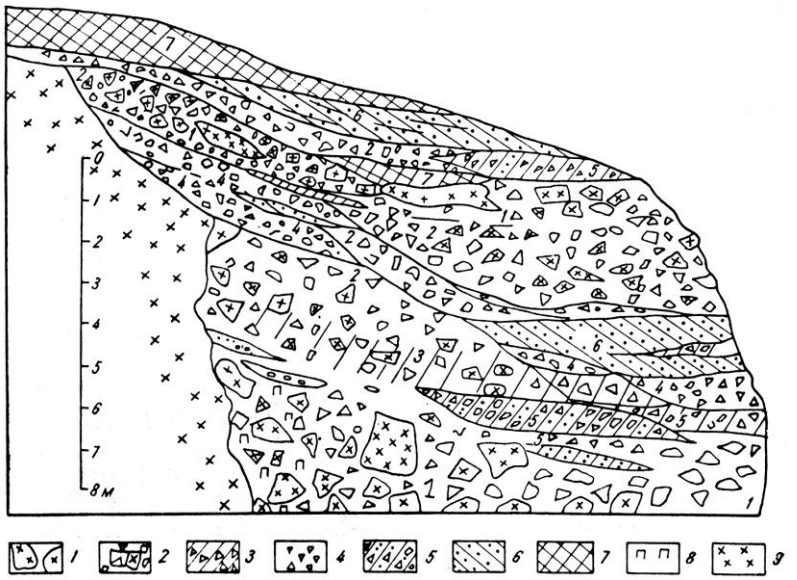


Рис. II.8.6. Разрез отложений склонового пояса (верхняя часть), жесткий коллювий, накрытый мягким (Обигарм, хр. Гиссарский) (В. И. Попов и др., 1963, с. 287):

1 – глыбовый коллювий (осыпи); *2* – то же, среднещебневый с редкими глыбами, пустопорозный; *3* – то же, заиленный, неяснослойчатый, пролювиальный, аблювиальный, слоистый мелкощебнистый хрящевой, пустопорозный; *4* – то же, заиленный; *5* – селевой делювий, щебне-грязевой, с мелкими валунами (до 0,1-0,2 м); *6* – светло-бурый делювиальный гравийно-песчаный мелкозем (паттум); *7* – то же, темно-бурый (гумусированный почвенный слой); *8* – поры, пустоты; *9* – серый мелкозернистый такситовый гранодиорит со шлирами

II.8.3. Пролювий

Таблица II.8.1

Общая схема фациального расчленения пролювия (В. И. Елисеев, 1978)

Фации	Субфации
Потоковая	Русел Селевая Устьевых выносов мелких боковых рукавов Вершинных разливов
Веерная	Транзитных русловых ложбин Селевая Иссякающих вееров Межрусловых разливов Мелких временных застойных водоемов
Застойноводная	Концевых частей транзитных русловых ложбин Распластывающихся потоков Болотно-солончаковая Озеровидных разливов

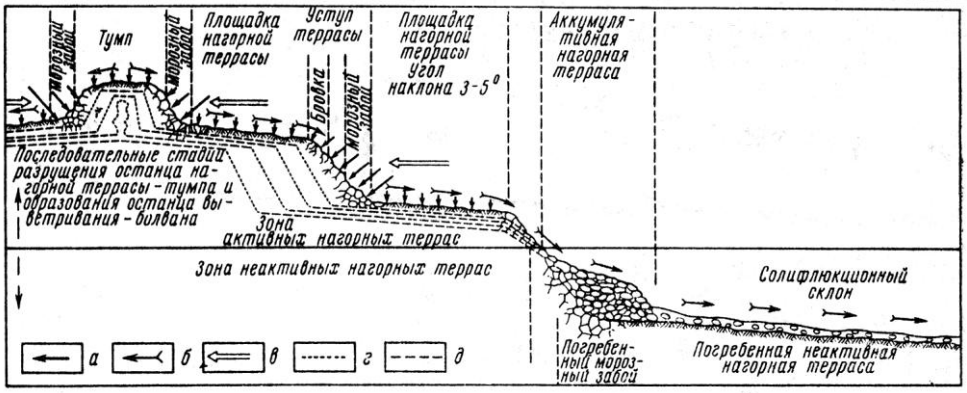


Рис. II.8.7. Схема образования нагорных террас по (С. Г. Боч и И. И. Краснов, 1943); из (Е. В. Шанцер, 1966, с. 153):

а – морозное выветривание (размер стрелки показывает различную степень интенсивности процесса); *б* – солифлюкционный перенос рыхлых продуктов выветривания; *в* – направление попятного отступания уступов нагорных террас; *г* – последовательные стадии отступания уступа нагорной террасы под воздействием морозного выветривания; *д* – последовательные стадии снижения площадки нагорной террасы под воздействием солифлюкционного сноса и морозного выветривания

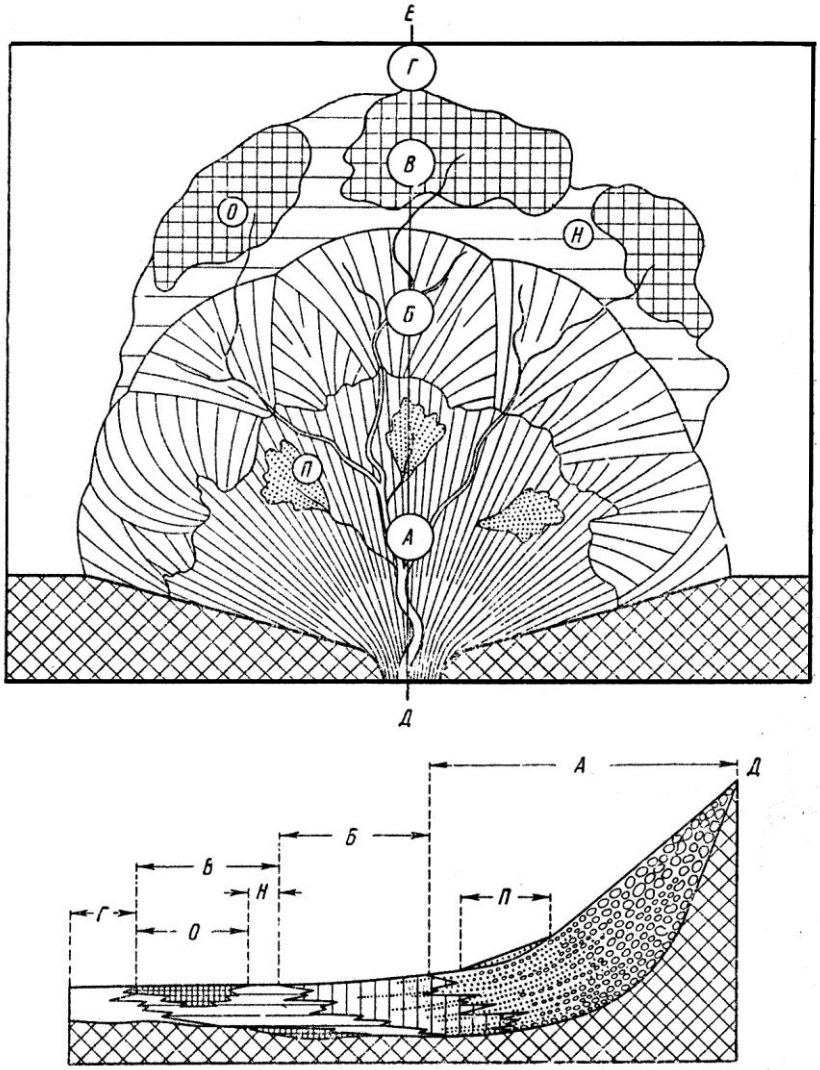


Рис. II.8.8. Схема строения крупного конуса выноса («наземной дельты») постоянной реки (план и радиальный разрез по ДЕ) (Е. В. Шанцер, 1966, с. 200):

А – вершинная зона, сложенная русловыми («потоковыми») отложениями; *П* – покровные пески и супеси частных вееров выноса в пределах вершинной зоны; *Б* – средняя зона накопления веерной фации на периферии морфологически выраженного конуса выноса; *В* – фронтальная зона разливов и накопления осадков «застойноводной фации» [*О* – осадки озерного типа; *Н* – наземные (болотно-солончаковые) осадки]; *Г* – непролювиальные отложения предгорной равнины. Косая клетка – породы ложа и горного склона

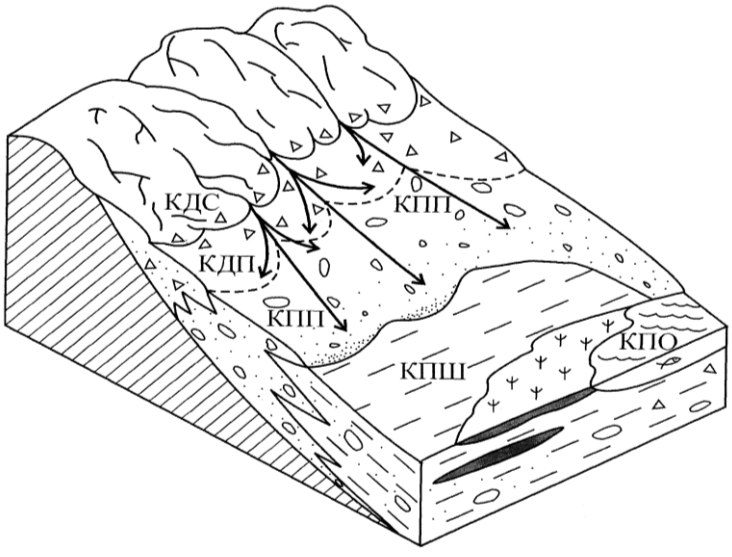


Рис. II.8.9. Блок-диаграмма делювиально-пролювиальных отложений.

Отложения: КДС – верховьев склонов; КДП – подножий склонов; КПП – потоков конусов выноса; КПШ – шлейфов конусов выноса; КПО – конусов выноса в озера (полные названия фаций см. в табл. II.5.8)

II.9. АЛЛЮВИЙ

II.9.1. Общие представления и механизм формирования

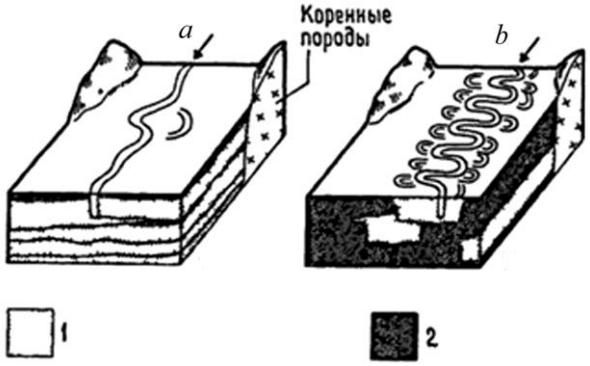


Рис. II.9.1. Гипотетические модели, иллюстрирующие соотношение главных фаций, которое может возникнуть в реках (Обстановки…, 1990. Т. 1, с. 78):

a – со слабой извилистостью и высокой латеральной мобильностью и *b* – с сильной извилистостью и ограниченной латеральной мобильностью. Сохранность пойменных отложений в обоих случаях зависит от соотношения между частотой миграции и скоростью прогибания: *1* – отложения русла или пояса меандрирования; *2* – преимущественно поверхностные отложения

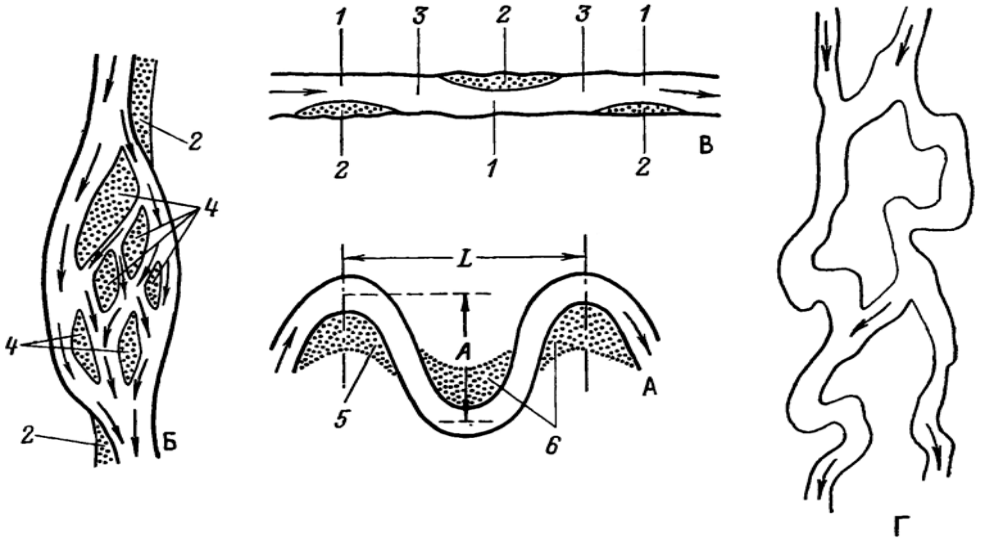


Рис. II.9.2. Типы рек (Седиментология, 1980, с. 406):

А – меандрирующая река (*L* – длина изгиба меандра, *A* – амплитуда изгиба меандра), Б – река с протоками, В – прямолинейная река, Г – анастомозирующая река, *1* – почва, *2* – прибрежная русловая отмель, *3* – стрежень, *4* – внутрирусловые отмели, *5–6* – меандровые отмели

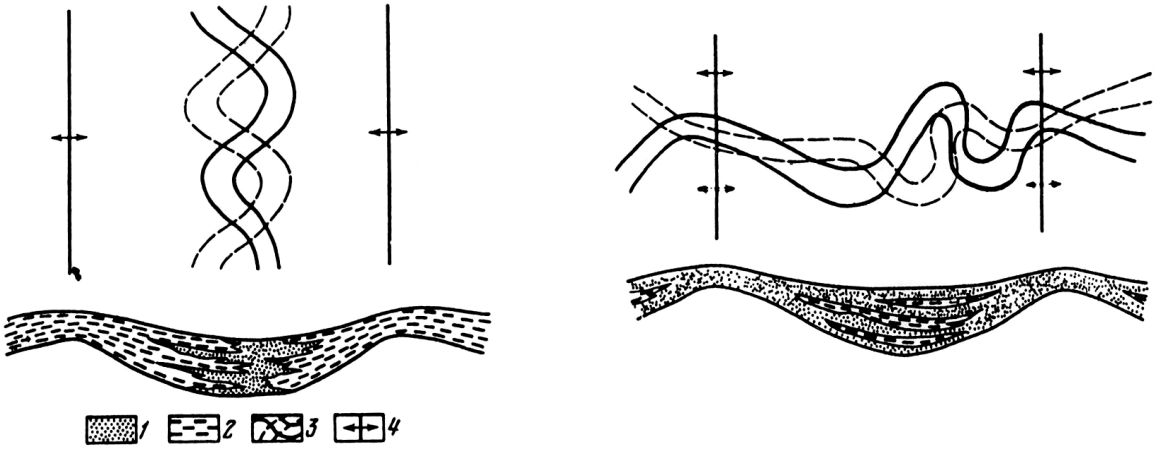


Рис. II.9.3. Размещение грубых и мелкозернистых отложений при разных соотношениях ориентировок структур в направлении течения речных потоков: *а* – вдоль осей; *б* – поперек осей структур (Г. А. Каледа, 1972): *1* – грубозернистые отложения; *2* – мелкозернистые отложения; *3* – стадии миграции русел; *4* – оси антиклиналей

Фазы аллювия (В. В. Ламакин, 1943-1950; Е. В. Шанцер, 1950-1966):

• инстративная (выстилающая), характерная для горных рек;

• перстративная (перестилающая), с многократным переотложением наносов (рис. II.9.4);

• констративная (настилающая), с активным заполнением речных долин

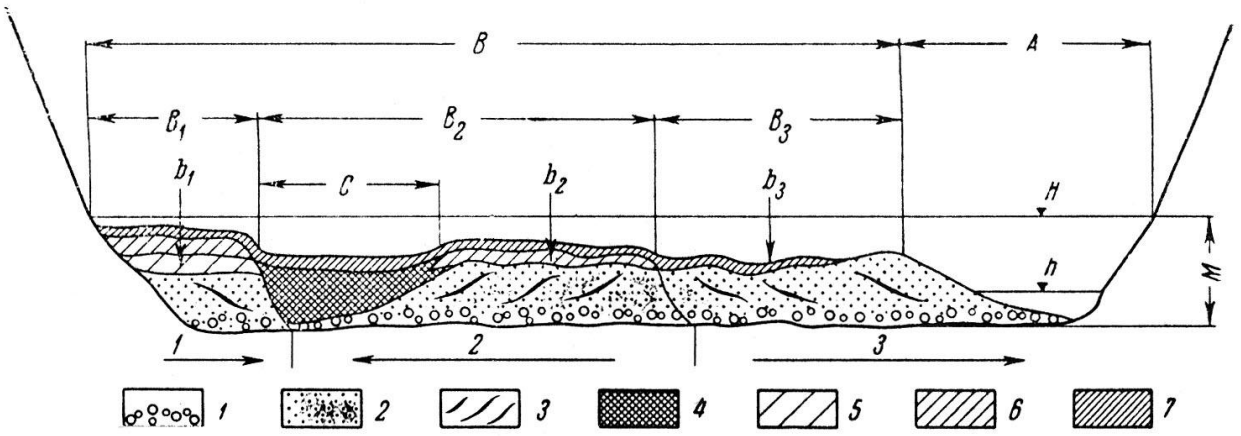


Рис. II.9.4. Схема возрастных соотношений слоев в перстративном аллювии (Е. В. Шанцер, 1966, с. 184):

A – русло; *B* – пойма: B_1, B_2, B_3 – разновозрастные сегменты поймы (стрелки с цифрами под рисунком показывают направление смещения русла в соответствующие их формированию отрезки времени); *C* – выполненная осадками старичная ложбина; *H* – уровень полых вод; *h* – уровень межени; *M* – нормальная мощность аллювия.

Русловой аллювий: *1* – грубые пески, гравий, галька; *2* – пески; *3* – прослои заиления; *4* – старичный аллювий; *5-7* – пойменный аллювий (разновозрастные горизонты, обозначенные на чертеже индексами b_1, b_2, b_3 и синхронные соответственно русловому аллювию в сегментах B_1, B_2, B_3)

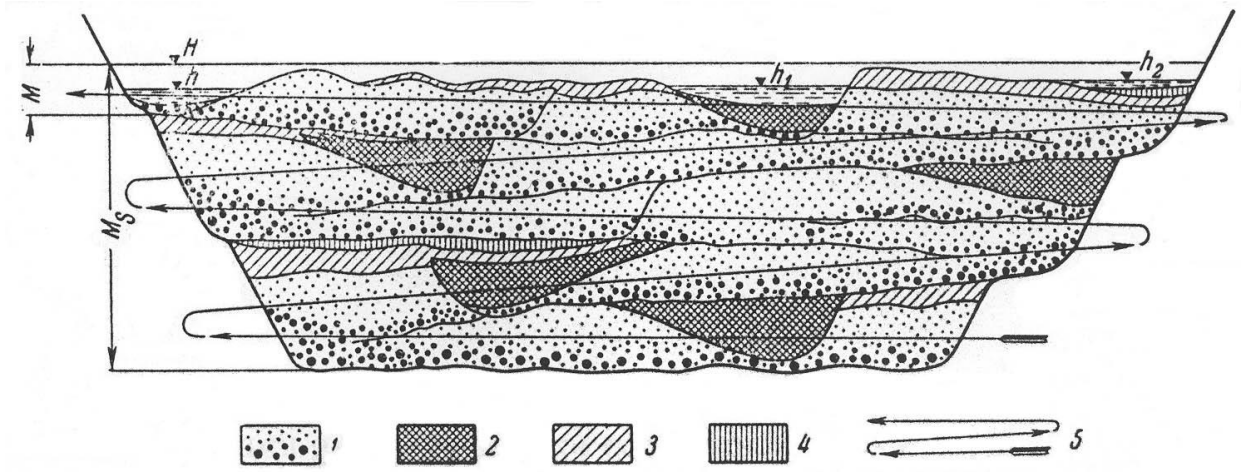


Рис. II.9.5. Схема строения толщи констративного аллювия (Е. В. Шанцер, 1966, с. 189):

H – уровень полых вод; *h* – уровень межени в действующем русле реки; h_1, h_2 –меженный уровень стариц и вторичных водоемов поймы; *M* – нормальная мощность аллювия при перстративной аккумуляции; M_S – суммарная мощность констративной аллювиальной толщи.

1 – русловый аллювий; *2* – старичный аллювий; *3* – пойменный аллювий; *4* – отложения вторичных водоемов поймы; *5* – общее направление перемещения русла в ходе накопления конститативно наслоенной аллювиальной толщи

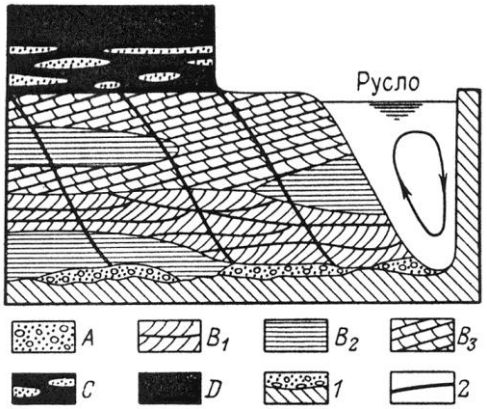


Рис. II.9.6. Иллюстрация модели седиментации на выпуклом берегу русла реки. По (Дж. Аллен, 1965; J. Allen, 1970); из: (Седиментология, 1980, с. 423)

Литофации: *A* – конгломератовая; B_1 – песчаниковая с диагональной слойчатостью большого масштаба; B_2 – песчаниковая с горизонтальной (параллельной) слойчатостью; B_3 – песчаниковая с диагональной слойчатостью малого масштаба; *C* – переслаивание песчаников и алевролитов; *D* – алевритовая.

Древние речные отложения отмечены точками. *1* – эрозионная поверхность, связанная с миграцией русла, *2* – поверхность выпуклого берега на последовательных этапах прироста отложенных на нем осадков

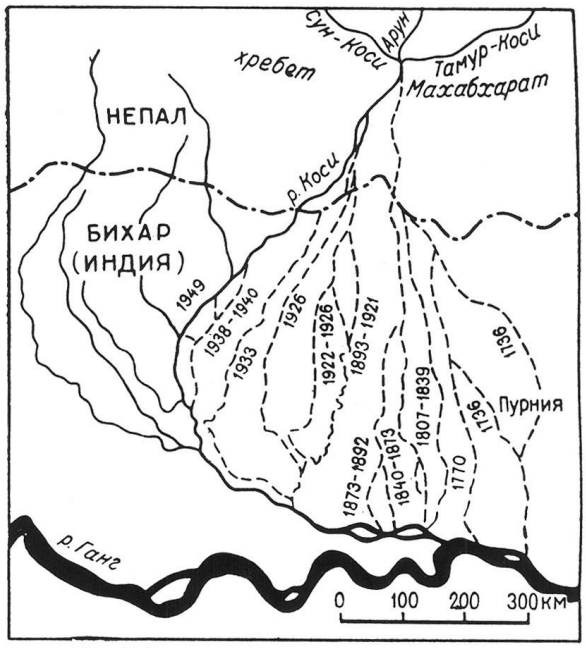
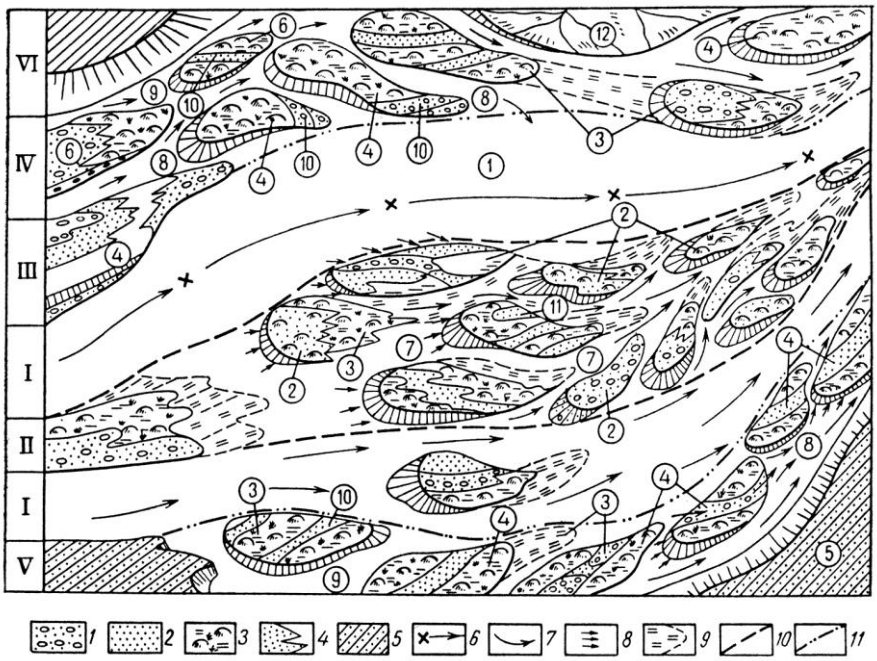


Рис. II.9.7. Схематическая карта горизонтального перемещения р. Коси по аллювиальной равнине. С изменениями по А. Холмсу (A. Holmes, 1965); из (Г.-Э. Рейнек, И. Б. Сингх, 1981, с. 219)

Рис. II.9.8. Схема формирования аллювия и аккумулятивного рельефа в условиях долины с плоским дном и фуркацией русла (Н. П. Костенко, 1975, с. 104):



1 – песчано-галечниковые отложения; *2* – песчаные отложения; *3* – наилок (паводковый); *4* – замещение пород различного состава; *5* – покровные отложения поймы; *6* – стрежневое течение; *7* – направление течения в протоках; *8* – то же, на островах и в ложбинах прямого и обратного стока; *9* – подводная часть острова; *10* – обобщенные очертания группы центральных островов; *11* – то же для прибрежных островов и зарождающейся поймы.

Цифры в кружках: 1 – главные протоки и стрежневое течение; 2 – пристрежневые и 3 – прибрежные отмели; 4 – острова; 5 – зарождающаяся и 6 – низкая поймы; 7 – центральные и 8 – внутренние протоки; 9 – пересыхающие присклоновые протоки; 10 – сквозные и 11 – полуоткрытые ложбины отмелей и островов; 12 – мелкие пересыхающие водотоки

II.9.2. Основные виды речных систем

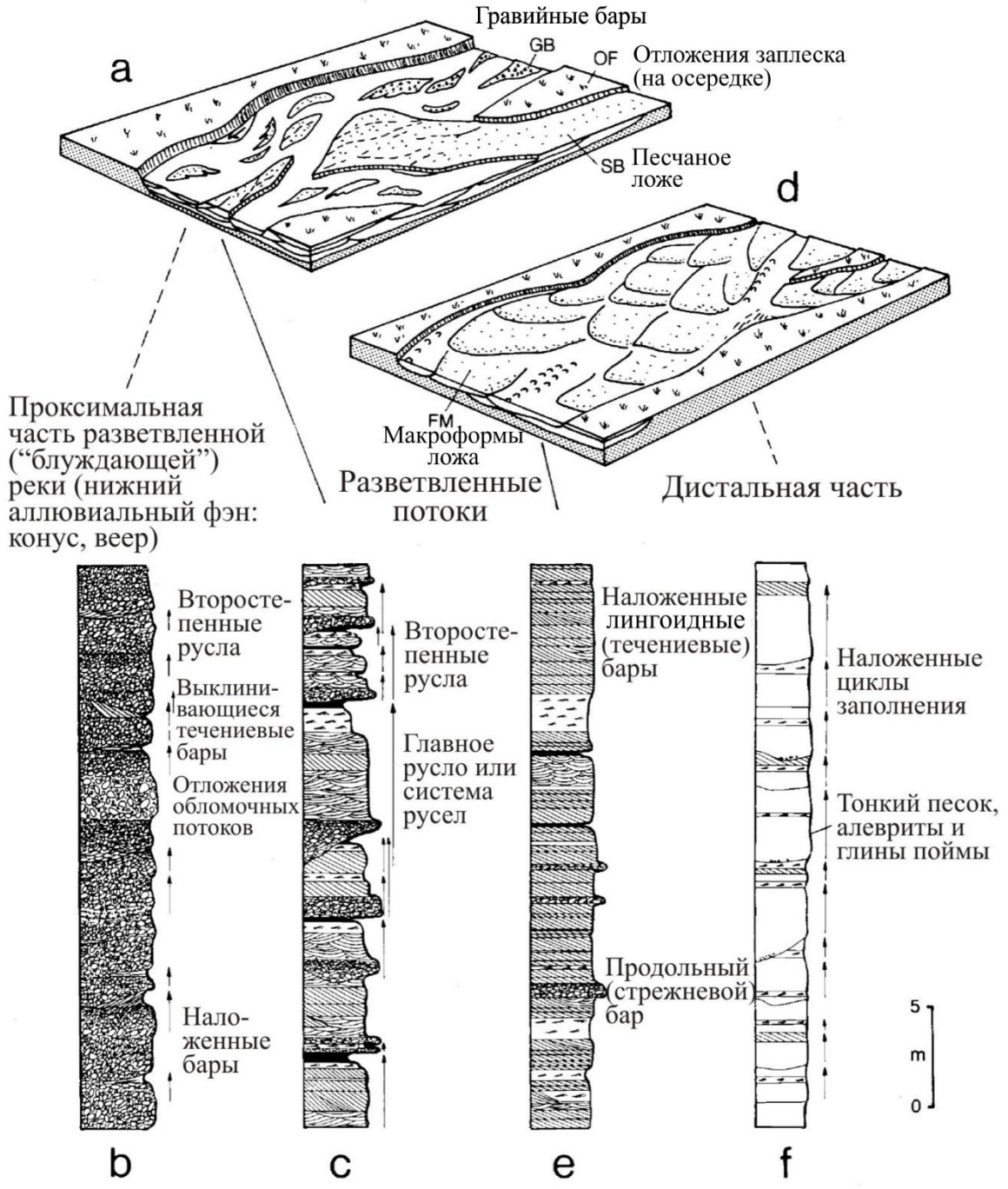


Рис. II.9.9. Речная система с блуждающим руслом (G. Einsele, 1992, p. 44): ***a*-*c*** – проксимальные спрямленные потоки с преобладанием гравийных (***b***) или песчаных (***c***) осадков; ***d*–*f*** – дистальная часть с преобладанием песчаных лингоидных баров (***d***, ***e***), и формированием периодически затапливаемой поймы (***f***)

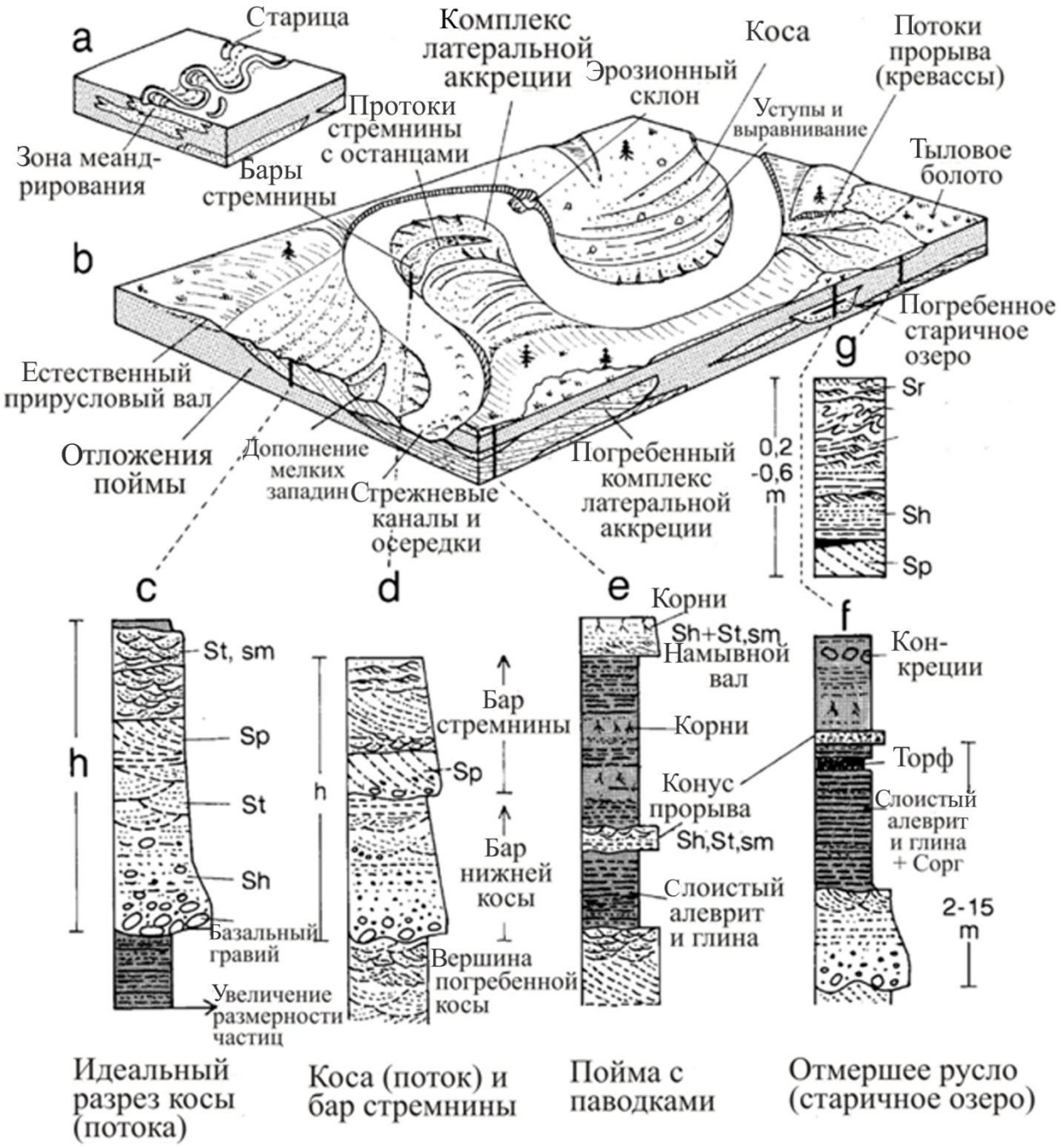


Рис. II.9.10. Меандрирующая речная система (G. Einsele, 1992, p. 47): *a* – общая схема (см. также рис. II.9.1, b); *b* – общая схема обстановок осадконакопления; *c-g* – вертикальные последовательности. Типы слоистости: St – косая троговая, Sm – косая сильно срезанная, Sp – плоская (параллельная) косая, Sr – мелкая косая слабосрезанная, Sh – горизонтальная

II.9.3. Пойма и общая типизация аллювия

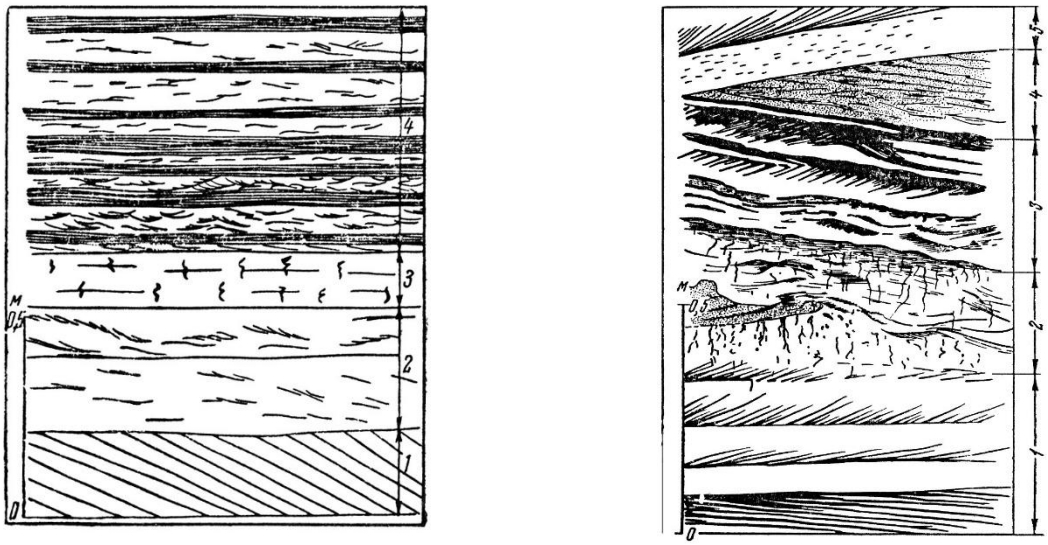


Рис. II.9.11. Слоистость в пойменных отложениях (Л. Н. Ботвинкина, 1962, с. 264):

Комплекс пойменных отложений в карьере у ст. Хапры (верхний плиоцен):

1 – косослоистый мелкозернистый песок прирусловой отмели; *2* – песок тонкозернистый, довольно хорошо отсортированный с прерывистой косо-волнистой слоистостью (отложения паводковых вод); *3* – песок тонкозернистый, глинистый, неясно горизонтальнослоистый с вертикальными остатками корешков (погребенная почва); *4* – чередование прослоев тонкозернистого песка (или крупнозернистого алевролита) мощностью от 5-8 до 15 см, и глины мощностью 2-5 см. В песке тонкая косоволнистая слоистость, подчеркнутая растительным детритом. Глины неясно тонко-горизонтальнослоистые. Этот слой сложного строения образовался в результате чередования отложений паводков и прослоев заиления межени

Прослои погребенной почвы в современных пойменных отложениях р. Дон:

1 – мелкозернистый косослоистый песок верхней части прирусловой отмели; *2* – песок тонкозернистый, глинистый, обогащенный гумусом, с большим количеством вертикальных корневых остатков – погребенная почва, разделяющаяся на два слоя неровным контактом размыва; *3* – песчано-глинистые отложения, залегающие со слабым размывом. Слоистость косо-волнистая и косая, подчеркнута обильной глинистой примесью, преобладающей вверху слоя; *4* – песок мелкозернистый, глинистый, внизу – косо-волнистый, вверху – с неясной слоистостью ряби; *5* – светлый мелкозернистый песок, несогласно залегающий на предыдущем слое. Слоистость внизу неясная, горизонтальная (возможно, перпендикулярный срез косослоистой серии), вверху – косая

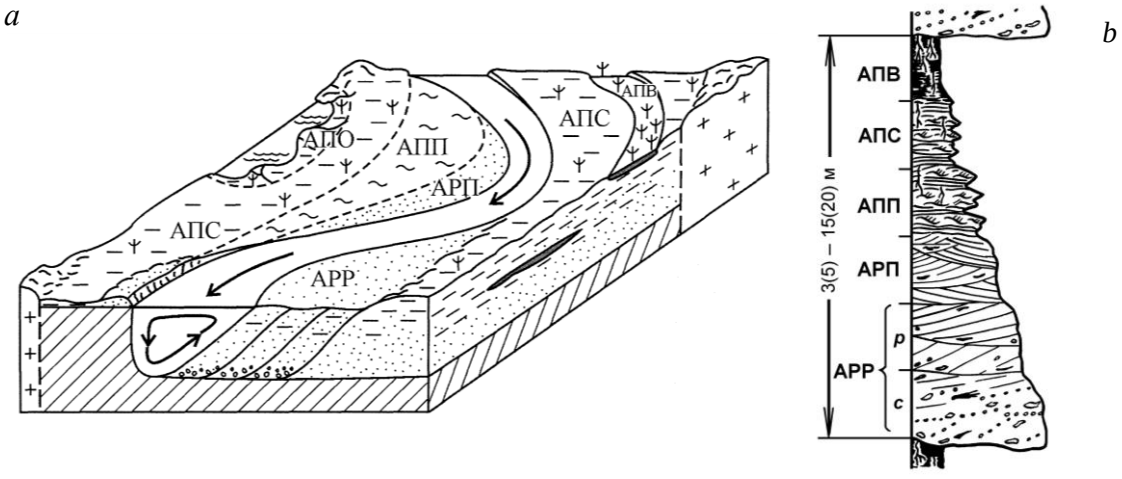


Рис. II.9.12. Типизация аллювиальных отложений: *a* – блок-диаграмма, *b* – идеализированная модель полнопостроенного аллювиального цикла крупной равнинной реки.

Отложения: АРС – стрежневого русла; АРР – русел равнинных рек; АРП – прирусловой отмели; АПП – проточной, АПС – слабопроточной и АПВ – вторичных (старичных) водоемов поймы (полное название фаций см. в табл. II.5.8)

II.10. ОЗЕРНЫЕ, БОЛОТНЫЕ И ЭОЛОВЫЕ ОБСТАНОВКИ

II.10.1. Озера

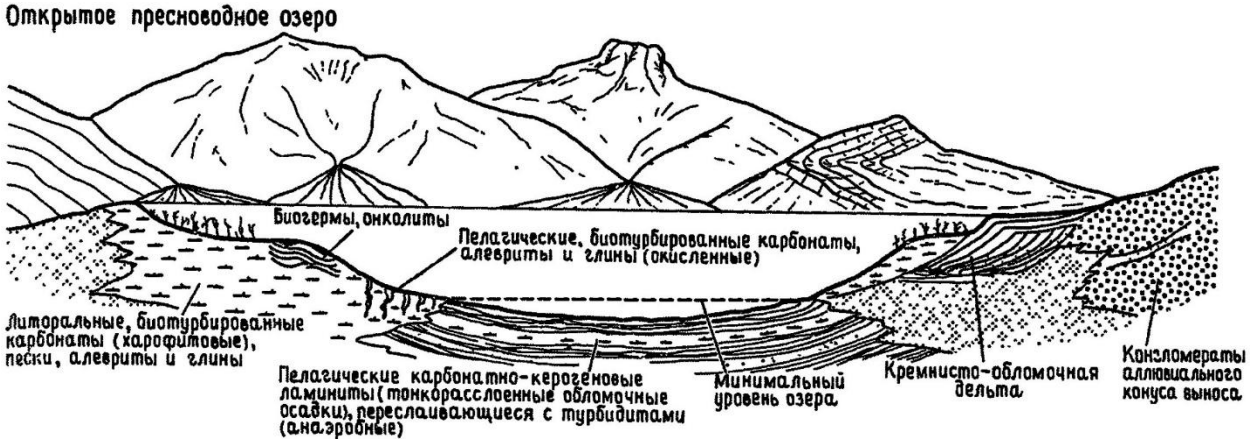


Рис. II.10.1. Элементы осадконакопления гидрологически открытого пресноводного озера (Обстановки…, 1990, т. 1, с. 97)

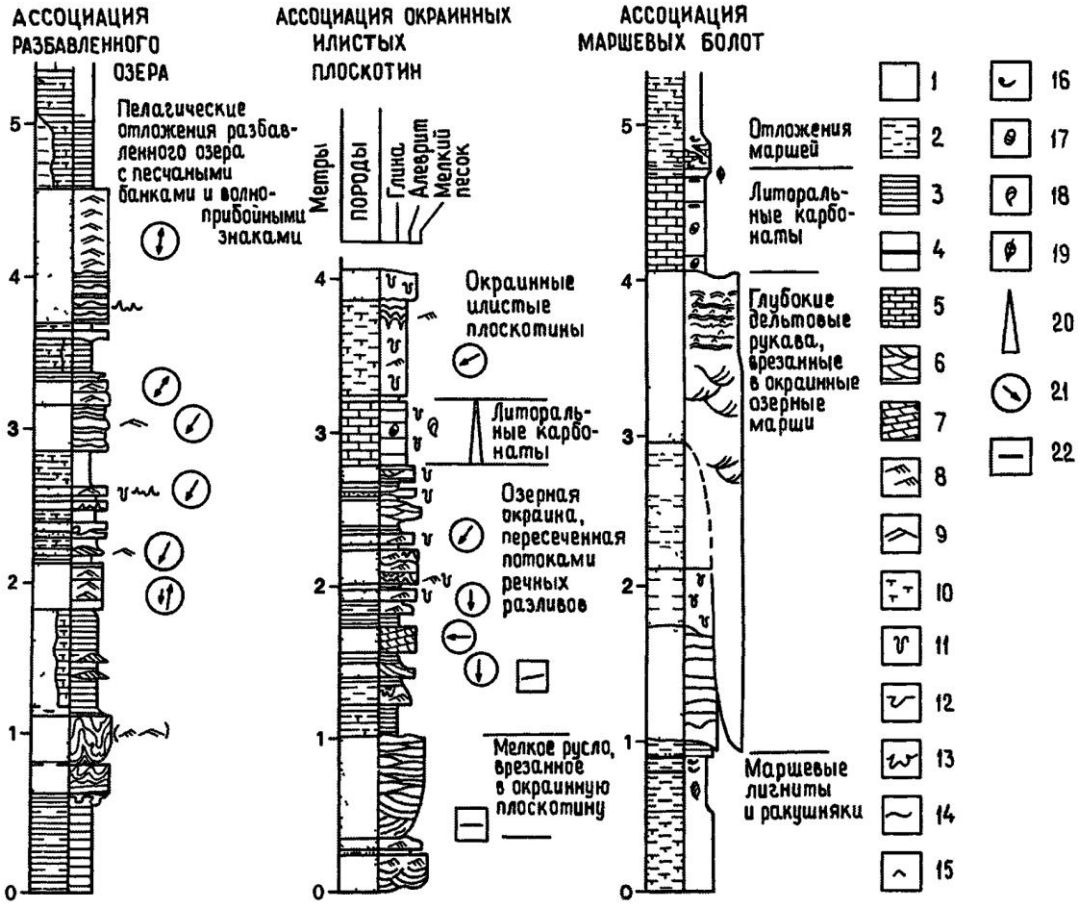


Рис. II.10.2. Осадочные фации третичных отложений восточной части впадины Эбро, Испания (Обстановки…, 1990, т. 1, с. 108):

1 – песчаники; *2* – алевролиты; *3* – аргиллиты; *4* – лигниты; *5* – известняки; *6* – мульдообразная косая слоистость; *7* – набегающие слойки знаков ряби; *8* – косая слоистость с асимметричными знаками течения; *9* – косая слоистость с почти симметричными волноприбойными знаками; *10* – карбонатизация; *11* – биотурбация; *12* – отпечатки нагрузки; *13* – конволютная слоистость; *14* – обломки текстуры срыва; *15* – гипс; *16* – битые раковины; *17* – оогонии харофитов; *18* – гастроподы; *19* – обрывки растений; *20* – уменьшение мощности вверх по разрезу; *21* – азимут падения косой слоистости; *22* – ориентировка подошвенных знаков

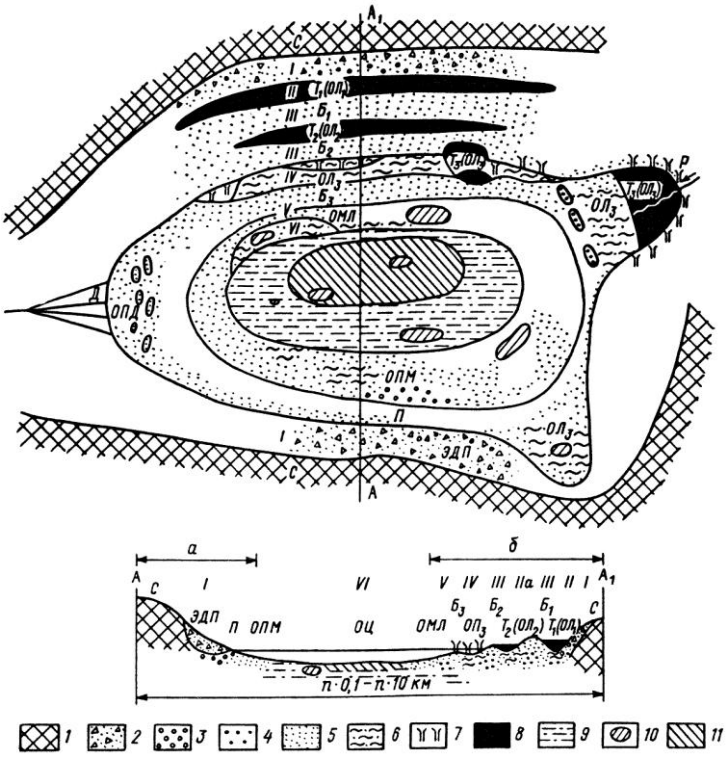


Рис. II.10.3. Обобщенная схема озерных фаций. Составили А. В. Македонов и О. М. Головенок (Основные …, 1985, с. 112)

1 – морена, коренные породы; *2* – элювий, делювий; *3* – пески разнозернистые с гравием, галькой – террасы и пляжи крутых склонов, иногда оснований баров; *4* – пески мелко- и среднезернистые, реже гравий, галька – пляжи, береговые валы; *5* – пески подвижного мелководья; *6* – переслаивание песков, алевритов, глин – озерно-лагунные отложения; *7* – осоково-тростниковые заросли; *8* – торфяники; *9* – переслаивание глин, алеврита, песка; *10* – сапропели, сапропелиты; *11* – илы. *I-VI* – зоны: *I* – склонов, *II, IIa* – торфяников, *III, V* – валов, *IV* –озерных лагун, *VI*– открытого озера.

С – суша; ЭДП – фации склонов; П – пляж; ОПМ – открытое подвижное мелководье; ОЦ – центральная часть озера; ОМЛ – открытое мелководье; $Б_{1, 2, 3}$ – бары разных генераций; $ОЛ_{1, 2, 3}$ – озерные лагуны; $Т_{1, 2, 3}$ – торфяники разных типов; ОПД – озерная подводная дельта. *а–б* – два типа озерного побережья

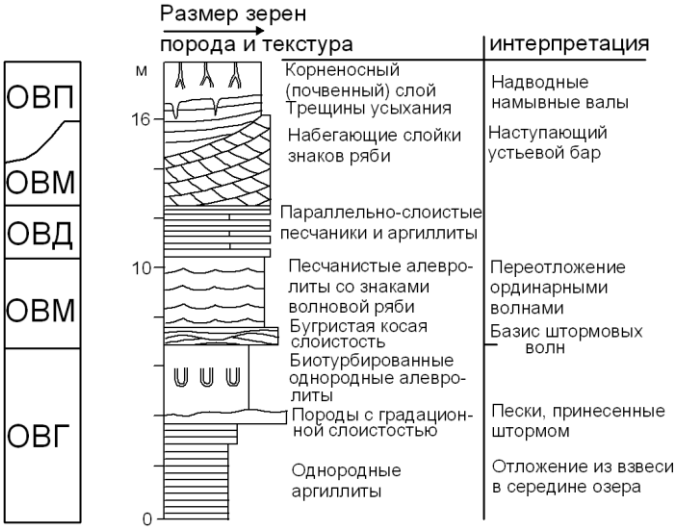


Рис. II.10.4. Идеализированная стратиграфическая колонка, образующаяся в ходе регрессии гидрологически открытого озера при преобладании кремнисто-обломочного осадконакопления. Восточная часть грабена Кару: по Д. Ван Дейку и др. (Van Dijk D. E., Hobday D. K. And Tankard A. J., 1978): из работы (Обстановки…, 1990, т. 1, с. 108). Слева от колонки – индексы выделяемых нами фаций (см. табл. II.5.8)

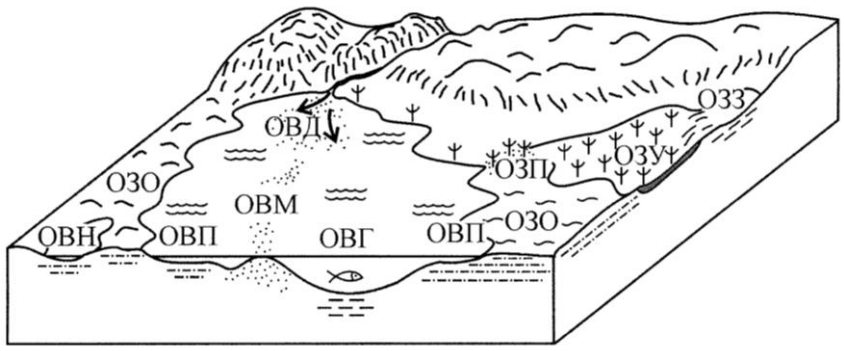


Рис. II.10.5. Блок-диаграмма озерных отложений

Фации (обстановки): ОЗУ – заболачивающихся, ОЗО – слабопроточных, ОЗЗ – заиливающихся и ОЗП – проточных озер; ОВН – небольших озерных водоемов; ОВП – полуизолированного и ОВМ – открытого мелководья крупных озер; ОВД – речных (дельтовых) выносов в озера; ОВГ – глубоководных частей озер (полное название фаций см. в табл. II.5.8)

Таблица II.10.1

Классификация озерных и озерно-болотных отложений (П. П. Тимофеев, 2006), базирующаяся на парагенезе с окружающими обстановками

Группа	Подгруппа	Фация	Колич. генетических типов
(В) терригенных осадков озерных водоемов аллювиальной, аллювиально-дельтовой и прибрежно-континентальной равнины и морского побережья (ПКР и МП) – **О**	(В-1) алеврито-глинистых осадков слабоподвижного прибрежного мелководья озерных водоемов аллювиально-дельтовой и аллювиальной равнин морского побережья – **ОР**	Глинисто-алевритовых осадков подвижного прибрежного мелководья озерных водоемов приустьевой и устьевой частей аллювиально-дельтовой равнины – **ОРП**	2
		Песчано-алевритовых, часто глинистых осадков слабоподвижного мелководья озерных водоемов речных долин аллювиальной равнины – **ОРД**	2
	(В-2) глинисто-алевритовых и песчаных осадков прибрежного мелководья озерных водоемов ПКР и МП* – **ОП**	Глинисто-алевритовых осадков прибрежного мелководья озерных водоемов междельтовых участков морского побережья прибрежно-континентальной равнины – **ОПМ**	2
		Песчаных осадков прибрежного мелководья озерных водоемов внутренних участков прибрежно-континентальной равнины – **ОПП**	2
	(В-3) песчаных осадков центральных и смежных частей озерных водоемов ПКР и МП – **ОС**	Горизонтальноволнистого переслаивания глинисто-алевритовых и песчаных мелкозернистых осадков подвижного мелководья озер ПКР и МП – **ОСО**	2
		Песчаных осадков сильноподвижного открытого мелководья и относительного глубоководья озер ПКР и МП (малые аккумулятивные формы – дельты, подводные валы и др.) – **ОСМ**	2
		Алеврито-песчаных осадков, иногда их горизонтальное пологоволнистое переслаивание, присутствие проточных участков в зарастающих озерных водоемах ПКР и МП – **ОСЗ**	2
	(В-4) алеврито-глинистых и углистых осадков, иногда алевритовых, заиливающихся торфяных болот и заболачивающихся озерных водоемов, в том числе сапропелевых, ПКР и МП – **ОЗ**	Глинистых осадков пресноводных, иногда зарастающих озерных водоемов ПКР и МП – **ОЗП**	2
		Глинистых и алевритовых осадков застойных и зарастающих, иногда сапропелевых озерных водоемов ПКР и МП – **ОЗЗ**	2
(Г) терригенных осадков заболоченных участков прибрежно-континентальной, аллювиально-дельтовой и аллювиальной равнин морского побережья – **ОБ**	(Г-1) глинисто-алеврито-песчаных осадков заболоченных пойм речных долин и озерно-болотных водоемов аллювиально-дельтовых равнин морского побережья – **ОБР**	Глинисто-алевритовых осадков озерно-болотных водоемов приустьевых и устьевых частей рек аллювиально-дельтовой равнины – **ОБРУ**	2
		Песчаных осадков озерно-болотных водоемов речных долин аллювиальной равнины – **ОБРД**	2
	(Г-2) глинисто-алевритовых и песчаных осадков озерно-болотных водоемов междельтовых и внутренних участков ПКР и МП – **ОБЗ**	Глинисто-алевритовых, иногда песчаных осадков озерно-болотных водоемов междельтовых участков морского побережья, прибрежно-континентальной равнины – **ОБЗМ**	2
		Алеврито-глинистых осадков озерно-болотных водоемов внутренних междолинных участков прибрежно-континентальной равнины – **ОБЗВ**	2

* ПКР и МП – прибрежно-континентальная равнина и морское побережье.

II.10.2. Болота

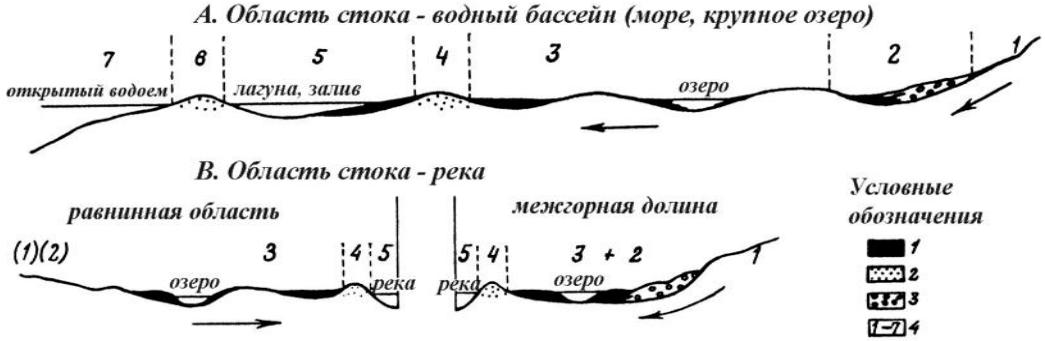


Рис. II.10.6. Ландшафтные углеобразующие зоны (Л. Н. Ботвинкина и др., 1973):

1 – торфяники; *2* – барьерные зоны; *3* – конусы выноса; *4* – нумерация зон. Стрелки – направление стока. Цифры на профилях: *1* – область сноса; *2* – зона склонов, подножий и связанных с ней конусов выноса; *3* – зона наземных депрессий (речных долин, заболачивающихся равнин, водоемов, озер и болот); *4* – зона наземных барьерных аккумулятивных образований (дюн, прирусловых валов и т. д.); *5* – зона прибрежного мелководья более или менее защищенного и отчлененного (лагуна, залив), часто в чередовании с дельтами (на профиле В – речного русла); *6* – зона подводных и надводных валов, отмелей, баров и т. п. образований (зона так называемого барового волнового поля); *7* – зона области стока – открытой акватории (морской и озерной)

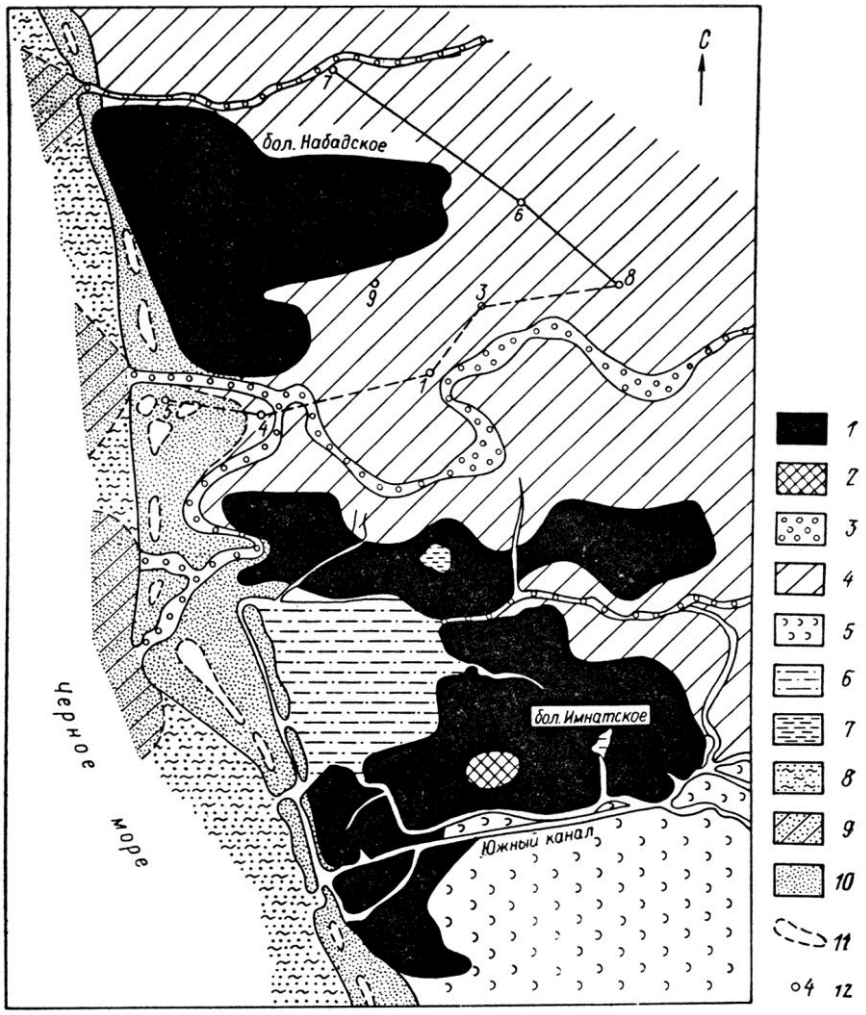


Рис. II.10.7. Схема размещения современных фаций изученной (наиболее заболоченной) части Колхидской низменности. Составили Т. А. Ишина. Ф. Т. Парцвания (Основные …, 1985, с. 100):

1-2 – торфяники: *1* – низинные и смешанные, *2* – верховые; *3* – русла и прирусловые валы крупных рек; *4* – область распространения осадков половодий (пойменных и флювиолагунных); *5* – коры выветривания, коллювий; *6* – лагуна-озеро: *7* – болотное озеро; *8* – прибрежно-морское мелководье; *9* – подводные дельты; *10* – береговые валы, бары, пляжи; *11* – «зачаточные» лагуны (в межваловых понижениях); *12* – детально литологически описанные скважины

II.10.3. Эоловые обстановки

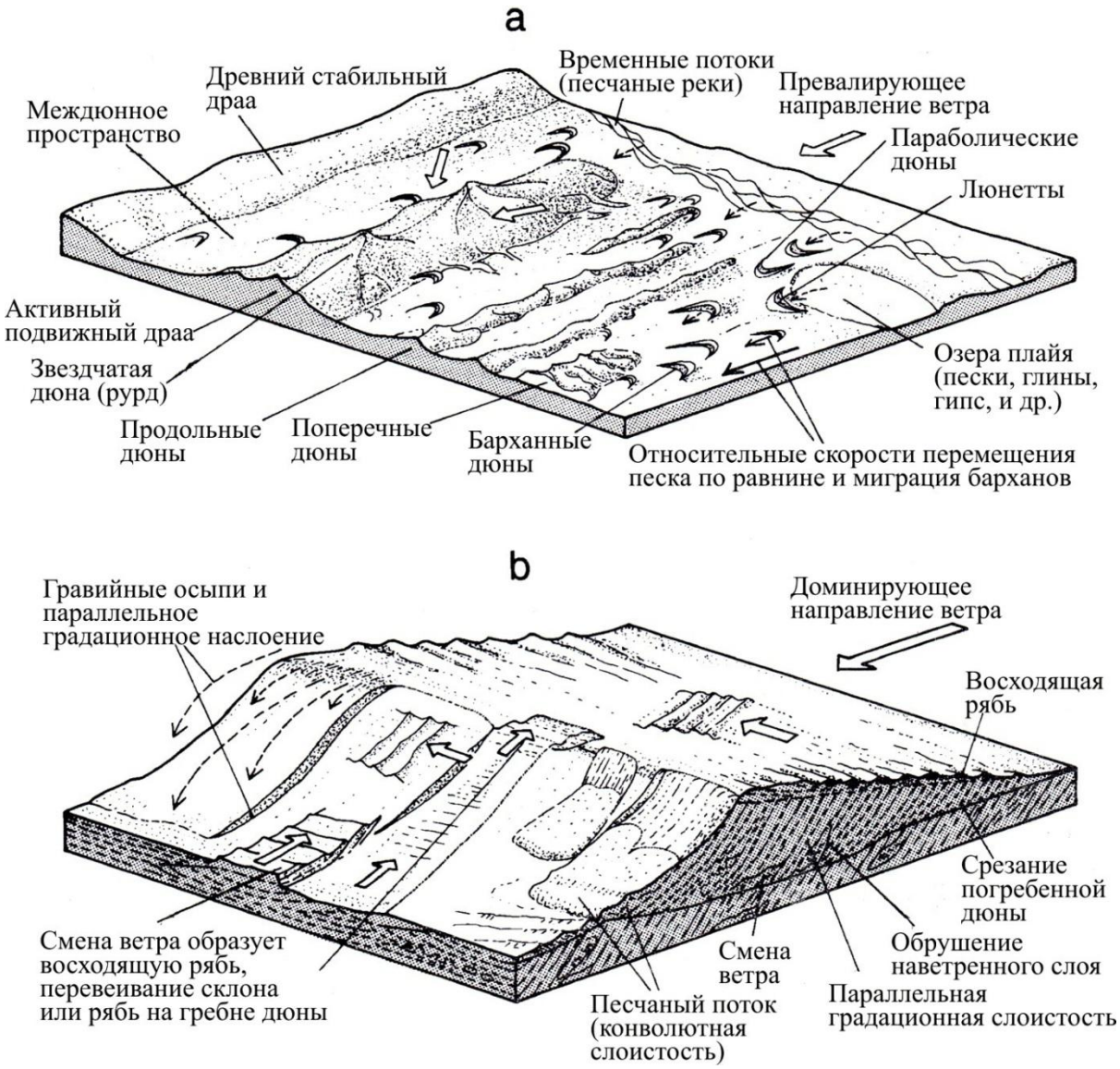


Рис. II.10.8. Основные типы эоловых отложений (G. Einsele, 1992, p. 58): *a* – общая картина; *b* – перемещение бархана

Крупные песчаные моря, или *эрги*, являются главными местами аккумуляции песков ветрового надува. Они занимают площади до 500 000 км^2 и местами имеют мощность наносов до нескольких сотен метров. В эргах наблюдается сложная ассоциация форм наносов. Песок в эрги может поступать при рассеивании ветром аллювиальных отложений по краям или при переносе на большие расстояния от первоначального источника, который, вероятно, был сложен более древними песчаниками. Крупные вытянутые песчаные покровы хорошо видны на космических снимках, причем их линейность соответствует измеренным доминирующим и результирующим направлениям эффективных ветров (Обстановки…, 1990).

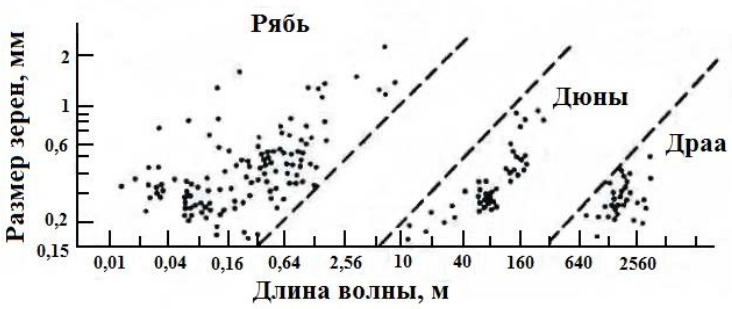


Рис. II.10.9. Соотношение размерности зерен и длины волны эоловых форм отложений (J. G. Wilson, 1972); из (Обстановки…, 1990, т. 1, с. 127)

Рис. II.10.10. Комплекс междюнных отложений с «осушением» вверх по разрезу при переходе от влажной к сухой обстановке. Сухая обстановка завершается вторжением очередной дюны. На примере современных отложений острова Падре, США (G. Kocurek, 1981); из (Обстановки…, 1990, т. 1, с. 131)

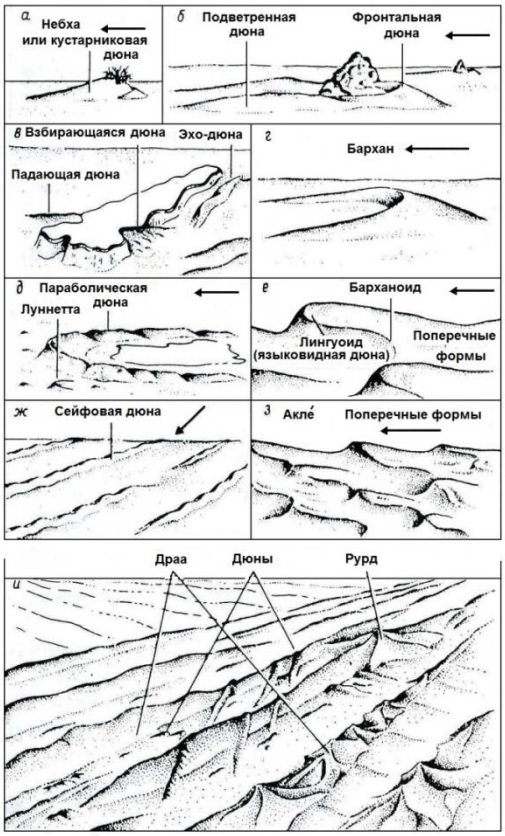


Рис. II.10.11. Главные типы эоловых дюн и драа. Названия, приведенные на рис. *г – з*, можно использовать как для дюн, так и для драа. Где это необходимо, показано направление преобладающего ветра. На рис. *в* и *и* какое-либо доминирующее направление отсутствует. На рис. *и* показано соотношение размеров дюн и драа (R. V. Cookc and A. Warren, 1973); из (Обстановки…, 1990, т. 1, с. 128)

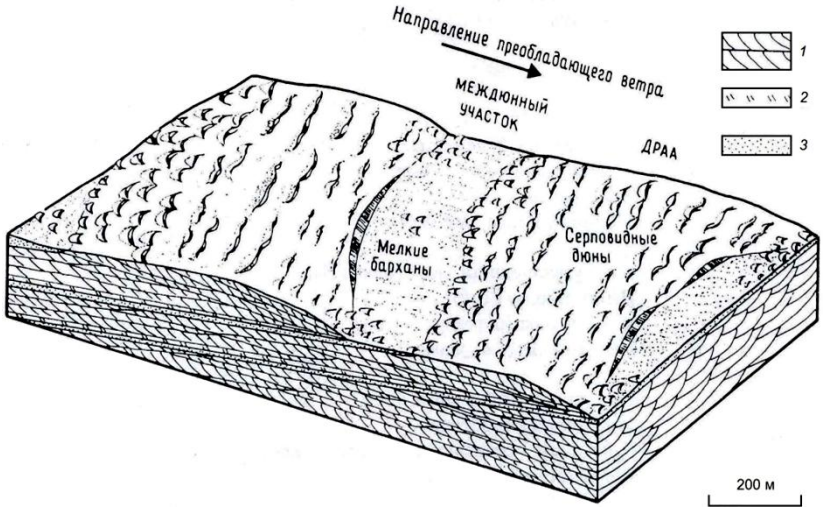


Рис. II.10.12. Реконструкция обстановки драа, дюн и междюнного интервала по косой слоистости и поверхностям раздела. Косая слоистость показана вне масштаба (L. B. Clemmensen and K. Abrahamsen, 1983); из (Обстановки…, 1990, т. 1, с. 141):

1 – косая слоистость драа; *2* – барханная косая слоистость; *3* – междюнные отложения

ПЕРЕХОДНАЯ ГРУППА

II.11. ЗАЛИВЫ И ДЕЛЬТЫ

II.11.1. Заливно-лагунное побережье

Рис. II.11.1. Схема залива (лагуны) и окружающих обстановок (Седиментология, 1980, с. 509)

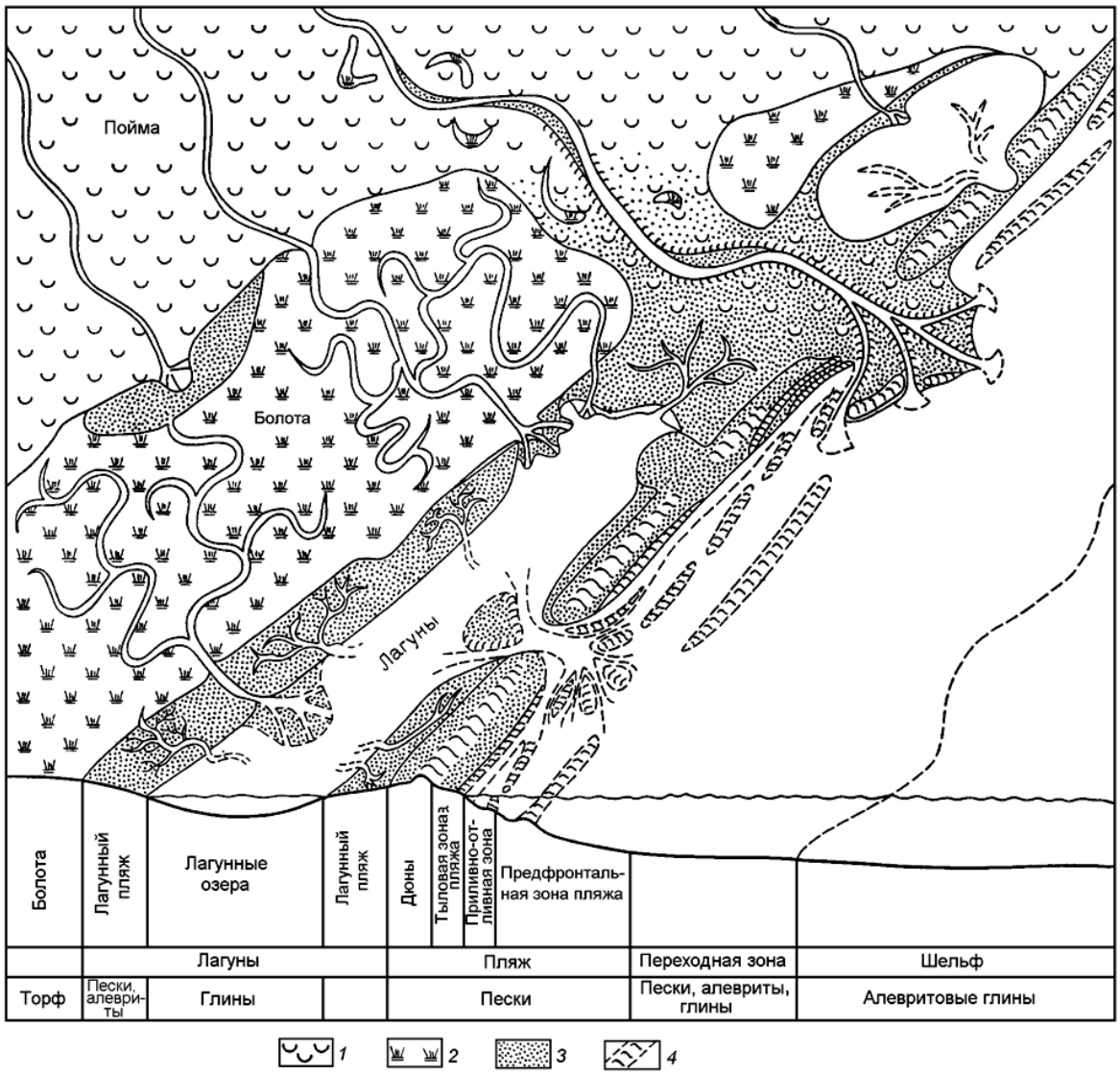


Рис. II.11.2. Реконструкция прибрежных геоморфологических структур в меловое время, иллюстрирующая различные обстановки осадконакопления. В нижней части прибрежные пески образуют барьерные острова, а в верхней – слагают материковый пляж. (Г.-Э. Рейнек, И. Б. Сингх, 1981, с. 338): *1* – пойма (аллювий); *2* – болота; *3* – пески; *4* – береговой бар

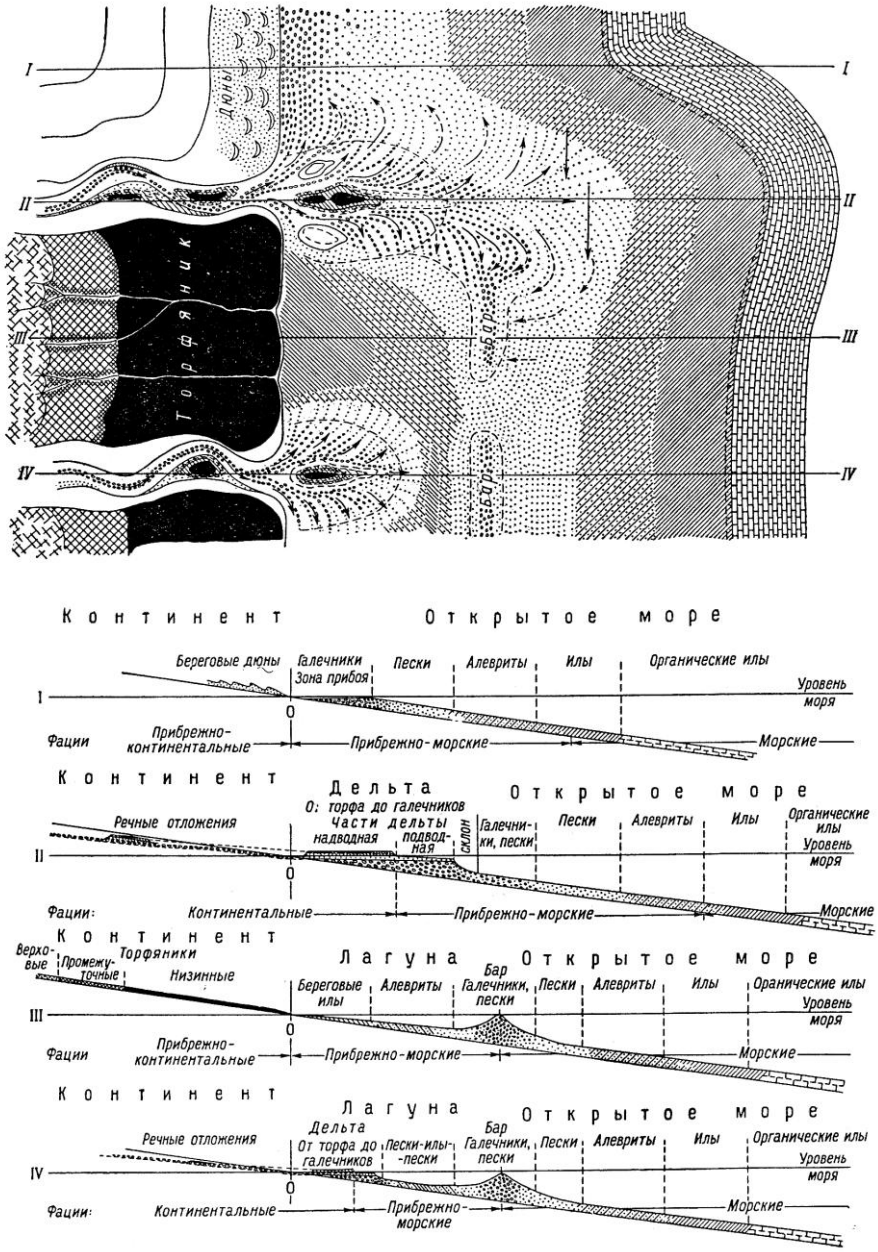


Рис. II.11.3. Распределение фаций в прибрежно-морских и прибрежно-континентальных обстановках седиментации при стационарном положении береговой линии в плане (вверху) и в разрезах (внизу) (Г. А. Иванов, 1967, с. 122-123):

обстановки: *I* – континент – открытое море; *II* – река – дельта – открытое море; *III* – континент – лагуна – открытое море; *IV* – река – дельта – лагуна – открытое море

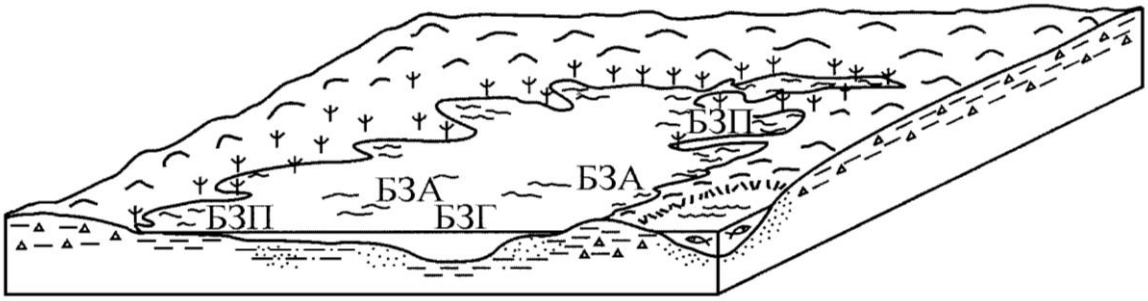


Рис. II.11.4. Блок-диаграмма отложений заливов и лагун (расшифровку буквенных аббревиатур см. в табл. II.5.8). Фации (обстановки): БЗП – полуизолированных прибереговых, БЗА – активных подвижных и БЗГ – относительно глубоких центральных частей заливов и лагун (полные названия см. в табл. II.5.8)

II.11.2. Дельты (подводная часть)

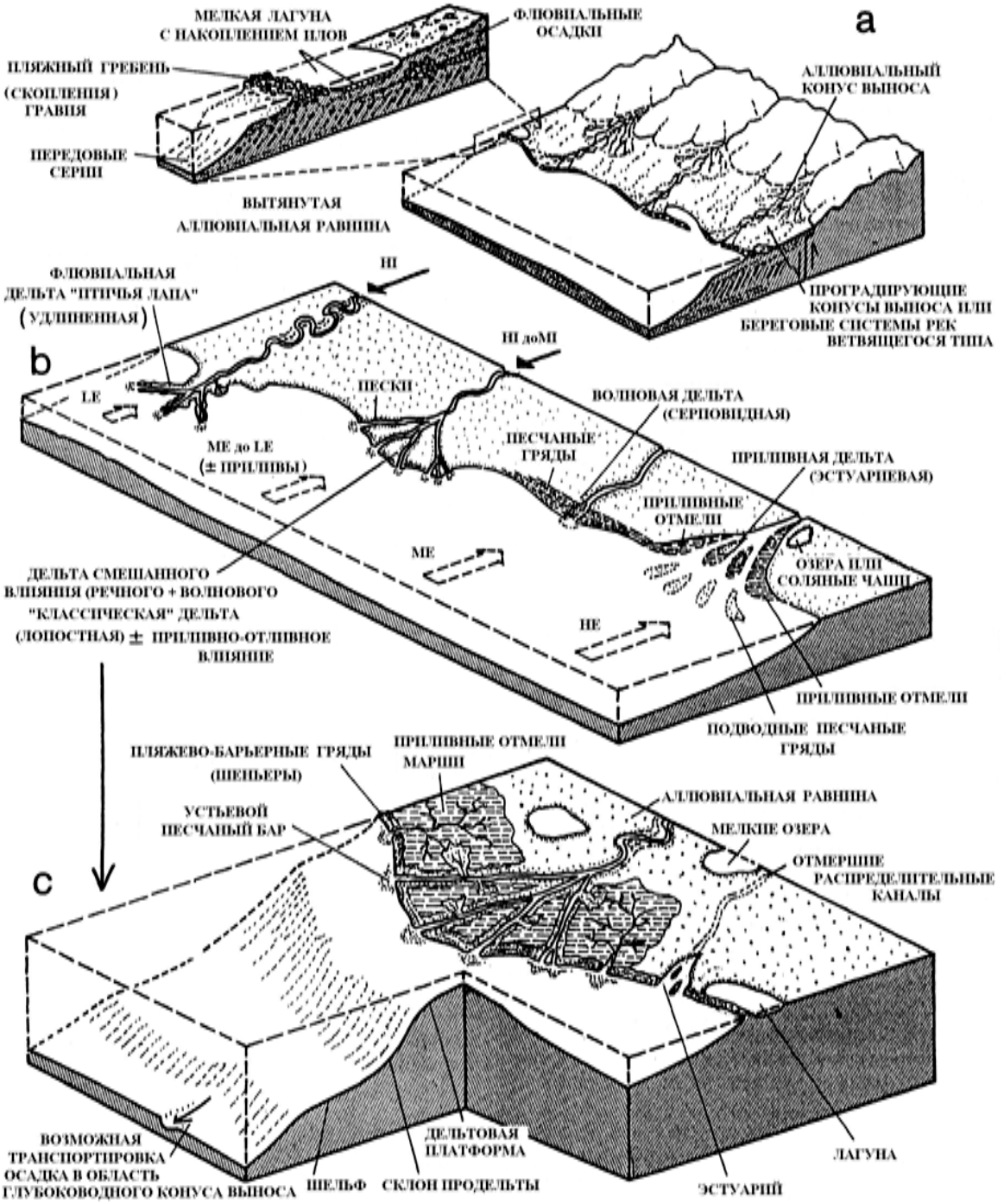


Рис. II.11.5. Общая характеристика дельтовой обстановки осадконакопления (G. Einsele, 1992. p. 148):

a – Конусы выноса морских дельт наращиваются в морских бассейнах по причине проградации аллювиальных конусов выноса или береговых наносов рек ветвящегося типа. Обратите внимание, гравийные пляжевые гребни защищают мелкие лагуны и водоемы от активности волн и приливных потоков. Древние пляжевые гряды, лагунные алевролиты и илы могут быть перекрыты речными осадками. ***b*** – Различные типы крупных морских дельт контролируются волнами и приливно-отливными течениями (в условиях: LE – *низкой энергии*; ME – *средней энергии*; HE – *высокой энергии*) так же, как и поступление осадка (HI – *большое поступление*; MI – *среднее поступление*). ***c*** – Различные подобстановки крупных лопастных, волновых и приливных дельтовых систем (подобные современной дельте р. Нигер)

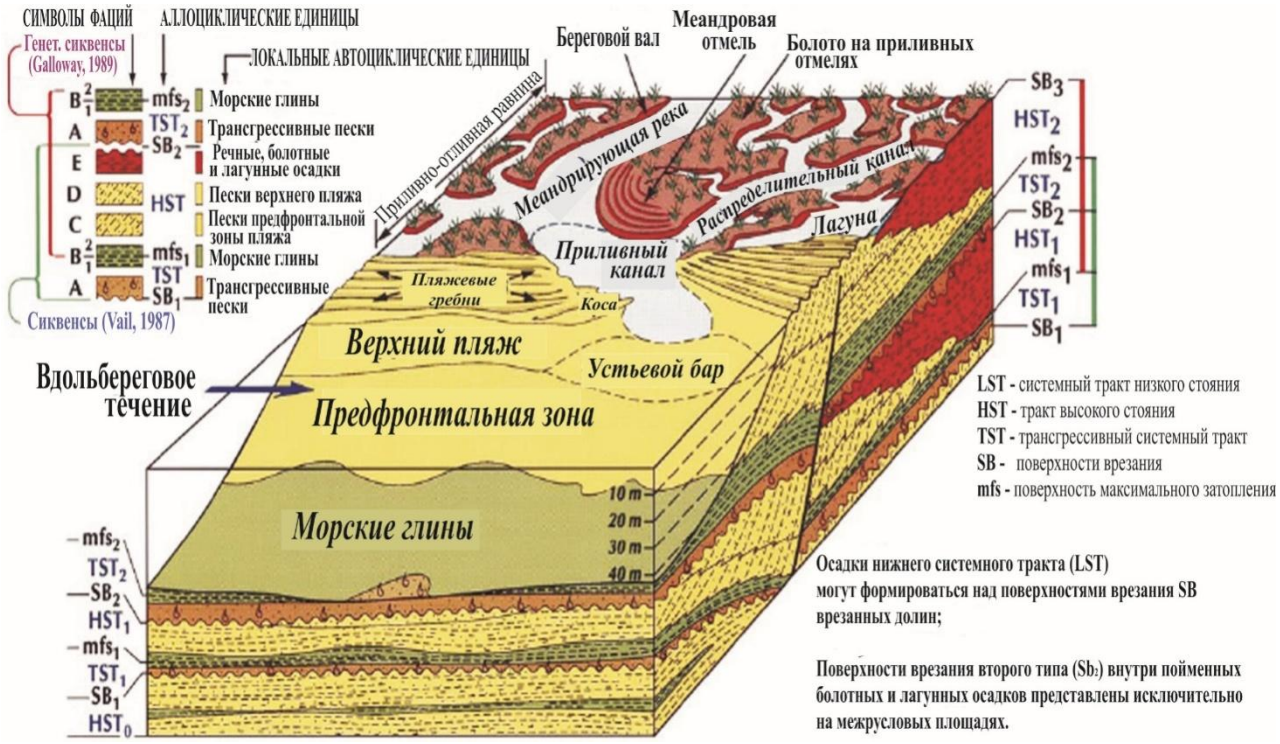


Рис. II.11.6. Характеристика конуса выноса дельты р. Нигер (T. J. A. Reijers, 2011)

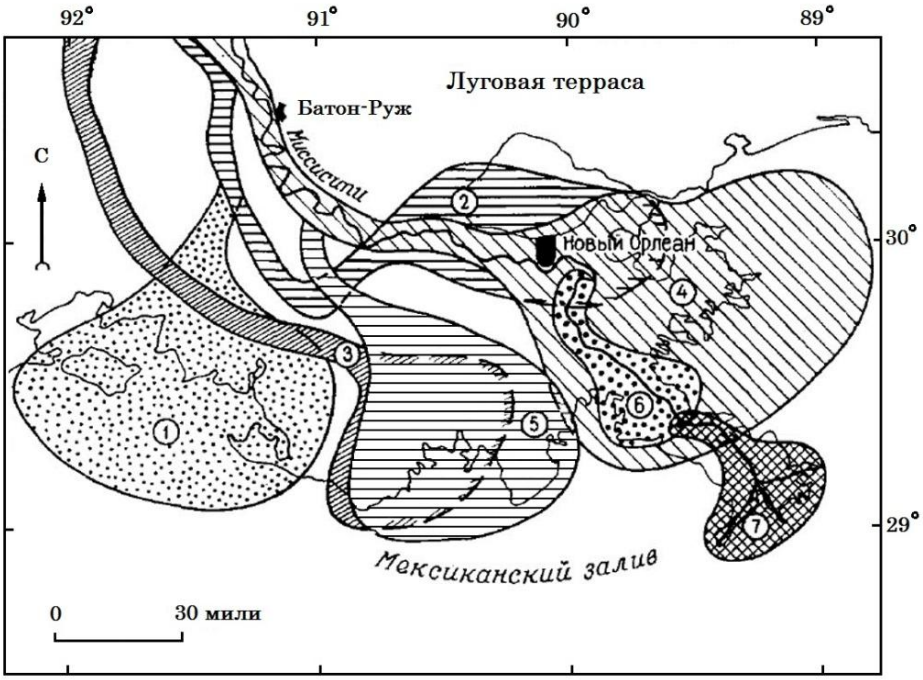


Рис. II.11.7. «Черепитчатая» дельта. За 5000 лет р. Миссисипи было создано семь лопастей дельты. (Г.-Э. Рейнек, И. Б. Сингх; 1981, с. 265):

1 – Сейл Сайпрмор; 2 – Кокодрай; 3 – Теч; 4 – Св. Бернарда; 5 – Ла-Фурш; 6 – Плакмайн; 7 – Бэлайз

Рис. II.11.8. Блок-диаграмма отложений подводной части дельты (расшифровку аббревиатур см. в табл. II.5.8)

Фации (обстановки): БДП – подножий, БДЦ – центральных и БДД – основных частей конусов выноса рек; БДА – передовой части дельты (авандельты). Полное название фаций см. в табл. II.5.8

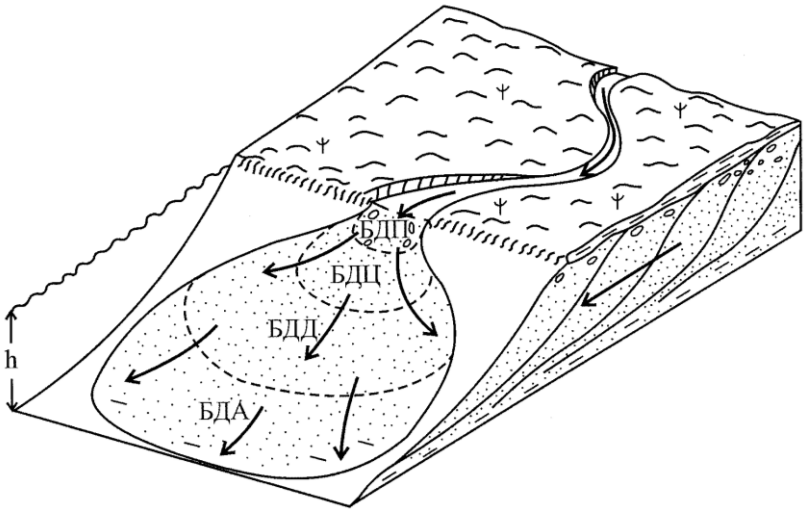
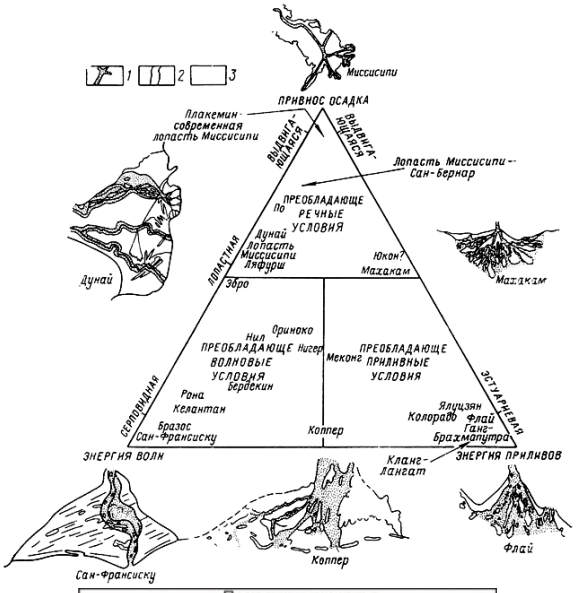


Рис. II.11.9. Последовательность смены представлений о генезисе дельтовых отложений:

a – диаграмма, иллюстрирующая деление дельт на три типа: преобладающе речные, преобладающе волновые и преобладающе приливные (У. Е. Галловей: Galloway, 1975); из сборника (Дельты …, 1979, с. 24): Привнос осадка, энергия волн и течений определяют морфологию и стратиграфию дельты: *1* – речные фации (главным образом песок); *2* – песчаные фации края дельты; *3* – маршиболота и заиленные берега;

a



b – модификация или реструктуризация классического треугольника Галловея путем «отламывания» эстуариевой вершины, с приданием ей самостоятельного значения (Walker, 1992);

b

c – современные представления о взаимосвязи и роли процессов, формирующих дельты (основной треугольник предложен в работе (Dalrymple e. a., 2006))

c

в

II.11.3. Эстуарии

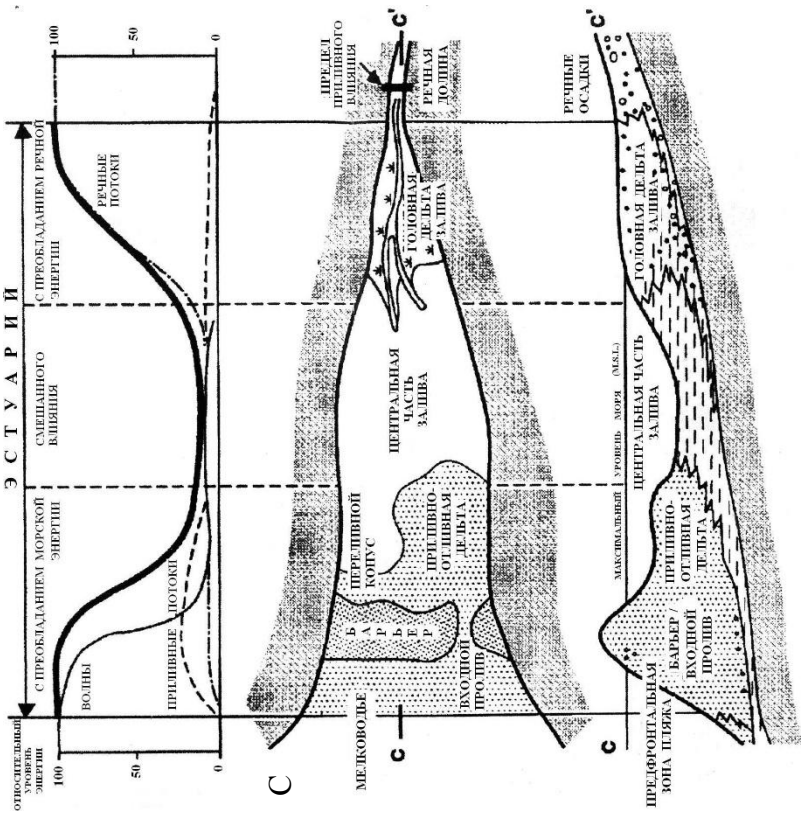


Рис. II.11.10. Эстуариевая система (Estuary systems) (Dalrymple et. al., 1992):

А – общая схема; В – преобладание потокового (течениевого) переноса; С – преобладание волнового переноса

МОРСКИЕ (БАССЕЙНОВЫЕ) ОБСТАНОВКИ

II.12. МЕЛКОВОДЬЕ

II.12.1. Схемы типизации

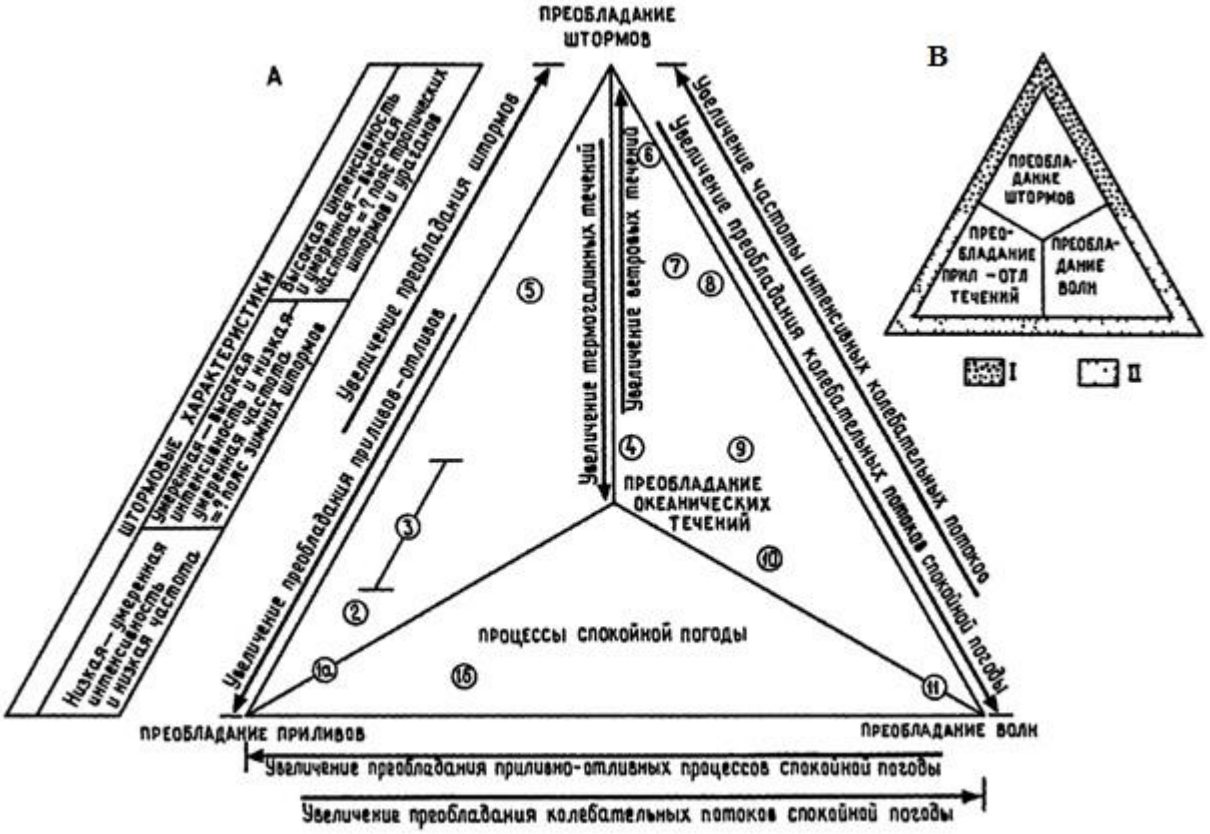


Рис. II.12.1. Мелководные моря с терригенной седиментацией (Обстановки…, 1990, т. 1, с. 285): ***A*** – схематическая сводка основных типов обстановки дальняя зона – шельф. Показаны природа гидравлических режимов, а также относительная роль и взаимодействие процессов спокойной погоды (приливы, океанические течения, волны) и штормов. ***B*** – упрощенная схема, которая дает основу для классификации основных типов современных шельфов и для характеристики древних мелководных морских фаций. Цифры в кружках (для *A*) – конкретные объекты; *I* – преобладание штормов; *II* – преобладание спокойной погоды (для *B*)

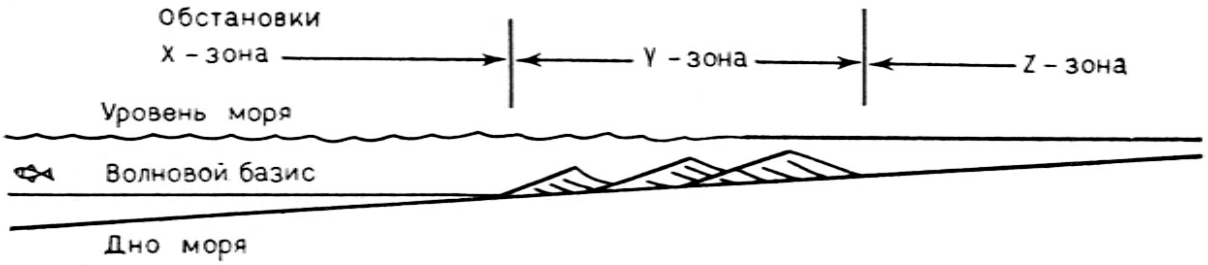


Рис. II.12.2. Схема осадконакопления на эпиконтинентальном морском шельфе (Р. К. Селли, 1981, с. 277): X-зона. Низкий энергетический уровень, волновой базис. Фации. Кластическая: тонкослоистые глинистые сланцы; карбонатная: тонкослоистые микриты.

Y-зона. Высокий энергетический уровень, песчаные банки и рифы. Фации. Кластическая:песчаные банки; карбонатная: органогенные пески песчаных банок и рифы.

Z-зона. Низкий энергетический уровень, лагуны, приливно-отливные равнины и марши.Фации. Кластическая: пески тонкослоистые с чешуйчато-ленточной слоистостью и ходами организмов, илы, торфяники; карбонатная: илы с галькой, доломиты, строматолитовые известняки и эвапориты

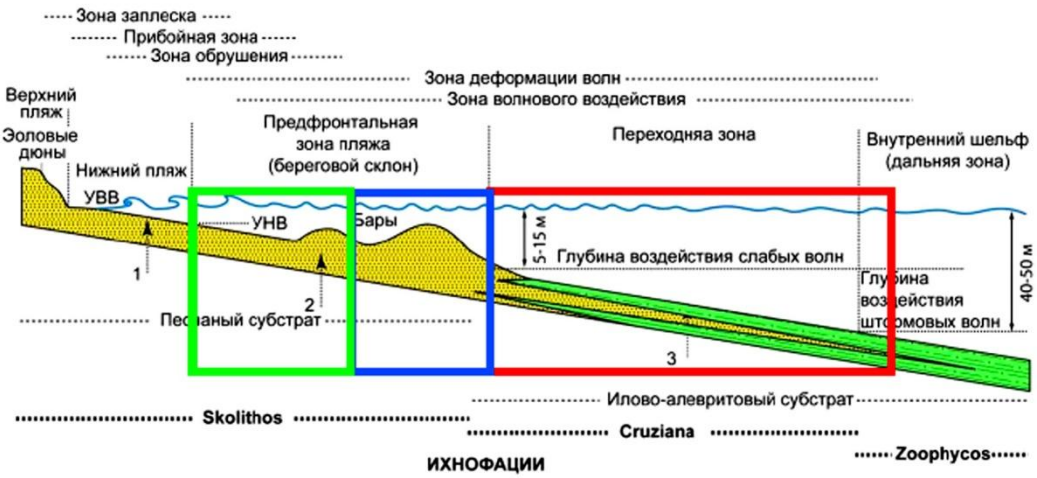


Рис. II.12.3. Субобстановки, процессы и фации затапливаемого пляжа (Обстановки…, 1990, т. 1, с. 194); с дополнениями Е. Ю. Барабошкина:

1 – параллельная слоистость и одиночные косые серии; 2 – эфемерные поля симметричных и асимметричных знаков ряби и дюн, смываемых во время штормов и замещаемых штормовыми фациями. Интенсивность биотурбации уменьшается по направлению к суше; 3 – если не преобладает шельфовый режим, то распространено штормовое осадконакопление – песчаные слои с преобладанием бугорчатой слоистости, глинисто-алевритовых биотурбированных фаций, образовавшихся в течение затишных периодов. УВВ – средний уровень высокой воды; УНВ – средний уровень низкой воды. Красная рамка – фации переходной зоны; синяя – нижней части предфронтальной зоны, зеленая – верхней части предфронтальной зоны

II.12.2. Приливно-отливное (полуизолированное) мелководье

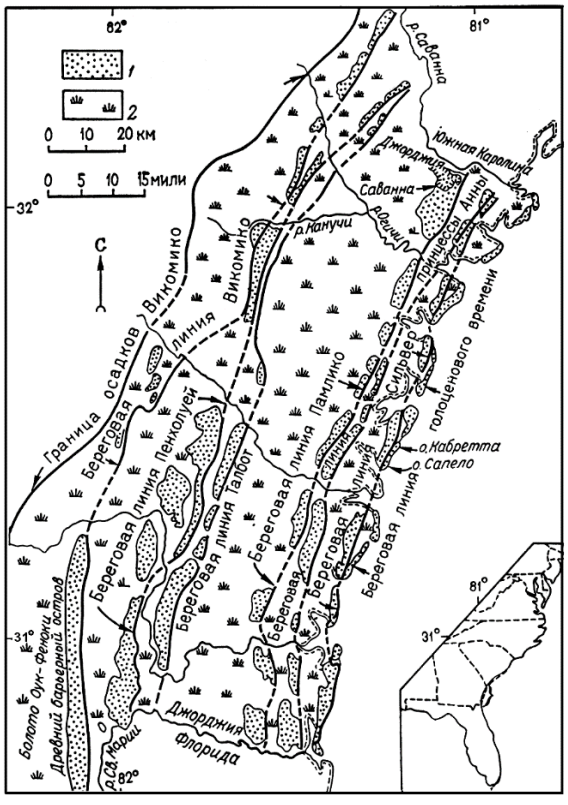


Рис. II.12.4. Карта побережья Джорджии, отражающая положение береговой линии голоценового времени и шести линий плейстоценового времени. Для каждой береговой линии показано расположение барьерных островов и осадков лагунно-маршевого типа (Г.-Э. Рейнек, И. Б. Сингх, 1981, с. 270)

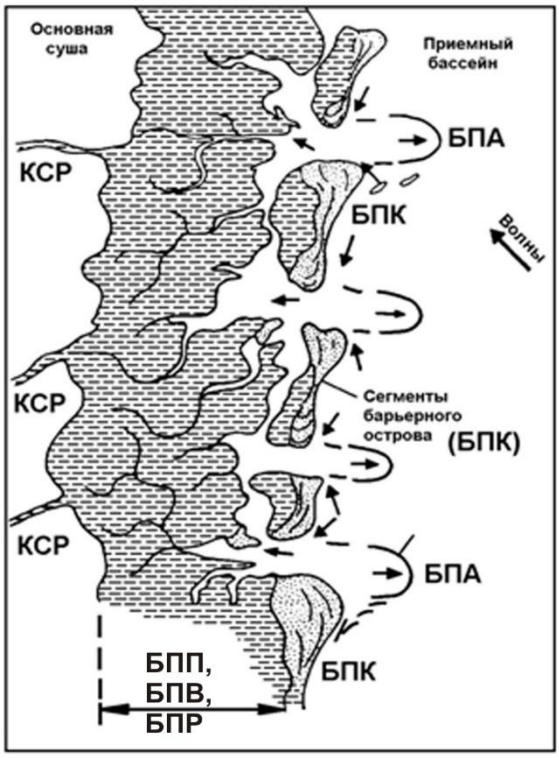


Рис. II.12.5. Барьерный остров в условиях смешанного волнового приливно-отливного режима (Обстановки…, 1990, т. 1, с. 216).

Фации (обстановки; см. табл. II.5.6 и II.5.8): КСР – русел и КСП – поймы мелких прибрежных водотоков; БПП – приберегового, БПВ – взмучиваемого, БПР – ритмитового, БПК – «косового» и БПА – активного полуизолированного бассейнового мелководья

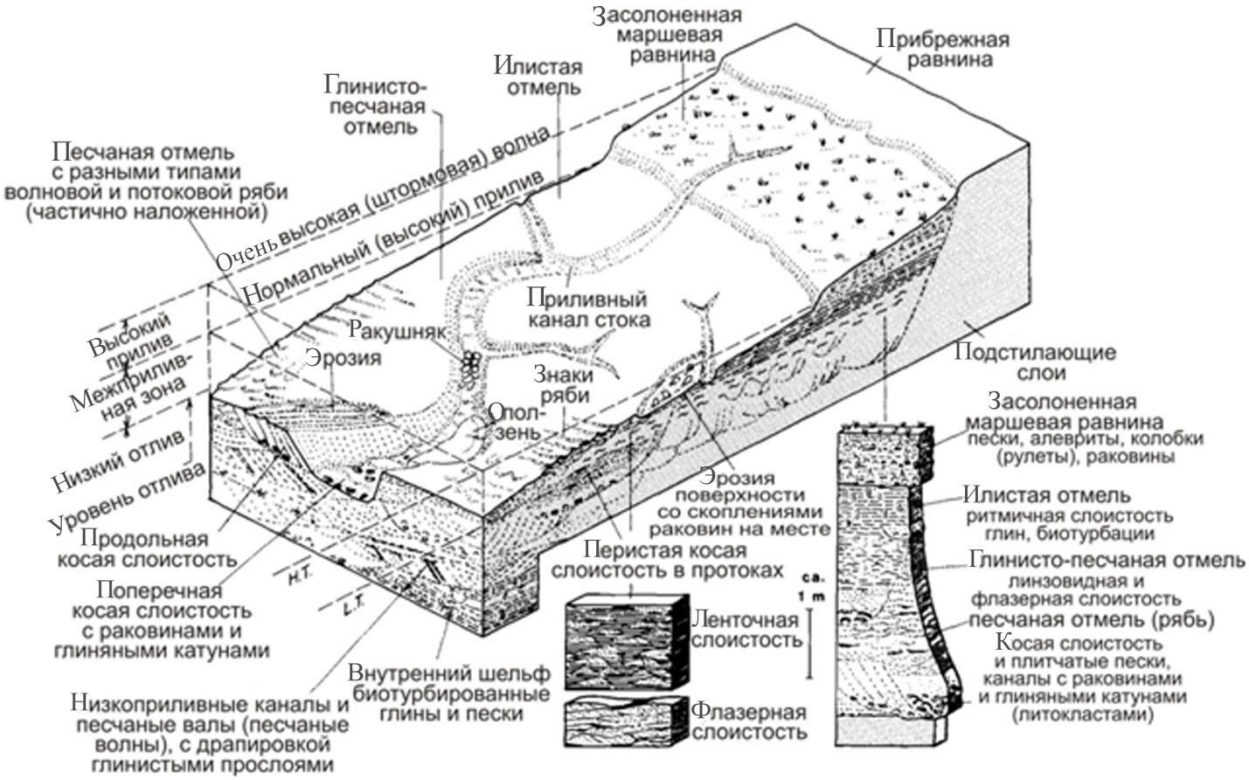


Рис. II.12.6. Основные особенности и специфика седиментационных текстур терригенных пород в приливно-отливной области (G. Einsele, 1992, p. 115). Вертикальный масштаб увеличен примерно в 500 раз

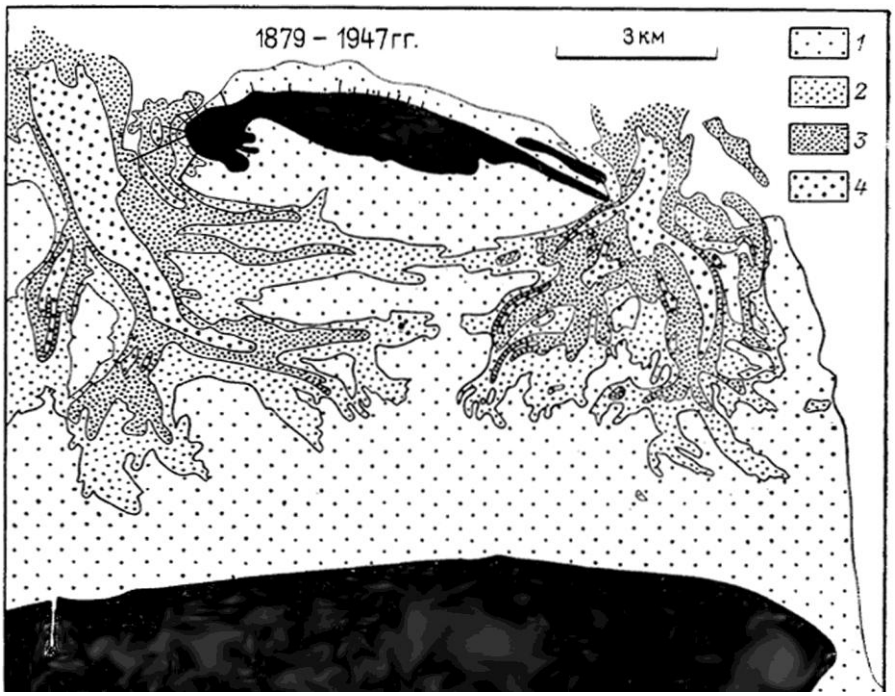


Рис. II.12.7. Переработанные осадки приливно-отливной полосы (Г.-Э. Рейнек, И. Б. Сингх, 1981, с. 355):

1 – приливно-отливная полоса; глубина распространения переработанных осадков; *2* – от 0 до 2 м, *3* – от 2 до 6 м, *4* – более 6 м ниже уровня воды

Сопоставлением карт показано, что около 58 % осадков приливно-отливной полосы оказались переработанными приливными руслами за 68 лет. Переработка осадков происходила в результате латеральной миграции русел. Хотя в основном приливные русла занимают ту же площадь, их положение внутри этой площади на протяжении сотен лет изменяется. Небольшие русла существуют более короткий период времени, чем крупные. Латеральная миграция русел в связанных илистых осадках илистой равнины довольно низкая. Скорость миграции русел в илистых осадках оценена в 25 м в год. В песчаных осадках скорость миграции выше – от 25-30 до 100 м в год.

II.12.3. Открытое (подвижное) мелководье

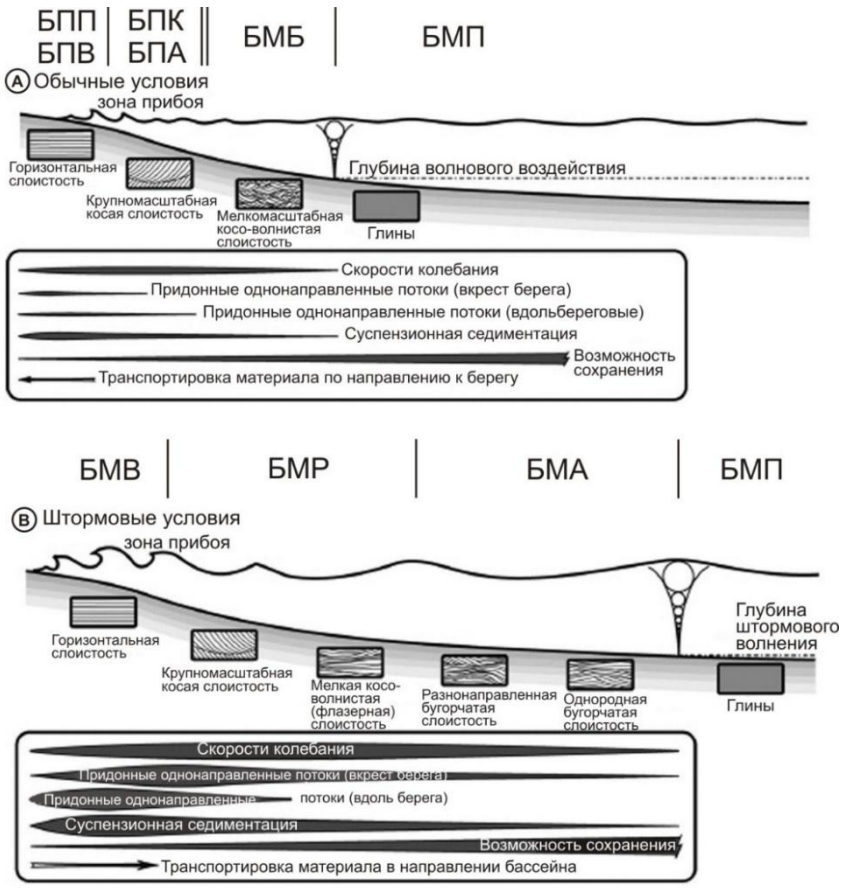


Рис. II.12.8. Профиль мелководно-морского осадконакопления (S. Dumas, K. Arnott, 2006). Фации (обстановки): БПП – прибереговое, БПВ – взмучиваемое, БПК – «косовое», БПА – активное полуизолированное бассейновое мелководье; БМВ – волновое, БМР – ритмитовое, БМБ – баровое, БМА – активное, БМП – удаленное подвижное (открытое) бассейновое мелководье. Полная расшифровка приводится в табл. II.5.6, II.5.8

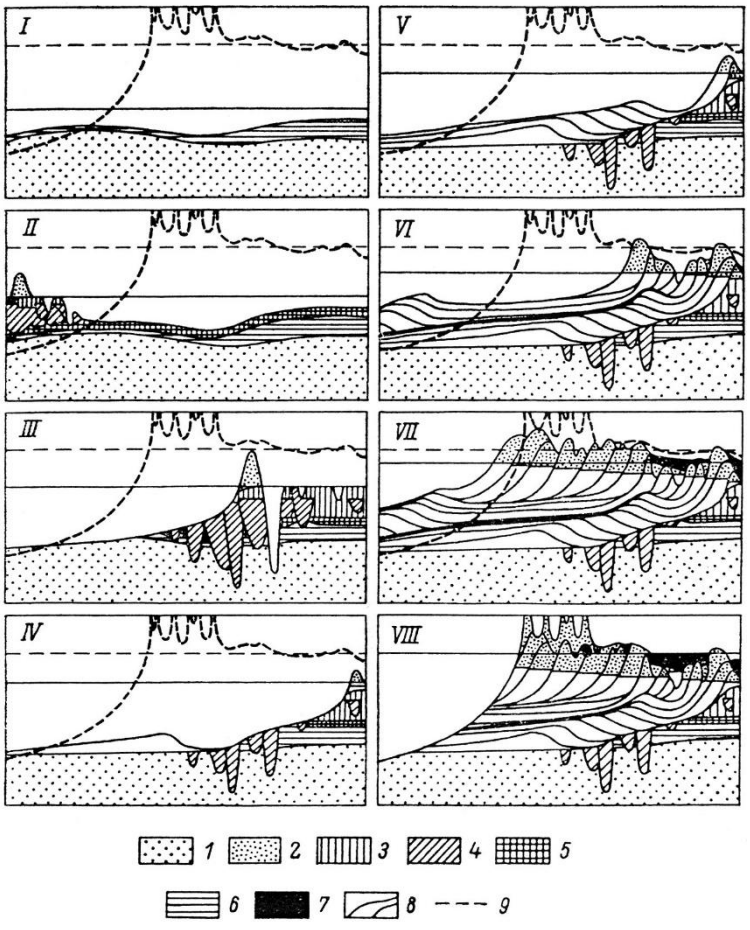


Рис. II.12.9. Эволюция лагунно-барового комплекса на побережье Нидерландов (L. Van Straaten, 1965): *1* – плейстоценовые отложения; *2* – дюнные и пляжевые пески, образовавшиеся выше среднего уровня моря; *3* – ваттовые (приливные) отложения; *4* – отложения желобов приливных течений; *5* – лагунные отложения; *6* – озерные глины; *7* – торф; *8* – открыто морские (мористо-баровые) отложения с обозначением стратификации; *9* – современный уровень моря. Жирные штриховые кривые – современный поперечный профиль побережья

Примерное время формирования рельефа: *I* – 4750; *II* – 4200; *III* – 3400; *IV* – 2800; *V* – 2500; *VI* – 2200; *VII* – 850 лет до н.э.; *VIII* – современное побережье

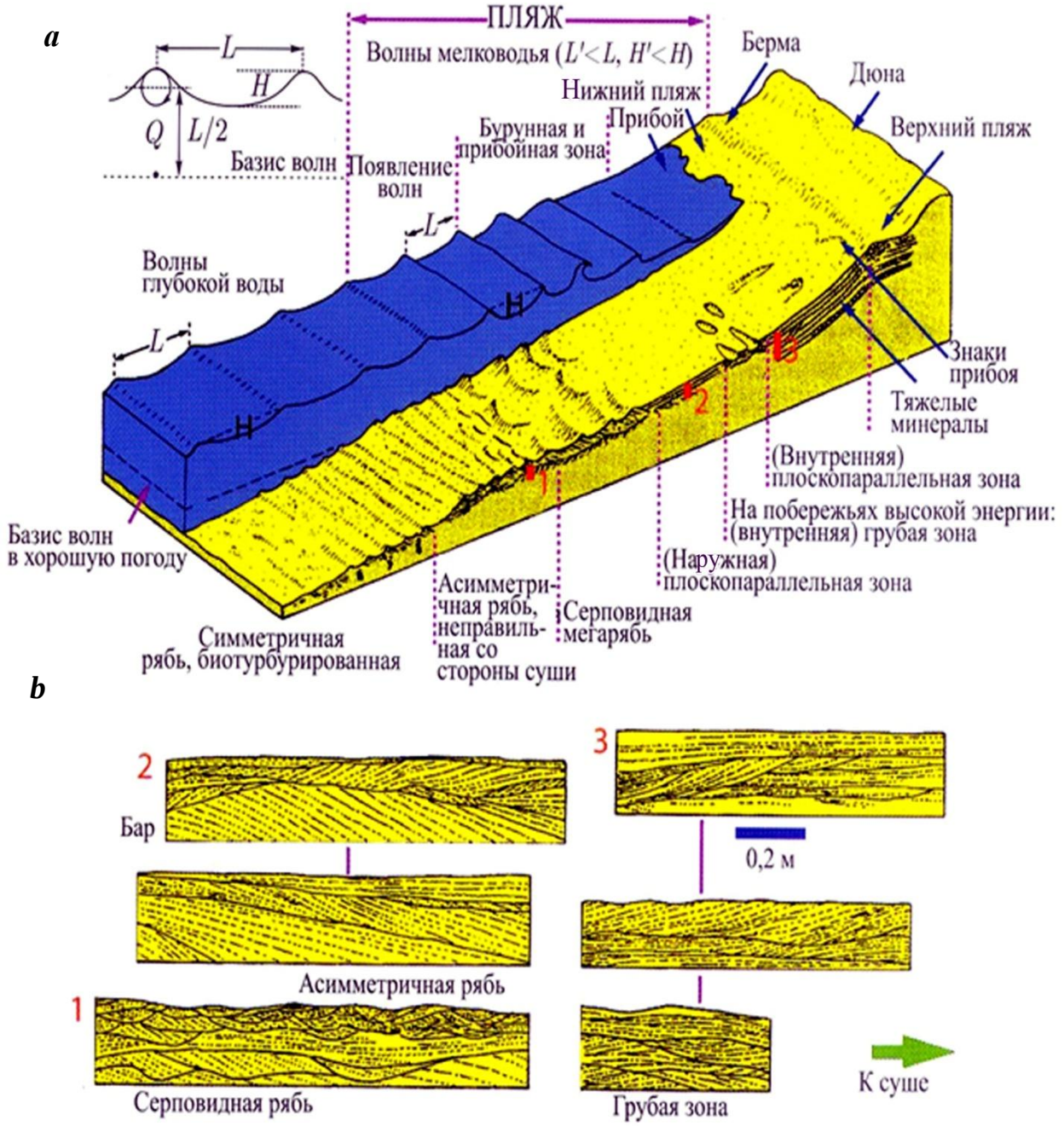


Рис. II.12.10. Волновое побережье (G. Einsele, 1992, p. 95): *a* – трансляция глубоководных волн (с длиной, более чем вдвое превышающей глубину) в мелководные волны, с выделением соответствующих зон; *b* – текстурные особенности отложений в выделенных зонах

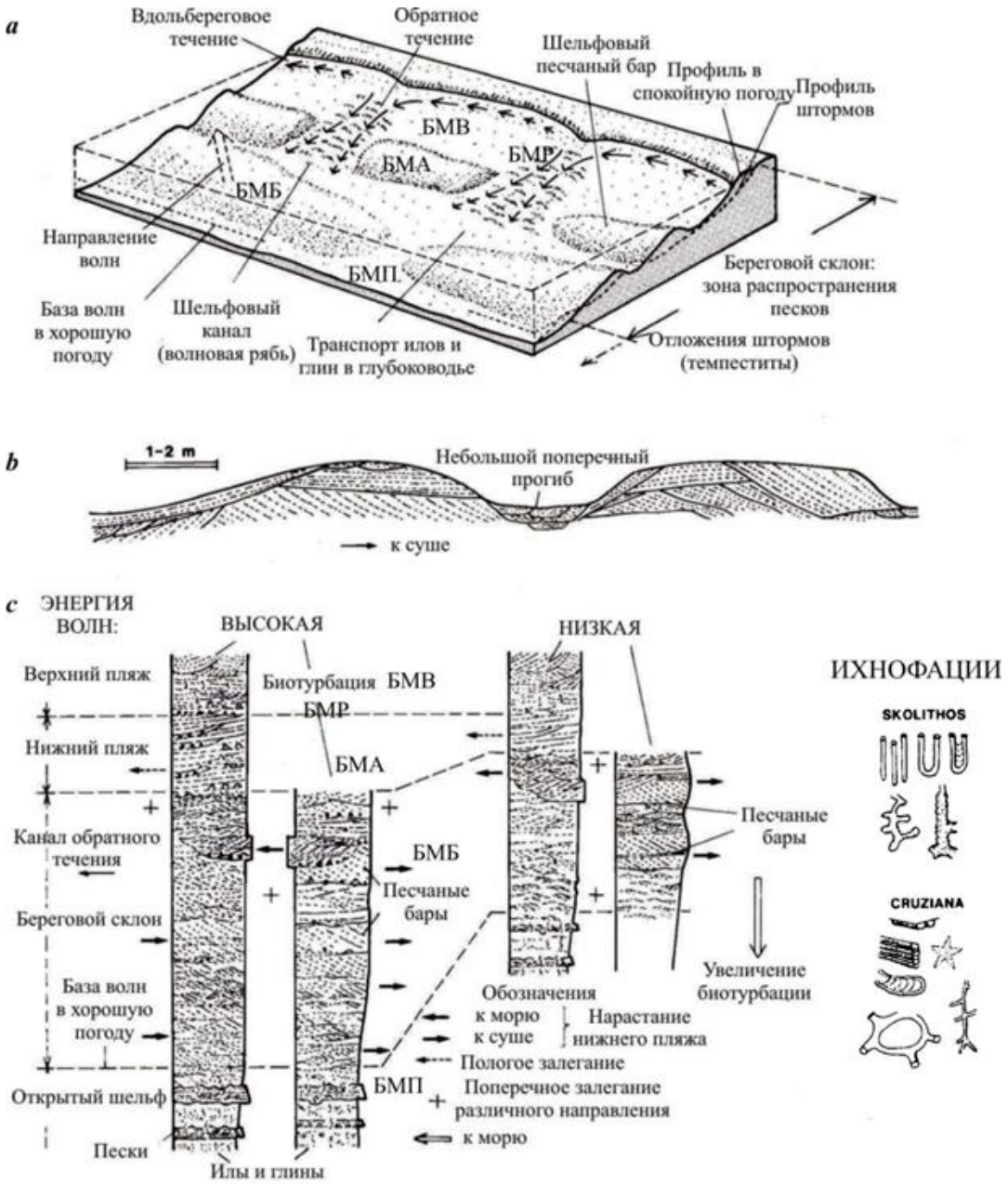


Рис. II.12.11. Модель активно-мелководного терригенного побережья (G. Einsele, 1992, p. 98): *a* – летне-осенний (штормовой) профиль береговой зоны, песчаных баров и разрывных течений; *b* – осадочные текстуры в песчаных барах (см. также рис. II.12.6); *c* – осадочные последовательности при высоком и низком стоянии уровня воды. Индексами показано положение выделяемых фаций (см. ниже)

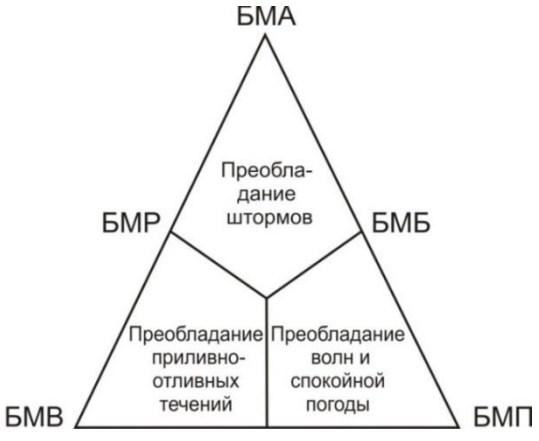


Рис. II.12.12. Положение выделяемых фаций на схеме основных типов шельфовой обстановки (см. также рис. II.12.1)

Фации (обстановки) открытого подвижного бассейнового мелководья: БМВ – волновой ряби, БМР – проксимальных и БМА – дистальных темпеститов, БМБ – баров, БМП – дальней зоны (см. также табл. II.5.5, II.5.8)

II.13. ОТКРЫТЫЙ БАССЕЙН

II.13.1. Зерновые потоки

Особенностью этих отложений является сравнительно небольшая глубина, обусловленная замкнутостью или полузамкнутостью приемного водоема. Пример реконструкции извилистого канала с многоэтапным накоплением и смещением локальных «конусов выноса» приведен на рис. II.13.1., а его актуалистический аналог – на рис. II.13.2.

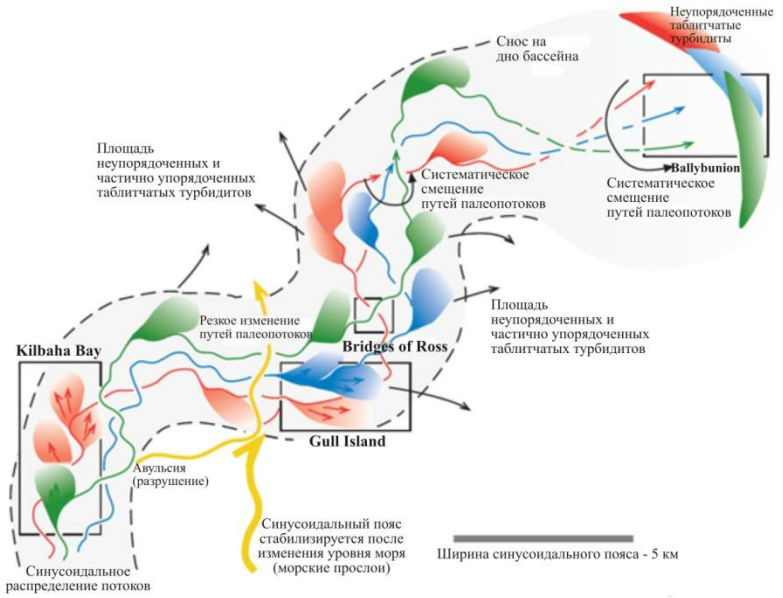


Рис. II.13.1. Концептуальная модель извилистого канала, состоящего из трех чередующихся (мигрирующих) каналов и проходящих в дне приемного бассейна (Lien et. al. 2003). Намюрские слои Ирландии. Подписи под прямоугольниками – названия районов (GullIsland – остров в Западной Атлантике)

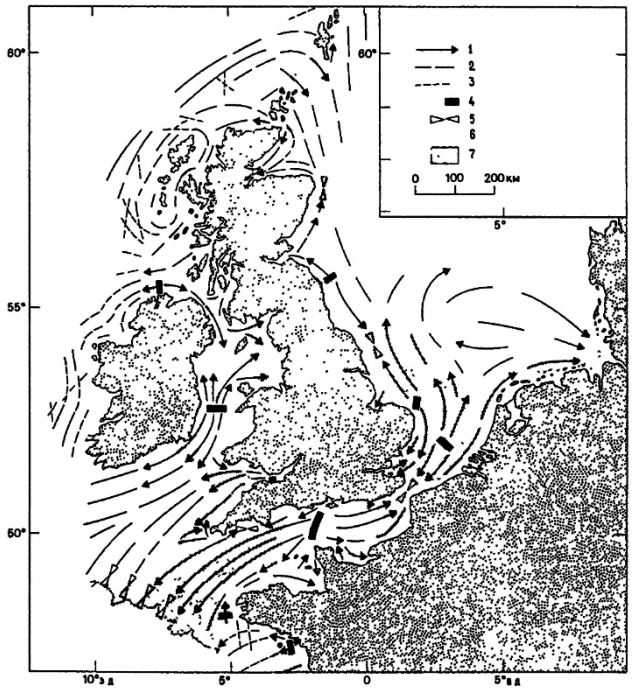


Рис. II.13.2. Распределение путей преимущественной транспортировки песка и их взаимоотношения с основными районами распространения песчаных волн на северо-западе континентального шельфа Европы (Обстановки…, 1990, т. 1, с. 204)

Пути транспортировки песка: *1* – известные; *2* – предполагаемые; *3* – возможные; *4* – участки разгрузки осадков; *5* – участки конвергенции разгрузки; *6* – край шельфа; *7* – основные районы песчаных волн

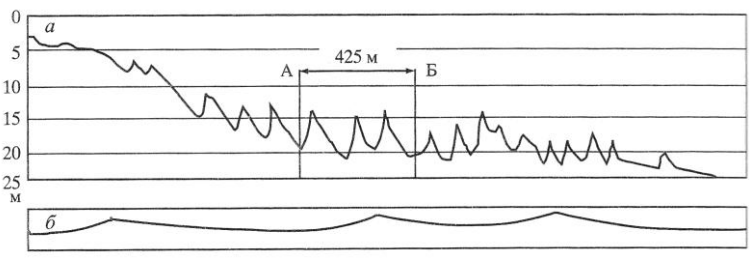


Рис. II.13.3. Эхограмма крупных песчаных волн в проливе Ла-Манш: *а* – с искажением вертикального и горизонтального масштабов, *б* – без искажения масштабов в интервале А-Б (Ю. А. Павлидис, С. Л. Никифоров, 2007, с. 304)

II.13.2. Турбидиты

Турбидитные (мутьевые) потоки различной плотности возникают вследствие разнообразных процессов и перемещаются по склону бассейна по системе глубоководных каньонов в виде суспензии на большие расстояния (десятки – сотни км) до тех пор, пока наклон остается постоянным. На подножье континентального склона происходит их торможение, они формируют наиболее масштабные турбидитные конусы. При этом основное русло начинает разветвляться на отдельные дистрибутивные каналы.

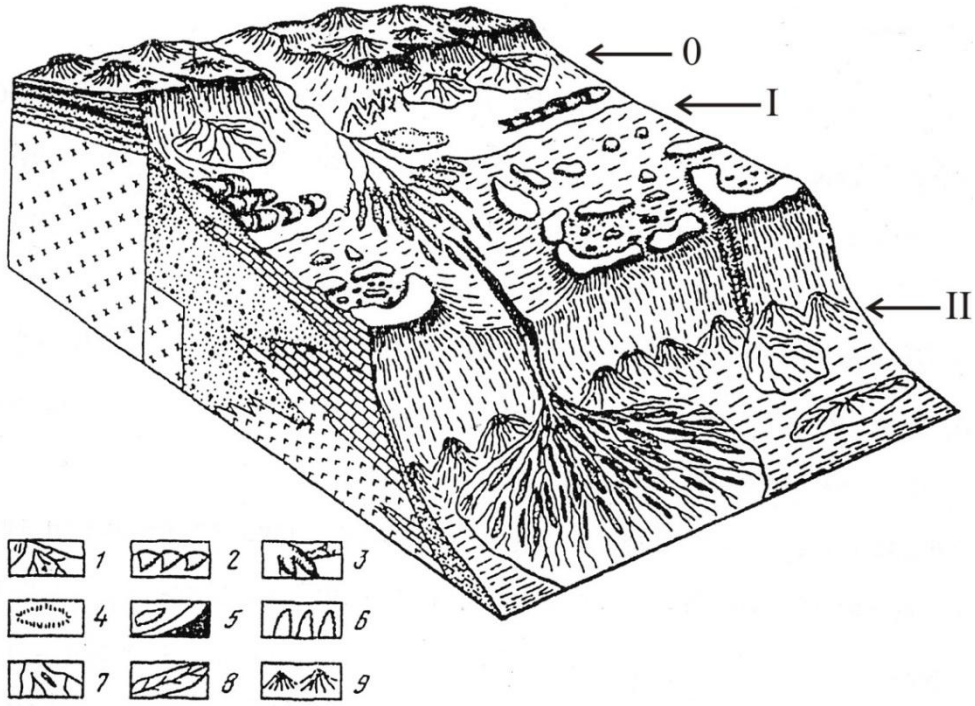


Рис. II.13.4. Блок-диаграмма континентальной окраины пассивного типа, на которой видны осадочные системы двух уровней (главные и второстепенные) (А. И. Конюхов, 1982); уровни лавинной седиментации см. на рис. II.2.6:

1 – отложения пролювиальных конусов выноса; *2* – поля дюн; *3* – дельта небольшой реки и приустьевые бары; *4* – болота прибрежной равнины; *5* – барьерные рифы; *6* – делювиальные отложения на склонах гор; *7* – отложения подводного конуса выноса; *8* – отложения контурных течений (контуриты); *9* – оползневые отложения материкового склона

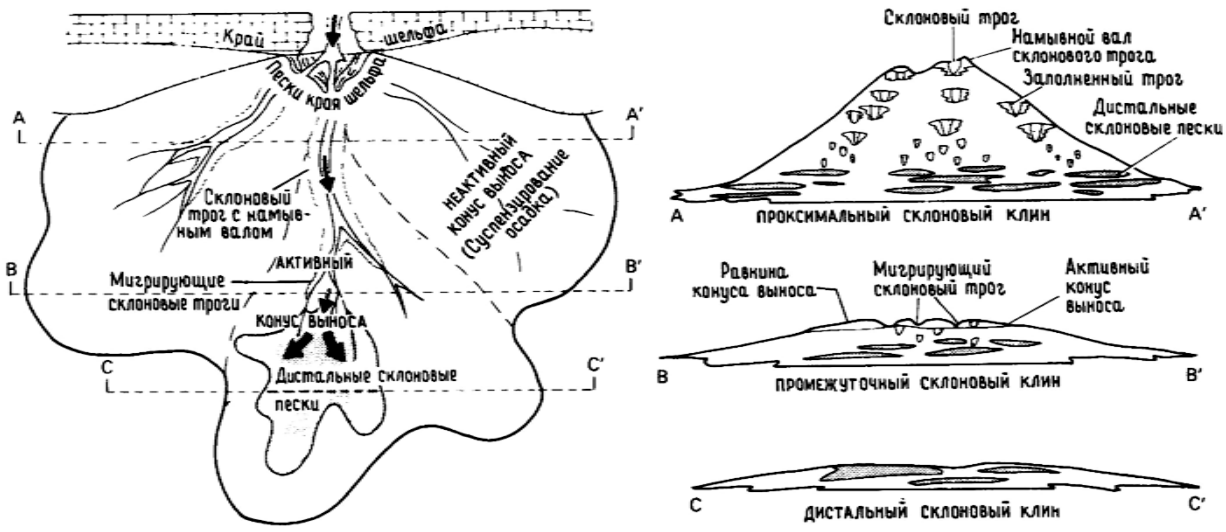


Рис. II.13.5. Пермо-карбоновая группа склоновых отложений Сунтуотер бассейна Мидленд (Обстановки…, 1990, т. 2, с. 134)

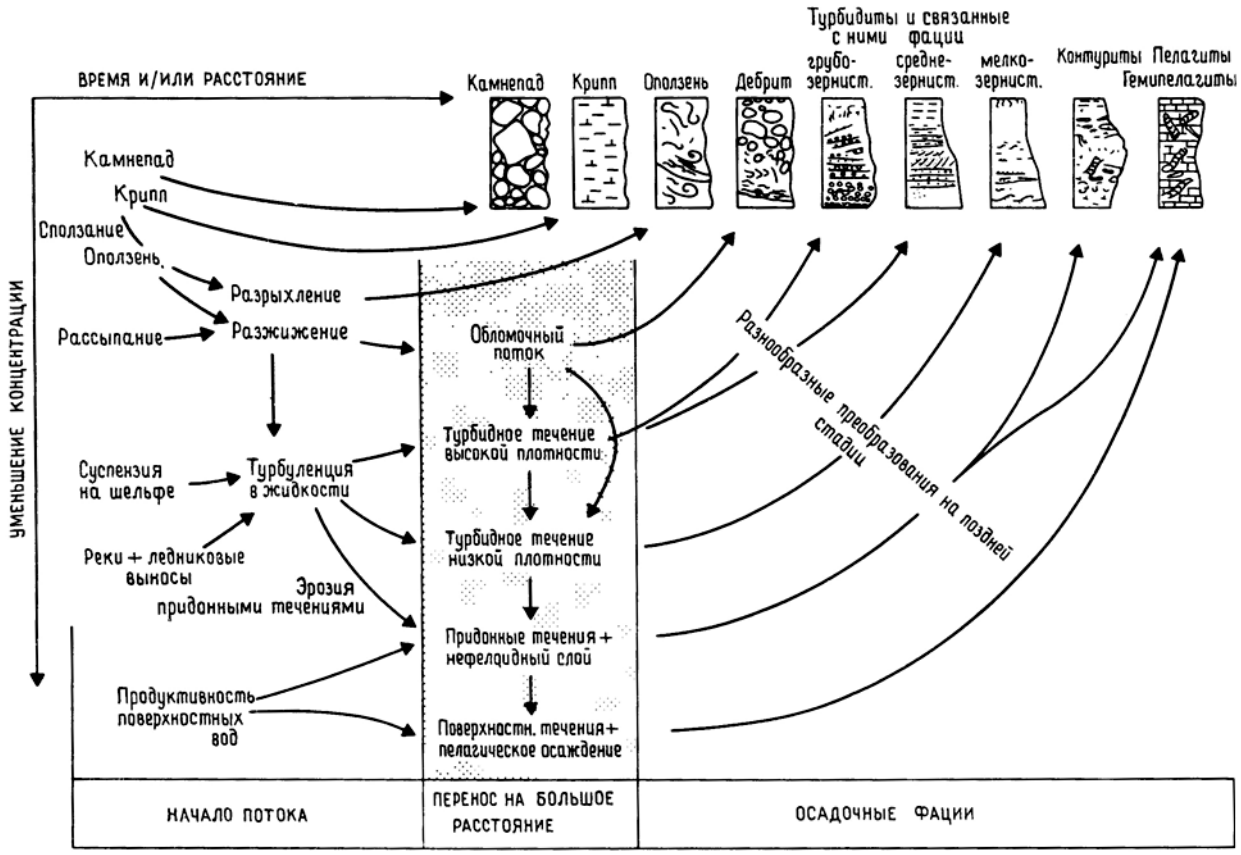


Рис. II.13.6. Модели гравититов (Обстановки …, 1990, т. 2, с. 145)

Возможны взаимоотношения между процессами захвата осадков, их перемещения на большие расстояния и отложения в глубоком море. Координатами являются время и/или расстояние и концентрация потока. Показаны идеализированные модели фаций, образующихся при различных процессах осадконакопления. После отложения осадков может происходить их преобразование, вызываемое течениями, разжижением и биотурбацией

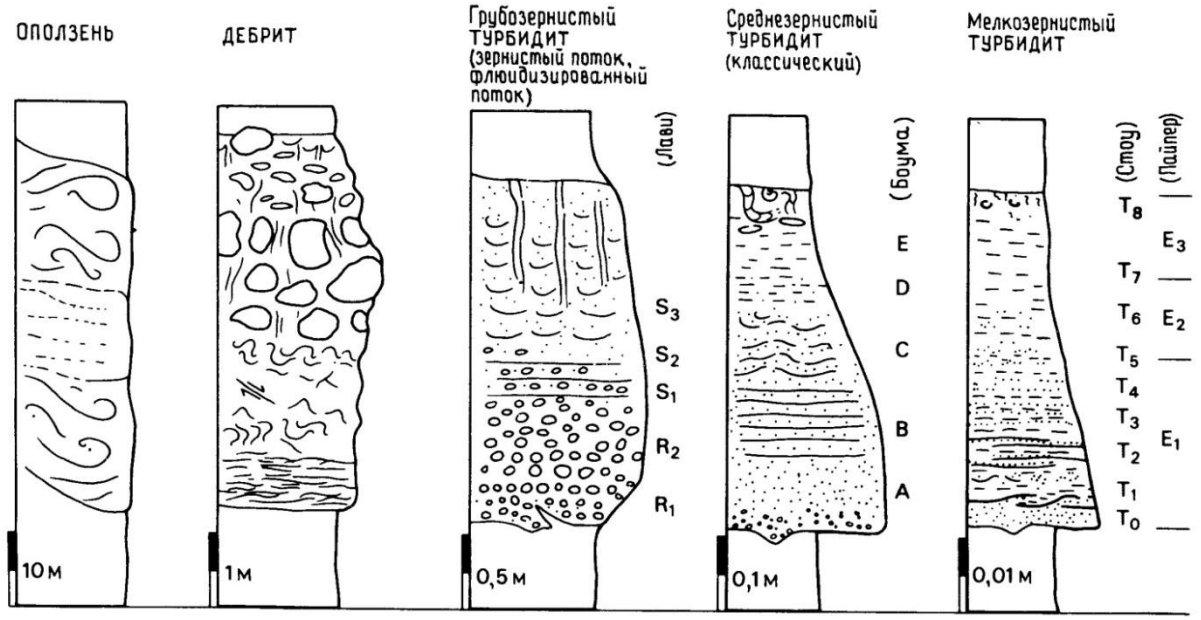


Рис. II.13.7. Модели переотложенных фаций с идеализированной последовательностью структур для оползней, дебритов и турбидитов. Для каждого разреза слева внизу показана мощность типичной единицы, которая фактически может сильно варьировать. Для каждой колонки размерность увеличивается слева направо (D. Stow, 1985); из (Обстановки …, 1990, т. 2, с. 187)

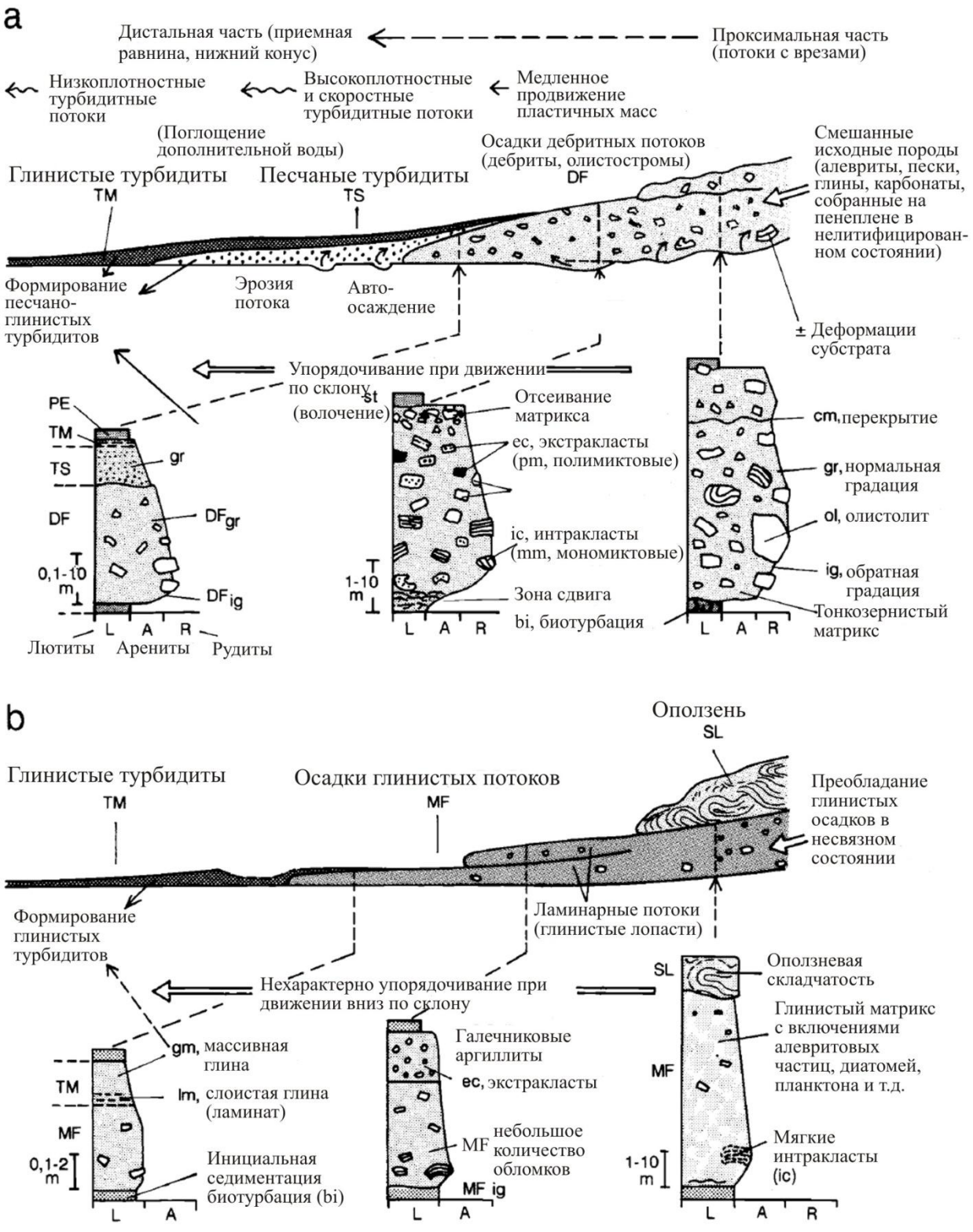


Рис. II.13.8. Концептуальная модель дебритных (a) и глинистых (b) турбидитных потоков (G. Einsele, 1992, p. 213)

II.13.3. Фации океанов

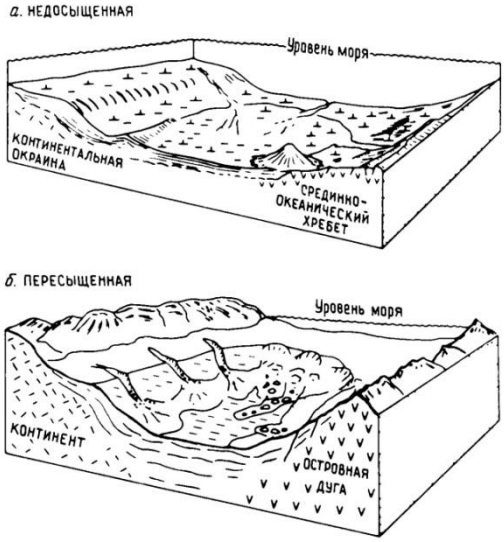


Рис. II.13.9. Модели осадочных обстановок для морских бассейнов: *а* – крупная равнина бассейна в области слабой тектонической активности с низким отношением поставки осадочного материала к площади котловины; *б* – небольшая равнина бассейна в тектонической активной области с высоким отношением объема осадков к площади котловины (D. Stew, 1985); из (Обстановки …, 1990, т. 2, с. 175)

Рис. II.13.10. Фации и разрезы, состоящие из совокупности фаций, характеризующих обстановки склонового шлейфа, конуса выноса и бассейна (E. Mutti, F. Ricci-Luccgi, 1972); из (Обстановки …, 1990, т. 2, с. 184)

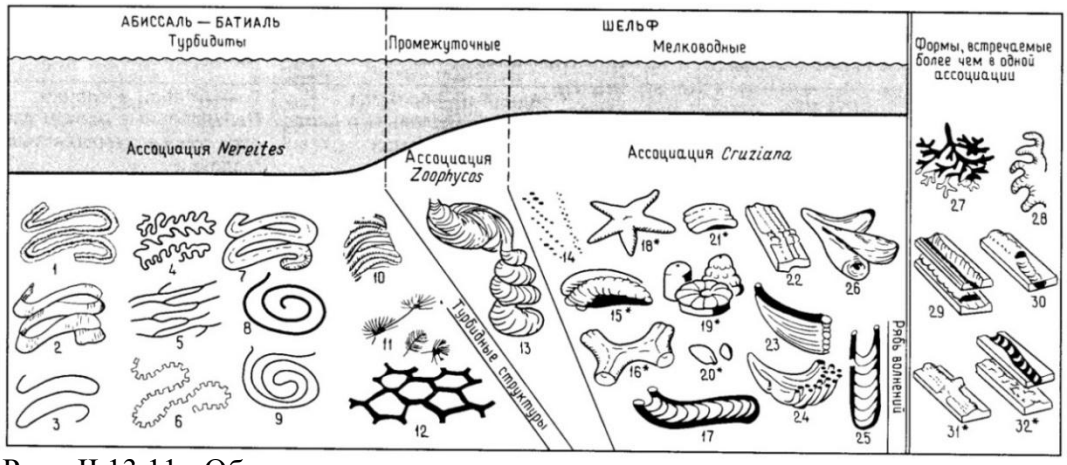


Рис. II.13.11. Обычные ассоциации ископаемых и их значение при выделении обстановок, в особенности при определении глубины бассейна (A. Seilacher, 1967); из (Обстановки …, 1990, т. 2, с. 179): *1* – Nereites S.Str; *2* – Dictoyodora; *3* – Helminthoida; *4* – Cosmorhaphe; *5* – Urohelminthoida; *6* – Paleomeandron; *7* – Scolicia (меандрирующая); *8* – Splrophycus; Spirodesmos; *9* – Spirorhaphe; *10* – Lophoctenium; *11* – Oldhamla; *12* – Palaeodlctyon; *13* – Zoophycos; *14* – следы акропод; *15* – Cruziana;*16* – Thalassinoides, Ophiomorpha; *17* – Rhizocorallium; *18* – Asteracites; *19* – Bergaueria, Conostlchus, Sollcycl; *20* – Lockiea (=Pelecypodichnus); *21* – Curvolithus; *22* – Gyrochorte; *23* – Teichichnus; *24* – Phycodes; *25* – Diplocraterion; *26* – Asterosoma, Rosselia; *27* – Chondrltes; *28* – Phycosiphon; *29* – Scolicia; *30* – Taenidium; *31* – Fucusopsis; *32* – Nereites (Scalarituba)

Таблица II.13.1

Типизация океанских фаций (И. О. Мурдмаа, 1987)

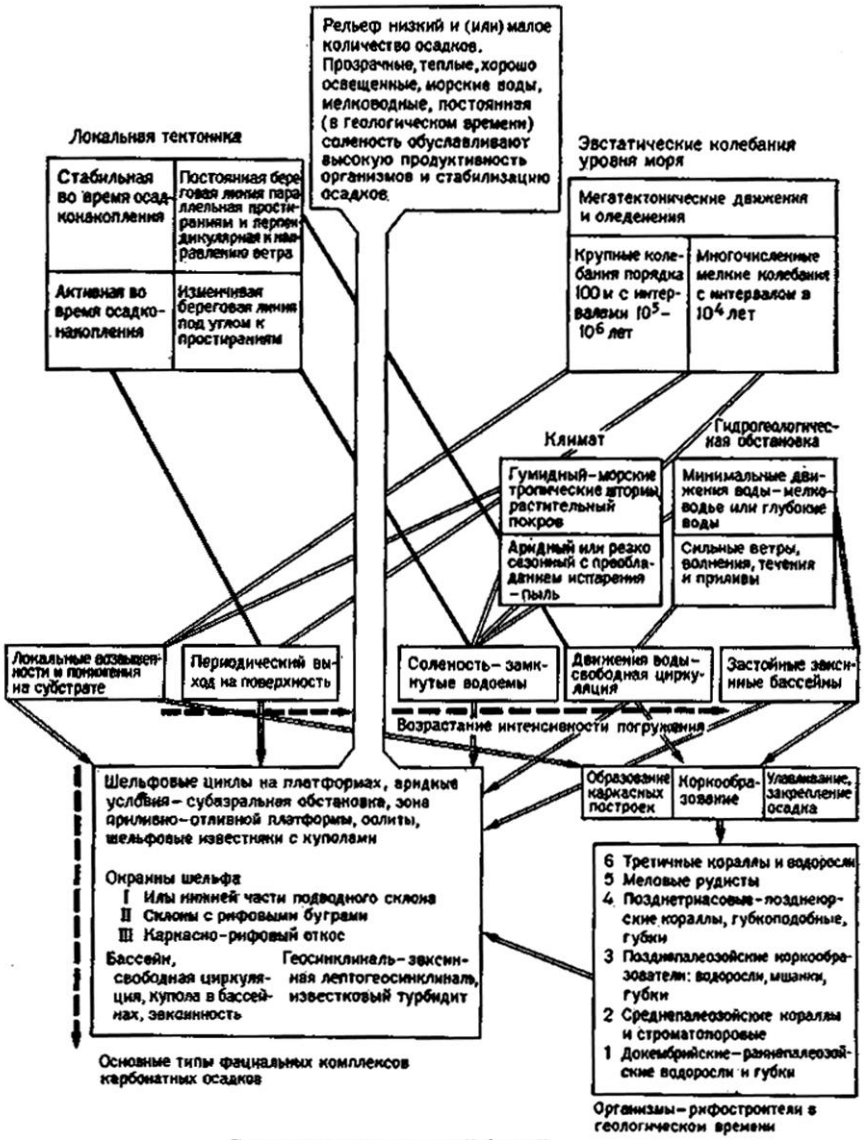
Широтная зональность	Циркумконтинентальная зональность, рельеф и тектоника			
	ПРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ ФАЦИИ (пассивных окраин):			
	Шельф	*Склон*	*Подножие*	*Абиссальная равнина*
Терригенный ряд умеренных и тропических широт	Обломочных, глинисто-обломочных терригенных осадков (гидродинамитов, нефелоидитов) с фациями неотложения	Обломочно-глинистых терригенных осадков (нефелоидитов, гравититов, гемипелагитов, каррентитов) с фациями эрозии и неотложения	Обломочно-глинистых, глинисто-обломочных терригенных осадков (турбидитов, гравититов, контуритов) устойчивой аккумуляции	Глинистых, обломочно-глинистых терригенных осадков (гемипелагитов, турбидитов, нефелоидитов) устойчивой аккумуляции
Терригенный ряд ледовых зон	Обломочных, обломочно-глинистых терригенных осадков (подводно-моренных, ледово-морских, гидродинамитов)	Обломочно-глинистых, глинистых, кремнисто-глинистых терригенных осадков (ледово-морских, айсберговых, гравититов, гемипелагитов)	Обломочно-глинистых, глинистых, кремнисто-глинистых осадков (ледово-морских, айсберговых, гемипелагитов, турбидитов, гравититов, контуритов)	Глинистых, обломочно-глинистых, кремнисто-глинистых, терригенных осадков (ледово-морских, айсбергового, гемипелагитов, турбидитов)
Карбонатный ряд тропических и субтропических широт	Бентогенных известковых осадков (автохтонных или перемытых) с участием хемогенных карбонатов	Планктоногенных и бентогенно-планктоногенных известковых осадков (гемипелагитов, нефелоидитов, гравититов)	Планктоногенных известковых и мергельных осадков (гемипелагитов, турбидитов, контуритов)	Планктоногенно-терригенных известково-глинистых осадков (гемипелагитов, турбидитов)
Апвеллинговый ряд аридных зон	Сапропелево-диатомовых, фосфатных, глауконитовых, бентогенно-фораминиферовых осадков (гемипелагитов, хемогенно-диагенетических образований)	Планктоногенных известковых, глауконитово-известковых и мергельных осадков (гемипелагитов, нефелоидитов, гравититов)	Фации подножия слабо выражены	Планктоногенно-терригенных известково-глинистых осадков (гемипелагитов, турбидитов)
	ПЕЛАГИЧЕСКИЕ ФАЦИИ:			
	Выше КГК (фациальный ряд растворения $CaCO_3$*)*		*Ниже КГК (полное растворение* $CaCO_3$*)*	
Фации продуктивных умеренных (гумидных) зон	Планктоногенных известковых и мергельных осадков с биогенным SiO_2 (пелагитов, каррентитов)		Кремнисто-глинистых и кремнистых диатомовых осадков (пелагитов, каррентитов)	
Фации продуктивной экваториальной (гумидной) зоны	Планктоногенных известковых и мергельных осадков с биогенным SiO_2 (пелагитов, каррентитов)		Кремнисто-глинистых диатомово-радиоляриевых осадков и миопелагических глин (пелагитов, каррентитов) с железо-марганцевыми конкрециями	
Фации непродуктивных субтропических (аридных) зон	Планктоногенных известковых и мергельных осадков (пелагитов, каррентитов)		Эвпелагических эоловых и аутигенных (цеолитовых) глин с железо-марганцевыми конкрециями, миопелагических глин (пелагитов, каррентитов, автохтонных образований)	
	ФАЦИИ ОКРАИННО-ОКЕАНСКИХ ПОДВИЖНЫХ ПОЯСОВ:			
	Желоба	*Островные дуги*	*Задуговые бассейны*	
Фации умеренных продуктивных (гумидных) зон	Кремнисто-глинистых, кремнисто-туффитовых, эдафогенных осадков (гравититов, гемипелагитов, турбидитов) с фациями эрозии и неотложения	Вулканокластических и вулканотерригенных осадков (гидродинамитов, пирокластитов, гравититов) с фациями неотложения	Кремнисто-глинисто-туффитовых, глинисто-туффитовых, кремнисто-глинистых терригенных, кремнистых диатомовых осадков (гемипелагитов, турбидитов)	
Фации тропических и субтропических (аридных) зон	Глинисто-туффитовых, эдафогенных осадков (гравититов, гемипелагитов, пелагитов) с фациями эрозии и неотложения	Вулканокластических, вулканотерригенных, известково-туффитовых, известковых бентогенных осадков (гидродинамитов, автохтонных, гравититов)	Известково-туффитовых, известковых планктоногенных, глинисто-туффитовых, миопелагических глинистых осадков (гемипелагитов, турбидитов, пелагитов) с участием металлоносных осадков	
Фации экваториальной продуктивной (гумидной) зоны	Кремнисто-глинистых, кремнисто-туффитовых, эдафогенных осадков (гемипелагитов, гравититов, турбидитов) с фациями эрозии и неотложения	Вулканокластических, вулканотерригенных, известково-туффитовых, известковых бентогенных осадков (гидродинамитов, автохтонных, гравититов)	Мергельно-туффитовых, глинисто-кремнисто-туффитовых, известково-глинистых, глинистых терригенных осадков (гемипелагитов, нефелоидитов, турбидитов)	
	ФАЦИИ СРЕДИННО-ОКЕАНСКИХ ПОДВИЖНЫХ ПОЯСОВ:			
	Осевой рифт	*Фланг*	*Трансформные разломы*	
Фации продуктивных (гумидных) зон	Подушечных и покровных лавовых потоков, вулканокластических осыпей, гидротермальных образований, известковых и известково-туффитовых осадков с биогенным SiO_2 (эффузивов, гравититов, пелагитов)	Известковых, кремнисто-известковых, кремнисто-мергельных планктоногенных, экзогяционно-осадочных металлоносных осадков (пелагитов, биотурбидитов, каррентитов)	Эдафогенных, эдафогенно-известковых, кремнисто-известковых осадков (турбидитов, гравититов, пелагитов, каррентитов) с обнажениями глубинных пород	
Фации непродуктивных (аридных) зон	То же, но без биогенного SiO_2	Известковых, мергельных планктоногенных, экзогяционно-осадочных металлоносных (пелагитов, биотурбидитов, каррентитов)	Эдафогенных, эдафогенно-известковых, известковых планктоногенных осадков (турбидитов, гравититов, пелагитов, каррентитов) с обнажениями глубинных пород	

II.14. МЕЛКОВОДНЫЕ МОРСКИЕ КАРБОНАТНЫЕ ОБСТАНОВКИ

II.14.1. Общие представления

Таблица II.14.1

Взаимоотношения параметров, контролирующих и видоизменяющих карбонатонакопление (Дж. Л. Уилсон, 1980, с. 388)



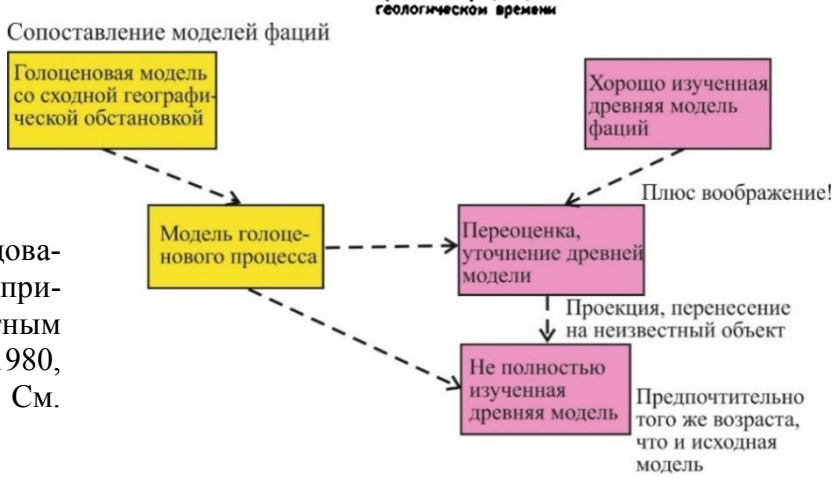


Рис. II.14.1. Последовательность исследований применительно к карбонатным фациям (Дж. Л. Уилсон, 1980, с. 398, с дополнением). См. также рис. II.2.1

Рис. II.14.2. Взаимосвязь терригенных и карбонатных отложений (по Дж. Л. Уилсону, 1980, с. 222, с изменениями):

Стратиграфическая модель фаций одной циклотемы Северного Техаса, от источника терригенного материала в орогенном поясе Уачита на востоке, через шельф, к карбонатным постройкам на краю прогиба Мидленд (расстояние около 200 км). По модели Ван-Сиклена (D. C. Van Siclen, 1958), модифицированной Брауном (L. F. Brown, 1972). Дельтовый комплекс на востоке обусловлен разрастанием условий седиментации, связанным с непрерывным погружением и различиями в уплотнении, которые определяются накоплением пород на шельфе. Основные черты строения циклотемы сходны с йоридейлскими циклами, с дискретными морскими известняковыми слоями у основания, перекрытыми морскими глинами, сменяющимися вверх по разрезу мелководными толщами с песчаниками каналов и красноцветными глинами

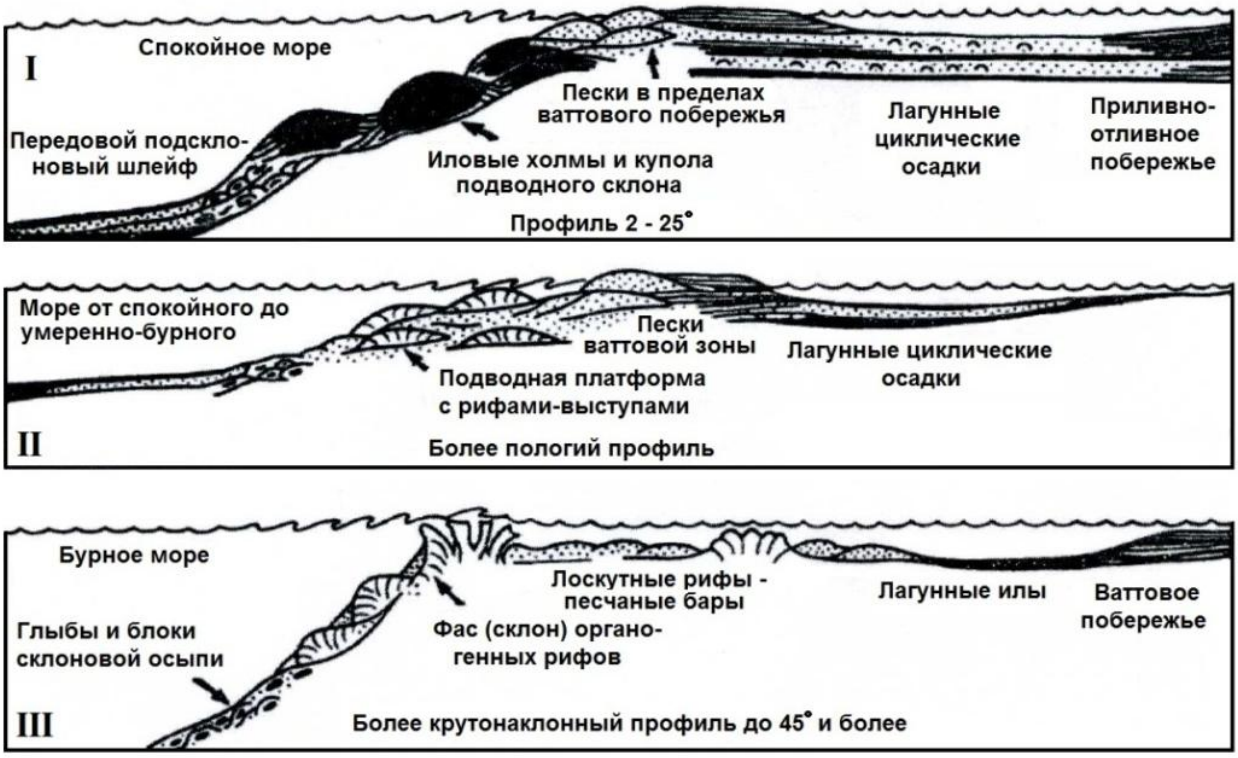


Рис. II.14.3. Три типа карбонатных окраин шельфа: I – с аккумуляцией известкового ила в нижней части склона; II – с системой бугров склона; III – с каркасно-рифовым фасом (Дж. Л. Уилсон, 1980, с. 377)

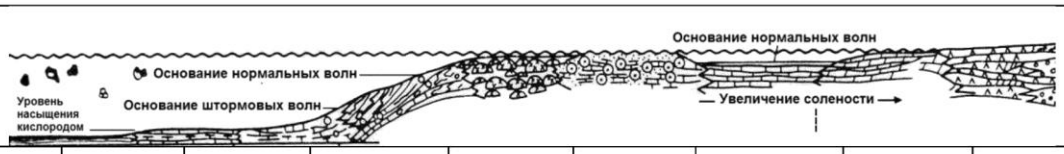
Схематич. разрез									
Номера фаций	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Общая обстановка и фации	Бассейн (застойный или эвапоритовый): а) тонкий обломочный материал; б) карбонаты; в) эвапориты	Неритовая открытого моря: а) карбонаты; б) сланцы	Карбонаты подошвы склона	Склон: а) слоистые тонкозернистые осадки со следами оползания; б) участки детритового и известкового песка; в) массы известкового ила	Органические постройки («рифы»): а) баундстоны; б) инкрустирующие массы; в) бафлстоны	Пески края платформы а) намывные известковые пески б) острова дюнных песков	Открытая платформа: а) тела известковых песков; б) участки вакстонов и аргиллитов, биогермы; в) участки терригенных осадков	Замкнутая платформа: а) биокластические вакстоны, лагуны и заливы; б) литобиокластические пески в приливно-отливных каналах; в) известковые илы на приливно-отливных равнинах; г) тонкозернистые терригенные кластические прослои	Платформенные эпапориты: а) желваковый ангидрит и доломиты на засоленной равнине; б) тонкослоистые эвапориты в высыхающих прудах
Литология	Темные сланцы или алевролиты, тонкие известняки (застойный бассейн). Эвапориты заполняют бассейн, если происходит высыхание	Известняки с обильными ископаемыми и прослоями кремней	Тонкозернистые карбонаты, местами окремнелые	Различная в зависимости от турбулентности воды на склоне, осадочные брекчии и известковые пески	Массивные известняки, доломиты	Калькаренит-оолитовые известковые пески или доломиты	Различные карбонатные и терригенные породы	Часто доломиты и доломитовые известняки	Неправильно- слоистые доломиты и ангидриды, местами переходящие в красноцветные породы
Цвет	Темно-коричневый, черный и красный	Серый, зеленый, красный, коричневый	От темного до светлого	От темного до светлого	Светлый	Светлый	От темного до светлого	Светлый	Красный, желтый, коричневый
Тип зерен и осадочная структура	Известковые аргиллиты, тонкие кальцисилтиты	Вакстоуны биокластические и из целых раковин, иногда кальцисилтиты	Преимущественно тонкие аргиллиты иногда с кальцисилтитами	Известковые алевролитовые и биокластические вакстоны, пакстоны, литокласты	Баундстоны и карманы грейнстонов и пакстонов	Грейнстоны, хорошо сортированные и окатанные	Различные структуры в грейнстонах и аргиллитах. Биотурбация	Сгустковые пеллетовые аргиллиты и грейнстоны, полосчатые аргиллиты, более крупнозернистые вакстоны в каналах	
Напластование и осадочная текстура	Очень тонкая слоистость (мм). Ритмичная слоистость, иногда косая слоистость ряби	Биотурбированные, тонко- и среднеслоистые с желваковыми слоями	Незначительная ламинация. Часты массивные линзы сортированных осадков. Литокласты и экзотические глыбы	Следы оползания, участками слоистые, склоновые постройки, экзотические глыбы	Массивные органические структуры и открытый каркас с пустотами. Инъекционные дайки. Иногда строматаксис	Средняя и крупная косая слоистость	Интенсивная биотурбация	Пятна, тонкая строматолитовая слоистость, доломитовые корки. Косослоистые пески в каналах	Ангидрит по гипсу, желваковые розетки, пластинчатость, неправильная слоистость, каличе
Терригенные обломочные компоненты	Кварцевый алеврит и глинистые сланцы	Кварцевый алеврит и глинистые сланцы	Небольшое количество сланцев, алеврита и тонкозернистого песчаника	Небольшое количество сланцев и алеврита	Отсутствуют	Местами кварцевый песок	Терригенные и карбонатные хорошо сегрегированные слои	Возможно переслаивание терригенных и карбонатных слоев	Эолиниты и терригенные прослои могут иметь существенное значение
Биота	Только планктон и нектон, иногда отложения массовой гибели	Разнообразная раковинная фауна и следы жизнедеятельности, инфауна и эпифауна	Биокластический детрит, в основном с верхней части склона	Колонии целых ископаемых и биокластический детрит	Крупные каркасные колониальные постройки и связанные с ними сообщества	Немного эндемичных организмов. Специализированное сообщество. Сильно абрадированные обломки раковин из других частей платформы	Преобладают наиболее толерантные группы (двустворчатые: гастроподы, губки, фораминиферы, водоросли). Менее толерантные группы (цефалоподы, брахиоподы и иглокожие) часто угнетены	Бедная фауна. В основном гастроподы-соскабливатели, водоросли, некоторые фораминиферы (милиолиды) и остракоды	Практически одни строматолитовые водоросли

Рис. II.14.4. Пояса стандартных фаций (Дж. Л. Уилсон, 1980, с. 40-43)

II.14.2. Побережья с карбонатной седиментацией

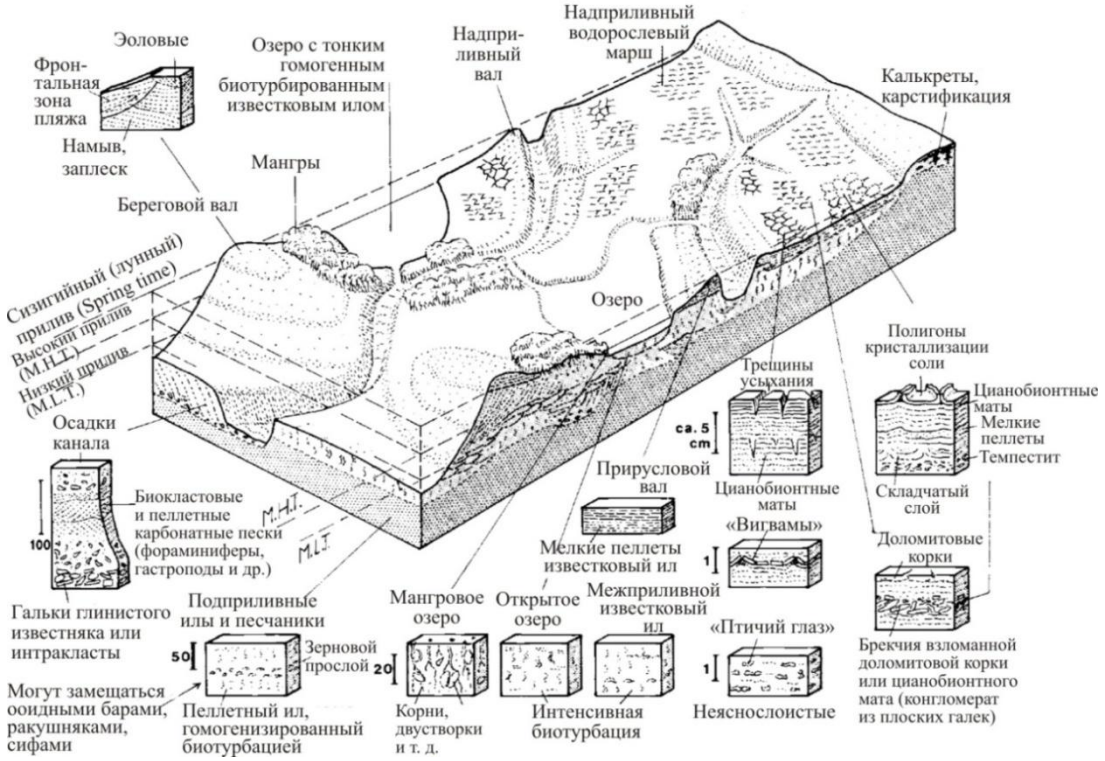


Рис. II.14.5. Седиментационная модель приливно-отливной отмели на карбонатном шельфе (гумидный климат) (G. Einsele, 1992, p. 117)

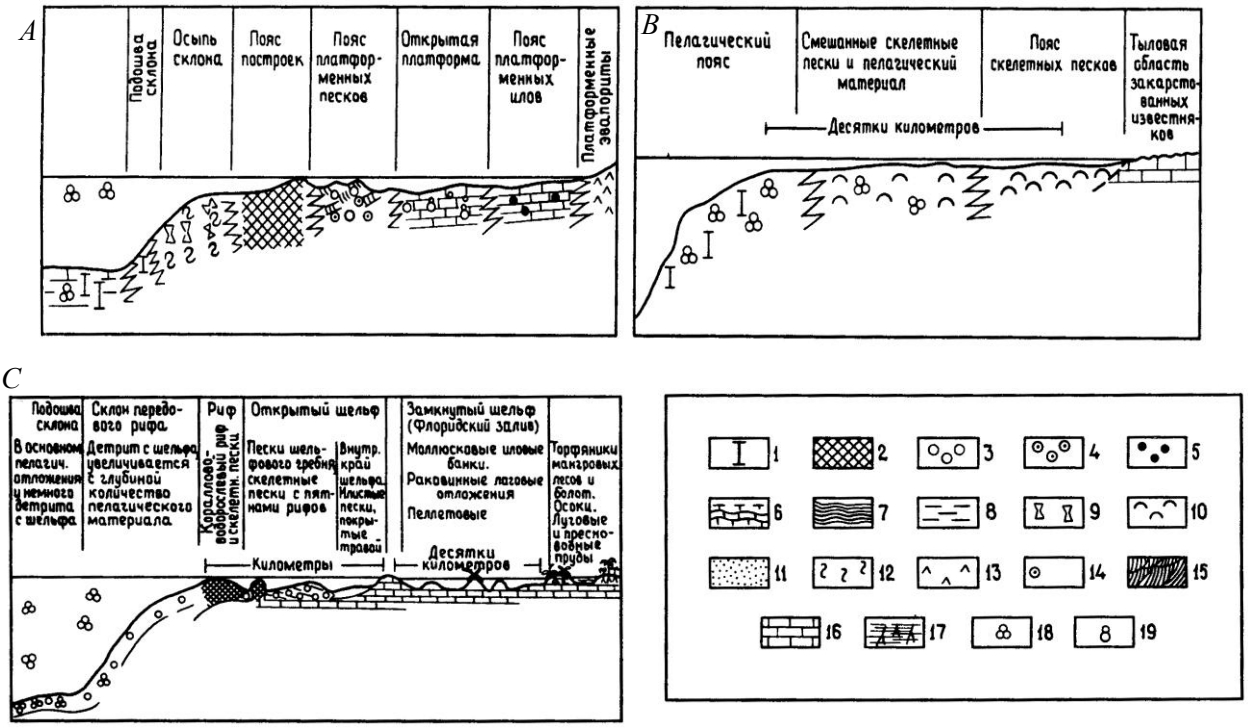


Рис. II.14.6. Сравнительные модели современных и древних фациальных поясов (Обстановки …, 1990, т. 2, с. 27): *A* – пояс стандартных фаций Уилсона; *B* – открытый шельф (рамп) современного полуострова Юкатан; *C* – идеализированный шельф полуострова Флорида. *1* – меловые известковые илы; *2* – постройки; *3* – известковые пески (недифференцированные); *4* – оолитовые известковые пески; *5* – пеллетовые осадки (в основном известковые илы); *6* – мергели и прослои известняков; *7* – битуминозные сланцы; *8* – аргиллитовые прослои; *9* – известковые конгломераты и интракласты; *10* – скелетные пески; *11* – терригенные пески; *12* – оползни; *13* – эвапориты; *14* – шамозитовые и сидеритовые железняки; *15* – косая слоистость; *16* – недифференцированные карбонаты; *17* – торф; *18* – пелагический материал; *19* – грейнстоны или агрегаты

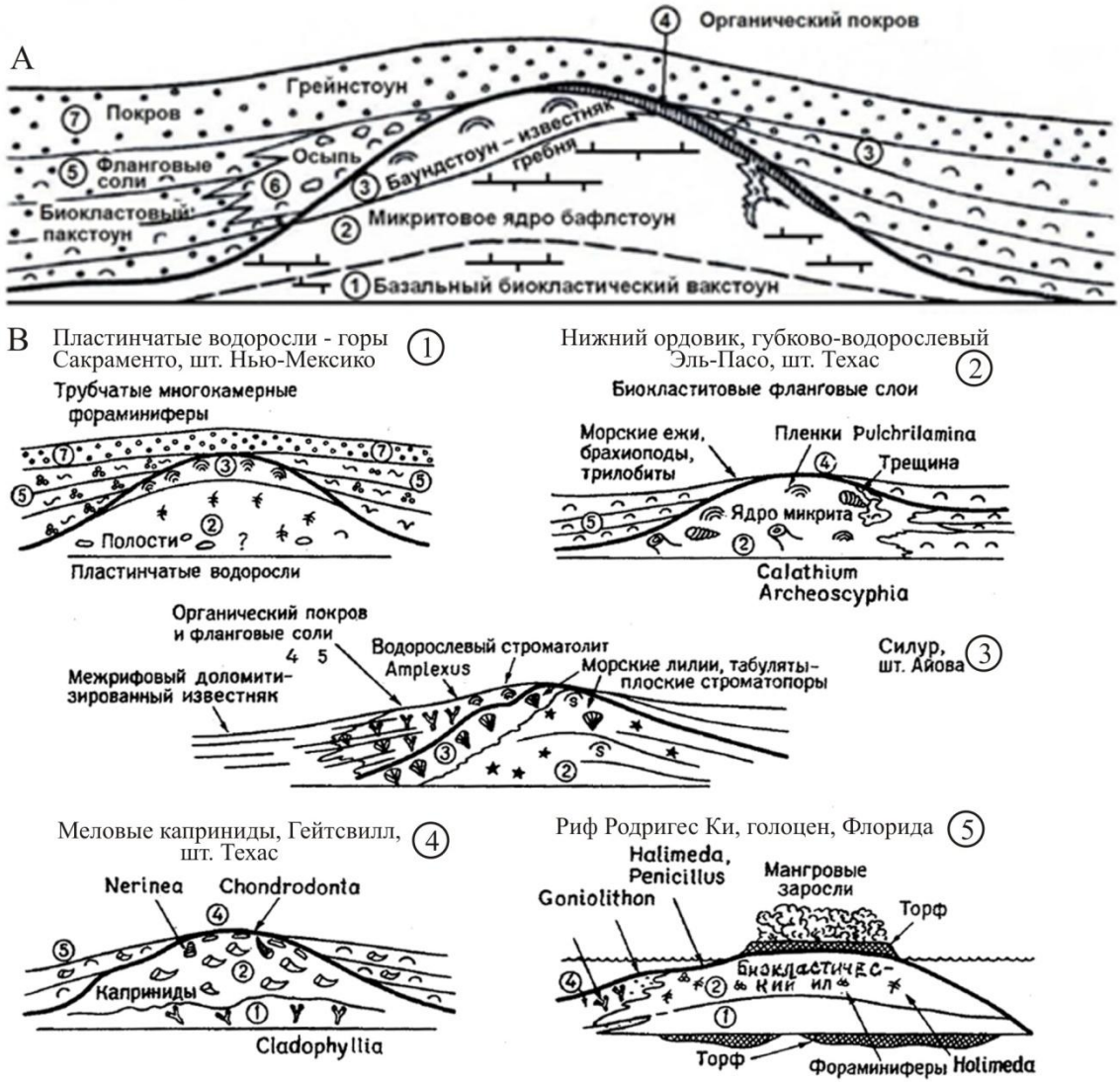


Рис. II.14.7. Карбонатные купола (холмы) (Дж. Л. Уилсон, 1980, с. 383-384):

А – идеализированная модель с семью широко распространенными фациями. Данная последовательность формируется, когда постройка в процессе роста достигает базиса действия волн и контролируется такими факторами, как меняющаяся скорость поступления осадков, скорость опускания и гидрологические условия;

В – пять примеров (1 – 5), показывающих различные последовательности в смене фаций при росте куполов

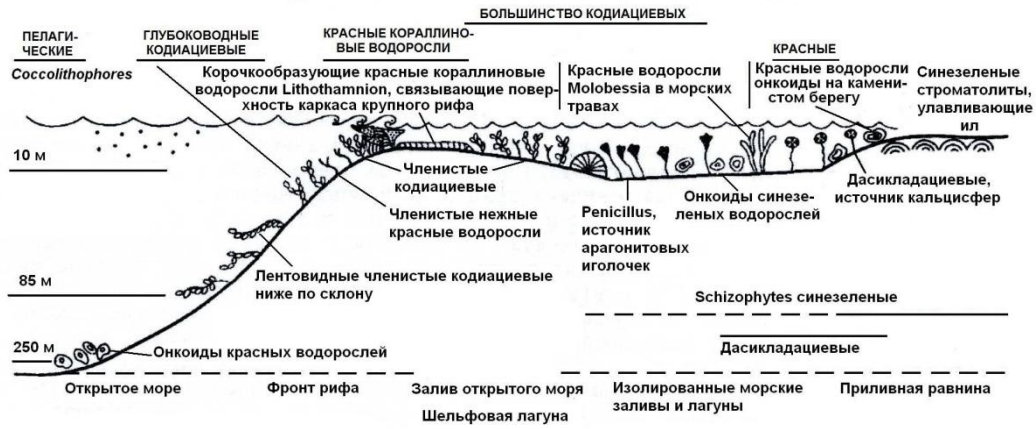


Рис. II.14.8. Экология известковых морских водорослей; взаимоотношения обстановок вдоль идеализированного профиля окраины шельфа с карбонатным осадконакоплением (Дж. Л. Уилсон, 1980, с. 91)

II.14.3. Рифы

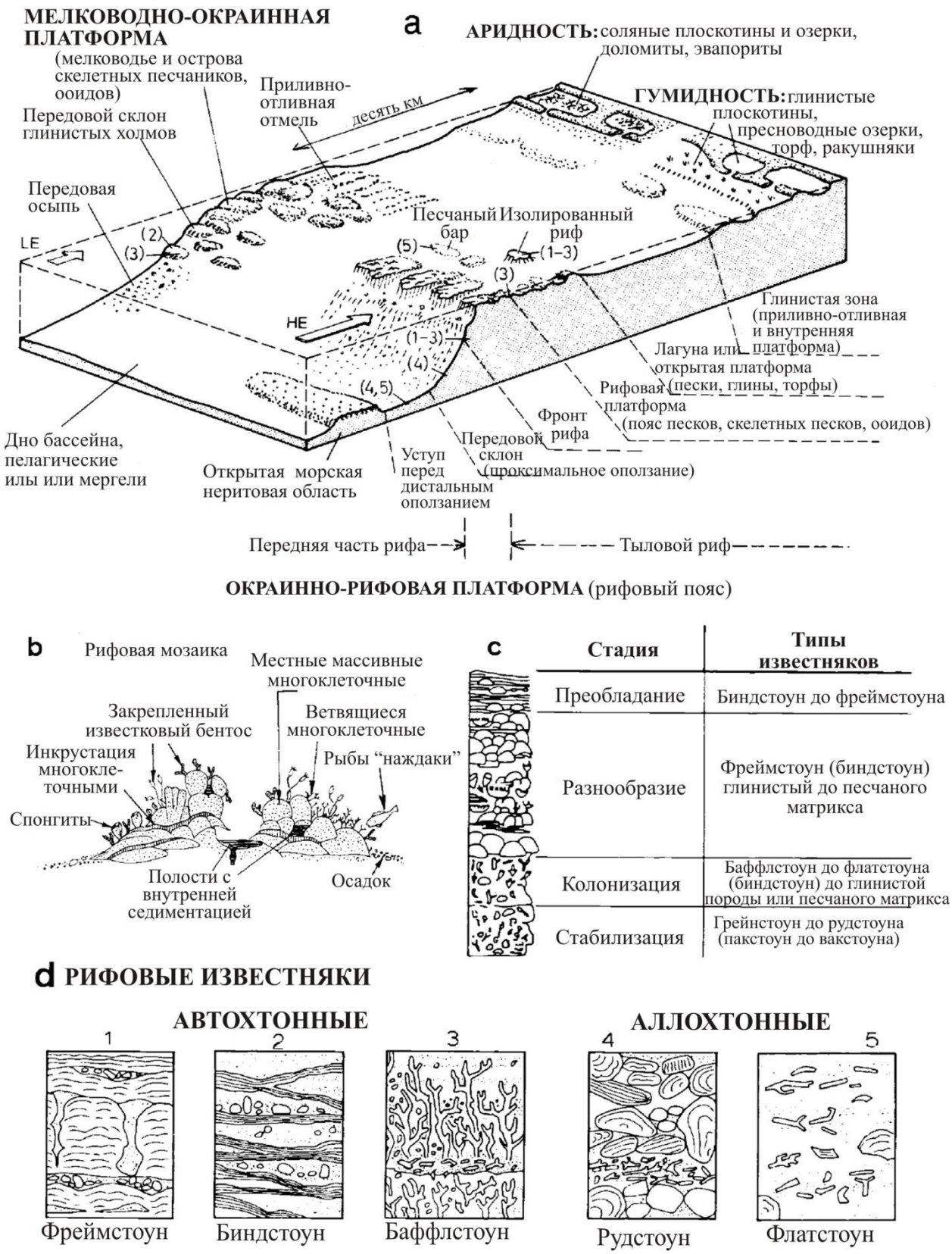


Рис. II.14.9. Топография и фациальные зоны окраины мелководной платформы с рифовыми постройками, при низкой (LE) и высокой (HE) энергетике процесса (G. Einsele, 1992, p. 139): a – общий вид, b – детали рифовой модели, c – стадии роста рифа, d – номенклатура известняков

Рис. II.14.10. Терминология и типы пород, характерные для рифовой постройки, а также условия обитания и морфология рифостроителей (P. A. Scholle et al, 1983); из (Геология…, 2008, с. 134)

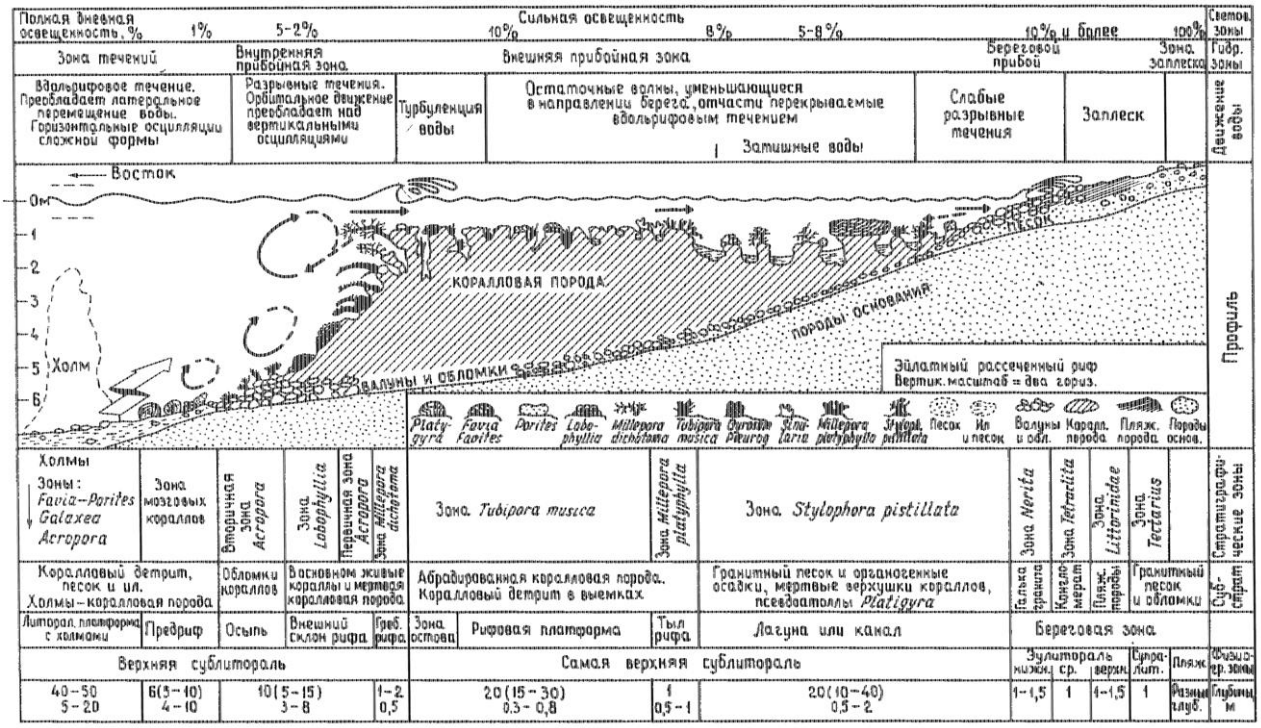


Рис. II.14.11. Профиль через северный край рифа Эйлат, показывающий основные экологические зоны и контролирующие их факторы (H. Mergner, 1971); из (Обстановки…, 1990, т. 2, с. 22)

II.15. ИНЫЕ ОБСТАНОВКИ

II.15.1. Красноцветные и пестроцветные толщи

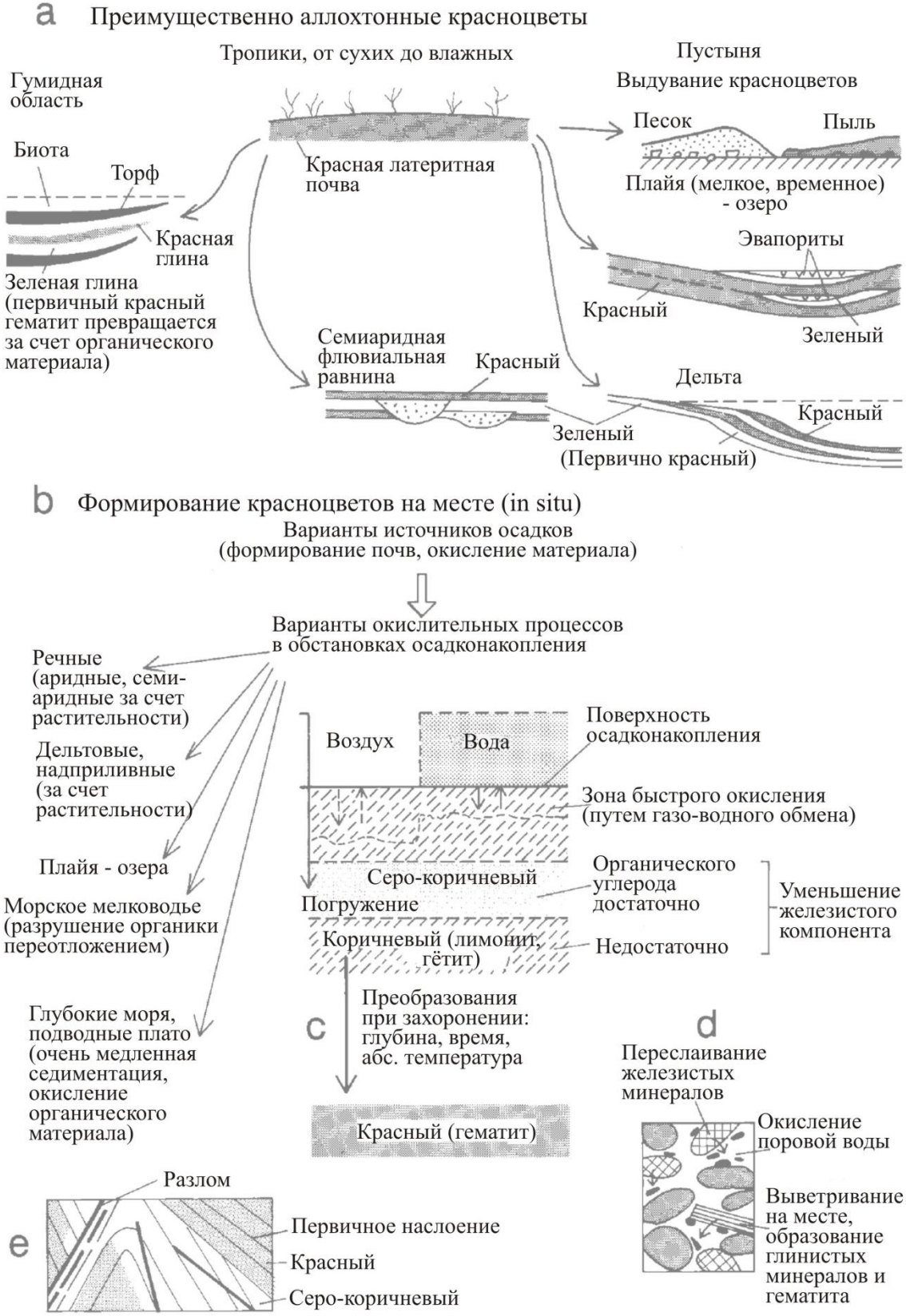


Рис. II.15.1. Варианты происхождения красноцветов (G. Einsele, 1992, p. 248):

a – аллохтонные; b – автохтонные; c – трансформация коричневого лимонита и гётита в красный гематит; d – переслаивание железистых минералов за счет окисления поровой воды; e – вторичное изменение (восстановление) цвета за счет переработки отложений вблизи разломов

Таблица II.15.1

Процессы седименто- и литогенеза семейства гумидных ассоциаций

(В. С. Ерофеев, Ю. Г. Цеховский, 1982, с. 200-201)

Ассоциация	Мобилизация	Транспортировка	Седиментация	Диагенез
Пестроцветная гематит-каолиновая	Интенсивное гумидное химическое выветривание и формирование мощных элювиальных покровов (каолиновых, местами латеритных кор выветривания	Перенос преимущественно тонкого зрелого по составу кварц-каолинового, местами латеритного материала. Крайне высокие объемы вещества, мигрирующие в растворах и коллоидах	Отложения аллювиально-пролювиальных равнин; широкое развитие мощных гумидных пестроцветных почв и горизонтов выветривания. Накопление преимущественно тонких осадков. Относительно слабое проявление процессов механической дифференциации транспортируемого материала. Полное разложение органического вещества	Преобладает субаэральный диагенез и гумидное субсинхронное выветривание
Железисто-карбонатная	Ослабленное химическое и физическое выветривание. Формирование гумидных почв, местами кор выветривания (каолинит-смектит-гидрослюдистых)	Перенос преимущественно тонкого, полиминерального по составу, обломочного и глинистого материала. Высокие объемы вещества, мигрирующие в растворах и коллоидах	Отложения озерно-болотных равнин, лишенных торфонакоплений; широкое развитие гумидных пестроцветных почв. Накопление преимущественно тонких осадков. Часто проявление процессов механической дифференциации транспортируемого материала и накопление хемогенных карбонатных илов. Разрушение основной массы органического вещества, местами его незначительное захоронение	Субаэральный и субаквальный диагенез
Углисто-сидеритколчеданная	Преимущественно физическое и ослабленное химическое выветривание. Формирование гумидных почв (в основном хлорит-смектит-гидрослюдистого состава)	Перенос тонкого и грубого преимущественно полиминерального по составу, обломочного и глинистого материала. Относительно низкие объемы вещества, мигрирующие в растворах и коллоидах	Отложения болотно-озерно-аллювиальных равнин, часто с торфонакоплением, а также речных долин, горных и предгорных впадин (с болотно-озерно-аллювиальными осадками). Относительно редкие и маломощные почвы. Накопление грубых и тонких осадков, часто проявление процессов механической дифференциации транспортируемого материала; химическая садка подавлена обилием обломков. Интенсивное захоронение органического вещества в осадках	Преобладает субаквальный диагенез
Грубообломочная сероцветная	Преимущественно физическое выветривание с маломощными гумидными почвами (в основном гидрослюдистого или хлоритового состава)	Перенос преимущественно грубого полимиктового по составу обломочного материала. Крайне низкие объемы вещества, мигрирующие в растворах и коллоидах	Отложения горных и предгорных впадин, горных речных долин (с аллювиальными, местами озерными осадками). Накопление преимущественно грубого обломочного материала. Преобладают процессы физической дифференциации транспортируемого материала, химическая садка подавлена обилием обломков. Органическое вещество разубожено большой массой обломков	Преобладает субаквальный диагенез

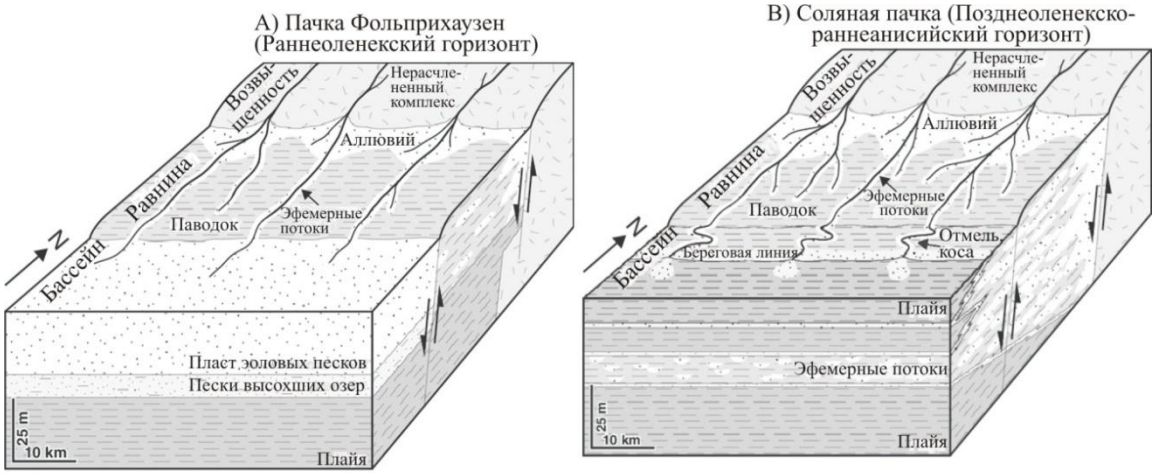


Рис. II.15.2. Смена обстановок осадконакопления пёстрых песчаников в северогерманском триасовом бассейне (M. Olivarius e a., 2015): А – пачка отлагалась в аридных условиях и бóльшая часть песка поставлена с юга эоловой активностью; В – пачка формировалась в семиаридных условиях, и песок поставлялся преимущественно с севера эфемерными реками. Площадь равнины ограничена двумя основными разломами, которые отделяют ее от области бассейна

II.15.2. Эвапориты

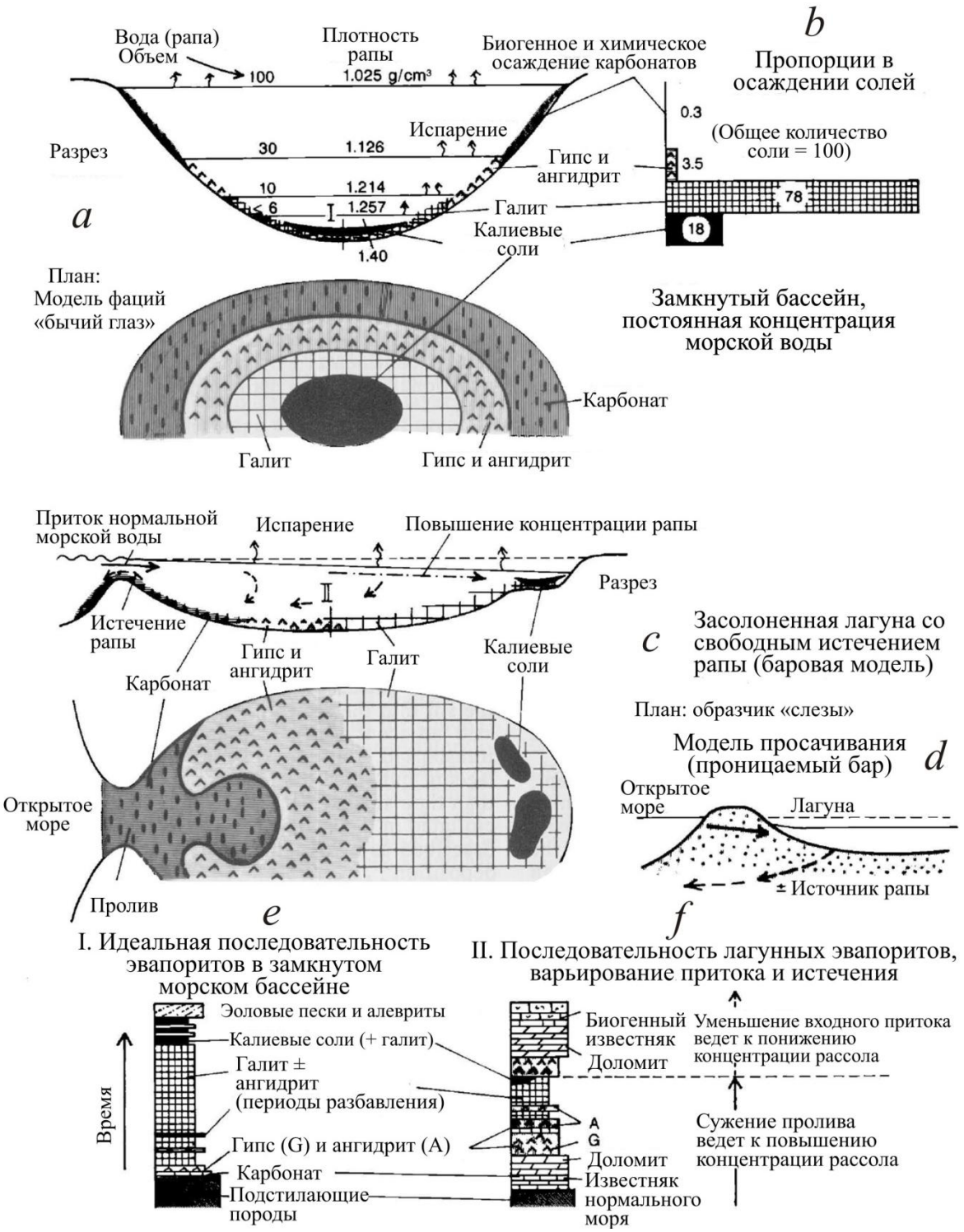


Рис. II.15.3. Модель эвапоритового осаждения (G. Einsele, 1992, p. 243):

a – замкнутый бассейн со «статической» концентрацией морской воды в виде «бычьего глаза»; *b* – доля различных эвапоритов в условиях, принятых на схеме «*a*»; *c* – формирование лагуны разной степени закрытости и распределение фаций в виде «слезы»; *d* – отделение лагуны от моря проницаемым баром (песчаными дюнами, рифом и т.д.) обеспечивает медленный приток морской воды и истечение рапы. Ситуация схожа со схемой *c*, с тенденцией повышения концентрации солей и, соответственно, преобладанием галита; *e*, *f* – идеализированные примеры эвапоритовых последовательностей

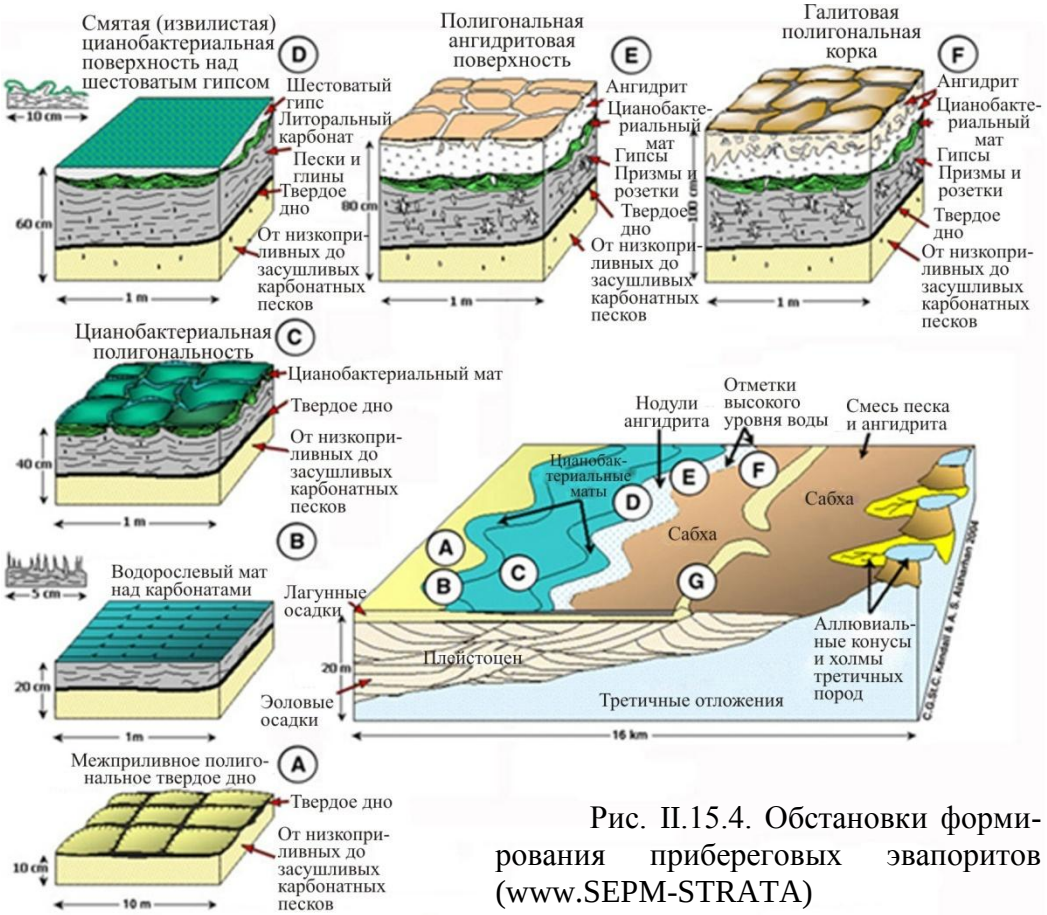


Рис. II.15.4. Обстановки формирования прибереговых эвапоритов (www.SEPM-STRATA)

Большая роль в прибереговых отложениях принадлежит **строматолитам** (греч. *stromatos* – подстилка), которые представляют собой органогенно-седиментационные карбонатные постройки, являющиеся продуктом деятельности микроорганизмов. Их формирование происходило в водах с существенно меняющейся соленостью.

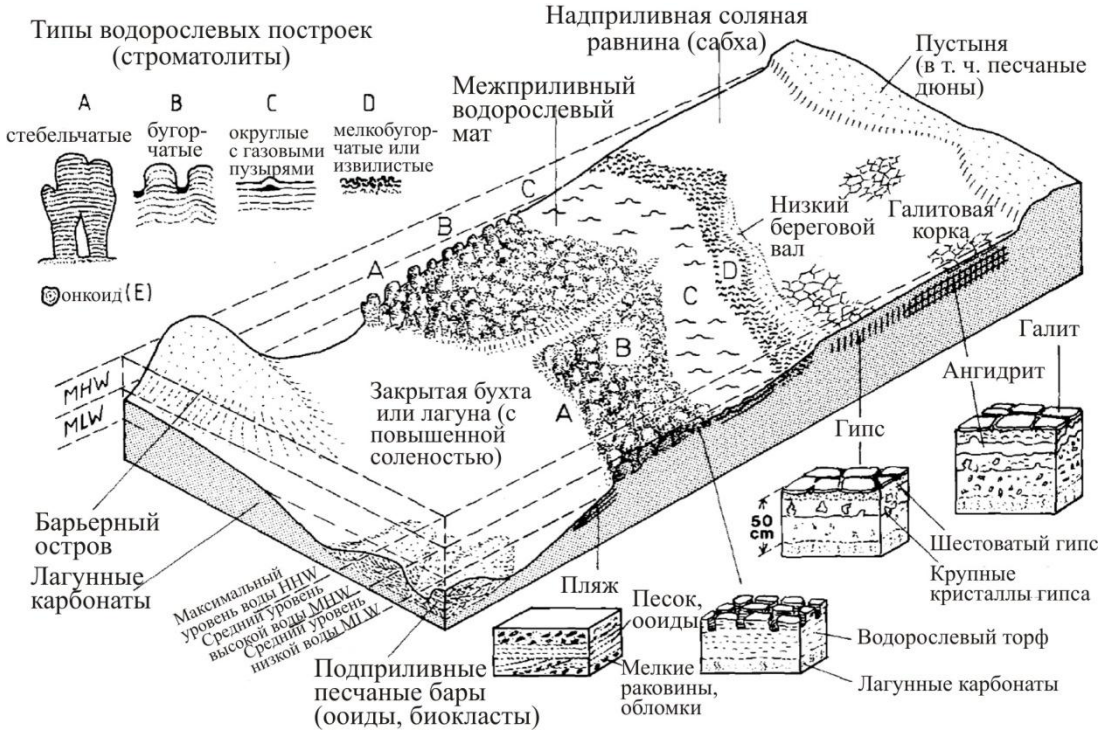


Рис. II.15.5. Водорослевая и эвапоритовая приливно-отливная равнина в теплом засушливом районе с низкоэнергетической обстановкой и несколькими проливами (G. Einsele, 1992, p. 118)

II.15.3. Обстановки вулканогенных областей

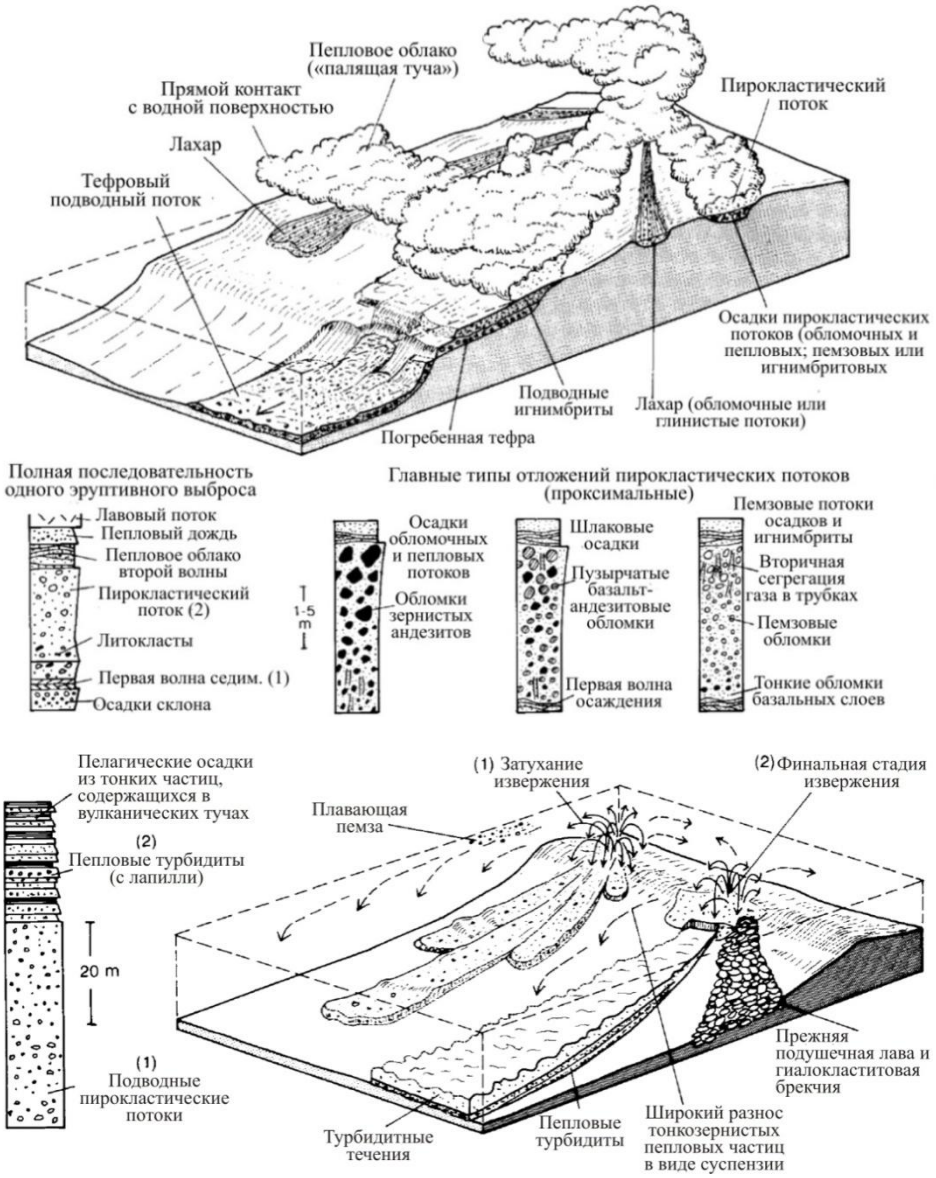


Рис. II.15.6. Плинианское вулканическое извержение и продукты его деятельности (G. Einsele, 1992, p. 68)

Рис. II.15.7. Модель подводного извержения вулкана (G. Einsele, 1992, p. 70)

Таблица II.15.2

Рудные фации колчеданных месторождений (на примере Урала)

(В. В. Масленников, 2006, с. 104-105)

Группы рудных фаций и субфаций	Рудные фации и субфации	Позиции в постройке	Форма тел	Типовые текстуры и структуры
1	2	3	4	5
Придонные гидротермальные	Жильные	Лежачий бок и ядро постройки	Жильные, штокверковые	Крустификационные друзовые и колломорфные
	Каналы	Ядро	Трубчатые	Друзовые крустификационные
Донные гидротермальные	Трубы	Ядро, кровля и склоны		Крустификационные и инкрустационные, друзовые и колломорфные, дендритовые
	Диффузеры			
	Плиты, корки		Линзы	Колломорфные
	Сульфидные осадки	Околорудные осадки	Слои и линзы	Колломорфные, глобулярные, вкрапленные кристаллы
Гидротермально-биогенные	Биостромы	Ядро холма	Линзы и слои	Биоморфные, колломорфные, крустификационные
	Калиптры		«Кочки»	
Кластогенные	Элювиальные	Ядро	«Карманы»	Брекчированные с жилами
	Коллювиальные	Склоны	Линзы	Несортированные брекчиевые глыбовые и псаммит-пелитовые
	Турбидиты		Слои	Средне- и мелкообломочные градационные, ритмично-слоистые
Гидротермально-преобразованные	Cu-Zn – выщелоченные	Ядро	Столбы	Массивные гомогенные, пятнистые, жильные, порфировидные, перекристаллизации
	Cu и/или Zn обогащенные			
Субмаринные гипергенные	Fe-окисленные	Кровля и выклинки	Слои и линзы	Коррозионные, псевдоморфные
	Cu-Zn – выщелоченные			
	Pb-Cu-Zn – обогащенные			

Таблица II.15.3

Общая генетическая классификация отложений областей активного вулканизма

(Л. Н. Ботвинкина, 1974)

Группы	Подгруппы	Классы	Классы	Подгруппы	Группы
Первая	I. Экструзивные	I. Образования эффузивно-экструзивные	—	—	—
	II. Преимущественно эффузивные образования	II. Потоки волнистых лав			
		III. Потоки обломочных лав			
		IV. Потоки подушечных лав и их производные			
		V. Потоки газонасыщенных пенистых лав			
		VI. Лавовые потоки, несущие посторонний обломочный материал			
	III. Преимущественно эксплозивные	VII. Эксплозивные пирокластические потоки			
		VIII. Грубые эксплозивные образования вулканических выбросов			
Вторая	I.Наземные отложения	I. Отложения из эруптивных пепловых туч (пеплопадов)	I. Эоловые отложения	I.Наземные отложения	Третья
		II. Вулканогенно-ледниковые отложения	II. Ледниковые отложения		
		III. Отложения термальных и минерализованных вод	III. Аллювиальные отложения		
		IV. Вулканогенный пролювий	IV. Пролювиальные отложения		
		V. Вулканогенный делювий	V. Делювиальные отложения		
		VI. Вулканогенный коллювий	VI. Коллювиальные отложения		
		VII. Вулканогенный псевдо-элювий	VII. Элювиальные образования		
		VIII. Болотные отложения кальдер	VIII. Болотные отложения		
		IX. Отложения озер вулканических котловин	IX. Озерные отложения		
	II. Субмаринные отложения	X. Отложения вулканогенных лагун	X. Лагунно-заливные отложения	II. Прибрежно-морские отложения	
		—	XI. Отложения речных выносов подводной части дельты		
			XII. Отложения прибрежных аккумулятивных образований (баров и др.)		
			XIII. Отложения зоны волнений	III. Морские и океанические отложения	
		XI. Субмаринные эксплозивные отложения	—		
		XII. Вулканогенный материал, переотложенный течениями	XIV. Отложения зоны постоянных морских течений		
		XIII. Подводный вулканогенный коллювий	XV. Отложения подводного коллювия		
		—	XVI. Отложения на положительных элементах дна – поднятиях и их склонах		
		XIV. Отложения субмаринных фумарольных полей	XVII. Отложения в углублениях и впадинах поднятого донного рельефа		
		XV. Отложения областей аккумуляции перемещенных масс тефры	XVIII. Отложения морских и океанических аккумулятивных равнин и депрессий дна		

***

Отчетливо осознавая всю «запутанность» понятия «фация» и связанных с ним многочисленных модификаций фациальных исследований, еще раз подчеркнем, что генетический подход в геологии необходим и непреходяще актуален. Несводимость геологических исследований к «прямым» структурным или вещественным исследованиям несомненна. «Индуктивный идеал агенетического ("структурного") исследования в реальности не работает – без изначальной теоретической (генетической) концепции никакой структурный фактический материал отобрать нельзя, ибо в таком случае совершенно непонятно, какой именно фактический материал несет информацию об объекте, а какой – нет» (Д. Г. Егоров, 2004, с. 65). Именно генетический подход к изучению геологических объектов, то есть фациальный анализ как в широком (s. l.), так и в узком (s. str.) понимании разобран в первом разделе 2-й части пособия (темы II.1 – II.3).

Во второй части раздела, раскрывающем основные положения литолого-фациального анализа (темы II.4 – II.7), в сжатом виде изложена его высокая разрешающая способность, в том числе и в первую очередь – для решения задач, стоящих перед нефтегазовой литологией. Особенно подчеркнута важность стремления к максимальной «объективизации» фациальных исследований, с их возможно более полной воспроизводимостью в разных условиях и разными исследователями. Как указано во введении, это можно охарактеризовать вектором с условным названием «вперед – в прошлое», присущим многим зарубежным работам двух последних десятилетий. К сожалению, подобный подход нередко приводит к излишнему упрощенчеству выполняемых построений, включая некритическое использование современных моделей седиментации при реконструкции древних эпох (униформизм Ч. Ляйеля).

В третьем, наибольшем по объему разделе (темы II.8 – II.15) дана характеристика обстановок осадконакопления, преимущественно для терригенных отложений, являющихся основными вместилищами нефтегазовых скоплений.

Рассматривая фациальные реконструкции в ракурсе смены общенаучных парадигм – от классической через неклассическую, к постнеклассической – вполне можно констатировать, что понятие «фация» наилучшим образом укладывается в неклассическую (нелинейную) парадигму, в которой не только объект, но и средства его изучения зависят от вопрошателя (субъекта). Дальнейшее совершенствование фациальных исследований возможно при подвключении в исследовательский процесс и самого субъекта (постнеклассическая парадигма). Такая, в полном смысле слова, субъективизация работ, в частности, решаемая в рамках нейросетевого программирования, по сути возвращает нас к основам фациального анализа, заложенного в середине XIX в. А. Грессли. Она тщательно разработана на материале угленосных толщ во второй половине XX в. Ю. А. Жемчужниковым с его коллегами и последователями, в рамках фациально-циклического анализа.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

Отечественные авторы

Кузнецов В. Г. Фация и фациальный анализ в нефтегазовой геологии: учебник для вузов. М.: РГУНГ, 2012. 244 с.

Цейслер В. М. Основы фациального анализа: учебное пособие. М.: КДУ, 2009. 150 с.

Чернова О. С. Обстановки седиментации терригенных природных резервуаров: учебное пособие. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 108 с.

Зарубежные авторы

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

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

Фациальные модели: пер. с англ. / под ред. Р. Уолкера, Н. Джеймса. М.-Ижевск: ИКИ, 2017. 916 с.

Дополнительная

Общего характера

Крашенинников Г. Ф. Учение о фациях. М.: Высшая школа, 1971. 368 с.

Наливкин Д. В. Учение о фациях. М.-Л.: Изд-во АН СССР, Т. 1. 1955. 534 с; Т. 2. 1956. 393 с.

Осадочные породы (сравнительная седиментология) / Ю. П. Казанский и др. Новосибирск: ВО «Наука»: Сиб. издат. фирма, 1994. 200 с.

Петтиджон Ф. Дж., Поттер П. Сивер Р. Пески и песчаники: пер. с англ. М.: Мир, 1976. 534 с.

Попов В. И., Макарова С. Д., Филиппов А. А. Руководство по определению осадочных фациальных комплексов и методика социального палеогеографического картирования. Л.: Гостоптехиздат, 1963. 714 с.

Селли Р. К. Древние обстановки осадконакопления: пер. с англ. М.: Недра, 1981. 370 с.

Тимофеев П. П. Эволюция угленосных отложений в истории Земли. М.: Наука, 2006. 204 с. (Труды ГИН РАН. Вып. 557).

Хэллем Э. Интерпретация фаций и стратиграфическая последовательность: пер. с англ. М.: Мир, 1983. 328 с.

К теме II.1. «Учение о фациях в ретроспективе»

Вассоевич Н. Б. Эволюция представлений о геологических фациях // Литологический сборник ВНИГРИ. Л.: Гостоптехиздат, 1948. № 1. С. 13-14.

Жемчужников Ю. А. Что такое фация // Литологический сборник ВНИГРИ. Л.: Гостоптехиздат, 1948. № 1. С. 50-58. (См. также: Литология и геология горючих ископаемых. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. Вып. IV (20). С. 340-348).

Крашенинников Г. Ф. Учение о фациях от Гресслиди до наших дней // Геология и палеонтология. Л.: Наука, 1989. С. 101-121.

К теме II.2. «Основные представления о фациях»

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

Лисицын А. П. Лавинная седиментация и перерывы в осадконакоплении в морях и океанах. М.: Наука, 1988. 309 с.

Условия древнего осадконакопления и их распознавание: пер. с англ. /под ред. Дж. Ригби, У. Хемблина. М.: Мир, 1974. 324 с.

К теме II.3. «Фация – "порода" и фация – "образ"»

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

Ольнева Т. В. Сейсмофациальный анализ. Образы геологических процессов и явлений в сейсмическом изображении. М.-Ижевск: ИКИ, 2017. 152 с.

Serra O. Sedimentary Environments from Nireline Logs. Schlumberger. Houston. 1985. 211 p. Рус. перевод на сайте Lithologia.ru (Литология.ру).

К теме II.4. «Методология исследований»

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

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

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

К теме II.5. «Фациальное расчленение отложений»

Алексеев В. П. Атлас фаций юрских терригенных отложений (угленосные толщи Северной Евразии). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. 209 с.

Алексеев В. П. Атлас субаквальных фаций нижнемеловых отложений Западной Сибири (ХМАО-Югра). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 284 с.

Атлас литогенетических типов угленосных отложений Алдано-Чульманского района Южно-Якутского каменноугольного бассейна. М.: Наука, 1970. 226 с.

К теме II.6. «Проверка (верификация) фациальных реконструкций»

Дюбрюль О. Геостатистика в нефтяной геологии: пер. с англ. М.-Ижевск: ИКИ, 2009. 256 с.

Йёреског К. Г., Клован Д. И., Реймент Р. А. Геологический факторный анализ: пер. с англ. Л.: Недра, 1980. 223 с.

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

К теме II.7. «Изображение результатов»

Билибин С. И. Технология создания и сопровождения трехмерных цифровых геологических моделей нефтегазовых месторождений: дисс. ... д-ра техн. наук. М., 2010. 281 с.

Иванов Г. А. Пути стандартизации изучения литолого-фациального состава угленосных отложений с целью повышения достоверности и эффективности геологоразведочных работ: методические указания. Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1977. 50 с.

Туров А. В., Андрухович А. О. Геологическая карта и разрезы к ней: методическое руководство. «Деловая полиграфия», 2014, 129 с.

К теме II.8. «Ледниковые (гляциальные) и делювиально-пролювиальные обстановки»

Елисеев В. И. Закономерности образования пролювия. М.: Недра, 1978. 232 с.

Костенко Н. П. Четвертичные отложения горных стран. М.: Недра, 1975. 216 с.

Попов В. И., Запрометов В. Ю., Филиппов А. А. Теплоклиматические динамические фации континентальной ступени. Ташкент: ФАН, 1989. 216 с.

К теме II.9. «Аллювий»

Аллювиальные отложения в угленосной толще среднего карбона Донбасса. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 296 с. (Труды ИГН АН СССР. Вып. 151).

Чалов Р. С. и др. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: Изд-во МГУ, 1998. 288 с.

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

К теме II.10. «Озерные, болотные и эоловые обстановки»

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

Кригер Н. И. Лёсс, его свойства и связь с географической средой. М.: Наука, 1965. 296 с.

Тимофеев П. П., Боголюбова Л. И. Седиментогенез и ранний литогенез голоценовых отложений в областях приморского торфонакопления (Колхида, Южная Прибалтика, Западная Куба, Флорида). М.: Наука, 1998. 430 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 492).

К теме II.11. «Заливы и дельты»

Дельтовые и мелководно-морские отложения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 263 с.

Дельты – модели для изучения: пер. с англ. М.: Недра, 1979. 232 с.

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

К теме II.12. «Мелководье»

Павлидис Ю. А., Никифоров С. Л. Обстановки морфолитогенеза в прибрежной зоне Мирового океана. М.: Наука, 2007. 455 с.

Леонтьев И. О. Прибрежная динамика: Волны, течения, потоки наносов. М.: ГЕОС, 2001. 272 с.

Циклическая и событийная седиментация: пер. с англ. М.: Мир, 1985. 502 с.

К теме II.13. «Открытый бассейн»

Конюхов А. И. Осадочные формации в зонах перехода от континента к океану. М.: Недра, 1987. 222 с.

Мурдмаа И. О. Фации океанов. М.: Наука, 1987. 303 с.

Фролов В. Т. Генетическая типизация морских отложений. М.: Недра, 1984. 222 с.

К теме II.14. «Мелководные морские карбонатные обстановки»

Кузнецов В. Г. Эволюция карбонатонакопления в истории Земли. М.: ГЕОС, 2003. 262 с.

Седиментологическое моделирование карбонатных осадочных комплексов / сост. и общ. ред. Н. К. Фортунатовой. М.: РЭФИА, 2000. 239 с.

Уилсон Дж. Л. Карбонатные фации в геологической истории: пер. с англ. М.: Недра, 1980. 463 с.

К теме II.15. «Иные обстановки»

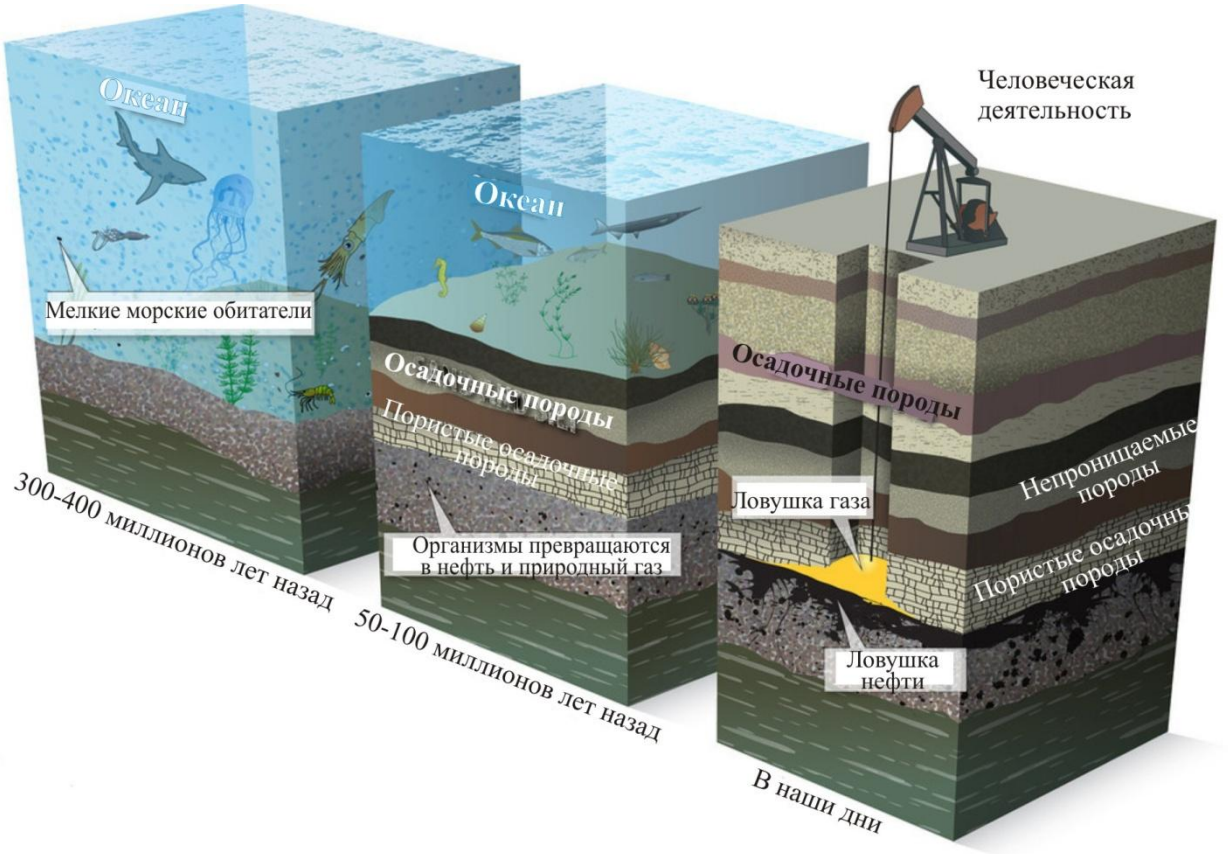
Беленицкая Г. А. Соленосные осадочные бассейны. Литолого-фациальный, геодинамический и минералогический анализ. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 72 с.

Ботвинкина Л. Н. Генетические типы отложений областей активного вулканизма. М.: Наука, 1974. 318 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 263).

Ерофеев В. С., Цеховский Ю. Г. Парагенетические ассоциации континентальных отложений. М.: Наука, 1982. 211 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 363).

ЧАСТЬ III

ФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ



* * *

В предисловии к части II пособия, посвященной фациальному анализу, указано, что понятие «фация» является одним из самых нечетких и запутанных в геологии. Понятие же «формация» (лат. formatio – образование), хотя и имеет, по одному из расчетов, вдвое меньшее количество толкований – 63 против 112 (Геология и математика, 1967), характеризуется значительно бóльшим разнообразием в области использования. Косвенно это подтверждается рассмотрением данных терминов в изданиях Геологического словаря, разделенных сорокалетним промежутком. Так, в издании 1973 г. различным фациям посвящено около 60, а формациям – почти 250 определений (Геологический …, 1973, т. 2). В издании же 2010-2012 гг. это количество изменилось следующим образом: для фаций (совместно с «фациальными рядами» и пр. – до 30, а для формаций – примерно до 170 (Геологический …, 2012, т. 3). Таким образом, соотношение понятий поменялось с 1 : 4 на 1 : 6.

Более полувека назад крупнейший советский литолог Леонид Васильевич ПУСТОВАЛОВ (1902 – 1970) в статье (Л. В. Пустовалов, 1964) написал следующее: «Совершенно недостаточное внимание, явно не соответствующее задачам практики, уделяется осадочным образованиям не только в научных геологических учреждениях, но и в высших учебных заведениях при подготовке молодых специалистов. Абсолютно нетерпимо, когда и в научной работе, и в преподавании геологических дисциплин в вузах к осадочным породам и осадочным месторождениям полезных ископаемых, обеспечивающим страну важнейшими видами минерального сырья, в силу вредной традиции проявляется пренебрежительное отношение». В этой же статье, напечатанной «в порядке обсуждения», определена роль полезных ископаемых, связанных с осадочными толщами, в объеме не менее 90 % (см. табл. Вв.1).

Если прошедшее полустолетие изменило отношение к осадочным образованиям в целом, т. е. по факту их значимости в практическом плане, то «пренебрежительное отношение» к ним нередко продолжает иметь место. Такой своеобразный геологический снобизм определяется кажущейся простотой состава и строения осадочных толщ, которые достаточно легко поддаются «расшифровке» с позиций актуализма. В этом заключен своего рода дуалистический подход к перспективам изучения обычно ахроматических и невзрачных, часто весьма просто построенных объектов. С одной стороны, они сильно уступают по «внешней» привлекательности различным пестроокрашенным и блестящим «полигенным и полихронным» явлениям, количество гипотез формирования которых составляет N+1 (где N – количество геологов). С другой – именно эта простота послужила первоосновой для создания всех направлений геологического знания – от стратиграфии и литологии до геологической съемки.

Такая дуалистичность во многом присуща и *формациологии* – учению о геологических формациях. Преобладает положение о том, что формации сложены комплексом горных пород близкого состава, сформировавшихся в определенных геотектонических или геодинамических условиях. В этом плане осадочные формации представляются предельно простыми образованиями. В значительно меньшей мере принимается взгляд на формацию как на геологический объект упорядоченного строения, где таковое является их важнейшей субстанцией. Именно такая, внимательная и детальная характеристика объектов не только не исчерпала себя, но и таит много открытий, особенно при изучении глубокозалегающих осадочных толщ.

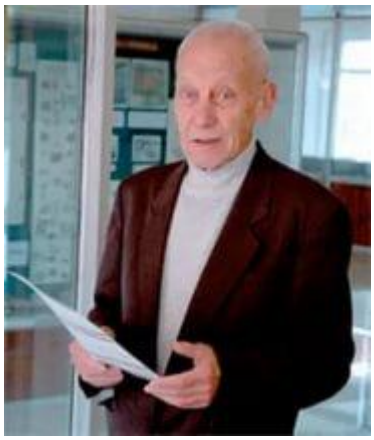
III.1. ФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И ОСАДОЧНЫЕ ФОРМАЦИИ

III.1.1. Формационные идеи: история и направления исследований

Истоки учения о геологических формациях, как о некоторых устойчивых сочетаниях горных пород, связываются с именами Г. Х. Фюкселя (1722-1773), И. Леманна (1700-1767) и А. Г. Вернера (1749-1817). Последним, в частности, выделено восемь формаций: сланцев, известняков, траппов, углеродных пород, порфиров, талька, гипсов, топазов – шерловых пород, которые могут встречаться на разных этапах развития Земли. Тем самым уже в самом начале исследований в понимание формации вложен не только вещественно-петрографический, но и историко-генетический смысл, что по сути впоследствии повторено А. Грессли по отношению к фациям (см. п. II.2.1, рис. II.2.1).

Основные направления формационных исследований приведены в табл. III.1.1. В основе *стратиграфического* (преобладающего в зарубежных исследованиях) лежит представление о формации как изохронной единице. Для *фациального* (*генетического*) направления главная цель заключается в определении генезиса отложений (*s. l.*). Сторонники *тектонического* направления связывают образование формаций с тектоническим режимом и его типами. *Структурно-вещественное* (*парагенетическое*: греч. para – возле, рядом) подразумевает под формациями естественные комплексы горных пород, которые тесно связаны друг с другом как в возрастном, так и в пространственном отношениях. *Целевой* подход основан на выделении объектов по принципу «практической целесообразности», в том числе по наличию важного в экономическом плане полезного ископаемого.

В отечественных исследованиях второй половины XX и начала XXI вв. предпочтение отдается тектоническому (в разных модификациях) и структурно-вещественному (парагенетическому) направлениям, которыми предусматривается следующее ранжирование геологических тел: минералы – горные породы – формации. Данный подход использован и в основных учебниках по формационному анализу, написанных В. М. Цейслером.



Ви́ктор Марты́нович ЦЕ́ЙСЛЕР (18.07.1931-15.06.2017)

В 1951 г. окончил Кизеловский горный техникум, в 1956 г. – МГРИ им. С. Орджоникидзе, в котором и проработал 60 лет. Доктор геолого-минералогических наук (1976). Основные научные работы связаны с многоплановым геологическим изучением юга б. СССР (Крым, Кавказ, республики Средней Азии): стратиграфия, общая и региональная тектоника, угленосные и нефтегазоносные формации и др. Участвовал в составлении многих геологических и тектонических карт. Долгое время являлся заведующим кафедрой региональной геологии МГРИ; более 15 лет возглавлял учебно-методическое объединение (УМО) по геологическому образованию в вузах России; успешно выполнял множество общественных нагрузок.

Автор более 200 научных и учебно-методических работ, включая 12 монографий и 11 учебных пособий. Разработал типовую программу курса «Формационный анализ» для студентов геологических специальностей.

В зарубежных (прежде всего североамериканских) исследованиях термину «формация» придается исключительно стратиграфический аспект, хотя на втором Международном Геологическом конгрессе (МГК), проходившем в 1881 г. в Болонье, было оговорено, что формации не должны включать понятие о возрасте и стратиграфическом положении геологических тел. Несмотря на это, геологическая служба США в 1933 г. утвердила формацию в качестве основного стратиграфического подразделения. В отечественных разработках она – очень примерно – соответствует свите, что показано на рис. III.1.1.

Таблица III.1.1

Исторические этапы и направления развития учения о формациях

(В. Н. Шванов, 1992, с. 10-11; с изменениями и дополнениями)

Этапы / Направления	Современное состояние	Зрелая формациология	Становление учения о формациях	Накопление знаний и оформление направлений	Зарождение формационных идей
		Время			
Генетическое (фациальное)	П. П. Тимофеев (2000), В. Т. Фролов (1995), В. И. Попов и В. Ю.Запрометов (1985)	В. Т. Фролов (1984), П. П. Тимофеев (1969)	Ю. А. Жемчужников (1955), Л. Б. Рухин (1953), Н. М. Страхов (1946), В. И. Попов (1938), Д. В. Наливкин (1932)	Н. А. Головкинский (1869), А. Грессли (1838)	И. Леманн (1756), Г. Фюксель (1762), А. Вернер (1777).
Парагенетическое (структурно-вещественное)	В. Н. Шванов (1992)	И. А. Вылцан(1974), Ю. А. Косыгин (1969), Н. С. Шатский (1955)	Н. П. Херасков (1952), Н. С. Шатский (1945)	Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1888)	
Тектоническое (тектоностадиальное)	С. И. Романовский (2000)	В. М. Цейслер (1977), В. Е. Хаин (1973), Л. Б. Рухнн (1961)	В. Е. Хаин 1950), В. В. Белоусов (1948), Н. Б. Вассоевич (1940)	М. Бертран (1897)	
Стратиграфическое	США; англоязычная литература	К. Данбар и Д. Роджерс (1962), М. К. Коровин (1955)	М. А. Усов (1936), Р. Мур(1933)	Международный геологический конгресс (1881)	
Целевое; минерагеническое	Минерагения осадочных бассейнов (1998)	М. С. Дюфур (1981), Ю. Л. Воронин и Э. А. Еганов (1968), В. И. Драгунов (1965)	–	–	

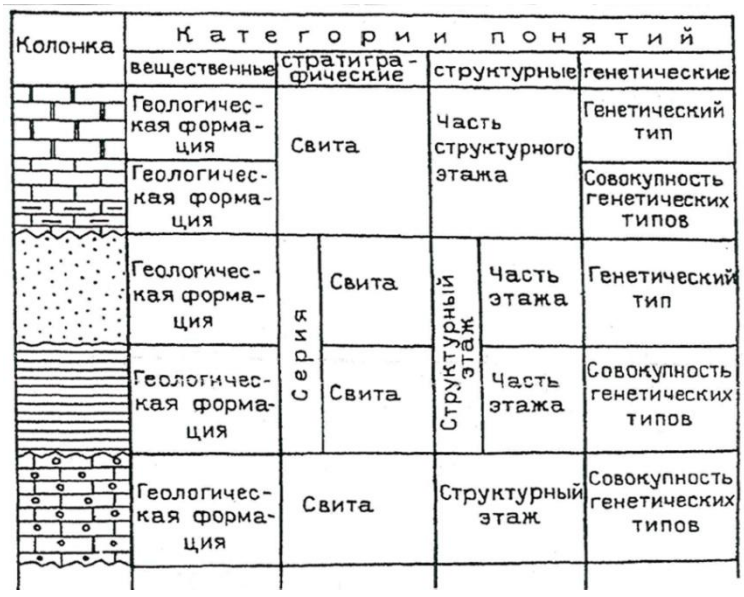


Рис. III.1.1. Соотношение понятий, используемых при характеристике толщ (В. М. Цейслер, 2002, с. 22)

III.1.2. Формации в ранговой шкале геологических тел

Вопросы иерархии осадочных тел, на уровне слоевых единиц, рассмотрены в п. I.1.1 (см. табл. I.1.1). В табл. III.1.2 приводятся более полные сведения.

Таблица III.1.2

Корреляция ранговых единиц, обособляемых в структуре вещества Земли разными авторами (О. А. Вотах, 1991, с. 25)

В. И. Драгунов, 1971	Л. И. Красный, 1977	В. Ю. Забродин, В. А. Кулындышев, В. Л. Соловьев (Иерархия, 1975)	В. Е. Хаин, 1979	О. А. Вотах, 1972 – 1985 гг.		
				Уровни		Виды элементов
				группа	ранг	
Атомы	Локальная группа подразделений	Химические элементы	Минералы Горные породы	Атомарный		Химические элементы
Молекулы Минералы Горные породы		Элементарные ячейки Минералы Минеральные агрегаты Порода		Минеральная	1	Молекулы
					2	Минералы
					3	Породы
Формации (парагенерации) Парагенезы формаций		Парагенерации Геоформации Ряды формаций	Структурные подъярусы Структурные ярусы Подкомплексы	Формационная	4	Наборы пород (фации)
					5	Геоформации (свиты)
					6	Формационные комплексы (серии)
	Региональная группа подразделений	Геокомплексы Платформенные системы	Комплексы Надкомплексы	Геоструктурная	7	Тектонические ком-
					8	Слои земной коры
					9	Геоструктурные области
Оболочки планет	Глобальная группа тектонических подразделений	Геосферы	Оболочки Земли	Глобальная	10	Глобальные зоны геосфер
					11	Геосферы
					12	Сегменты планеты
Планеты		Планетные ассоциации		Планетарный		Земля

В то же время большинство геологов придерживаются мнения о следующем соотношении уровней организации геологических тел: **минералы – горные породы – формации** (2→3→5 в табл. III.1.2), что иллюстрируют рис. III.1.2 и III.1.3.

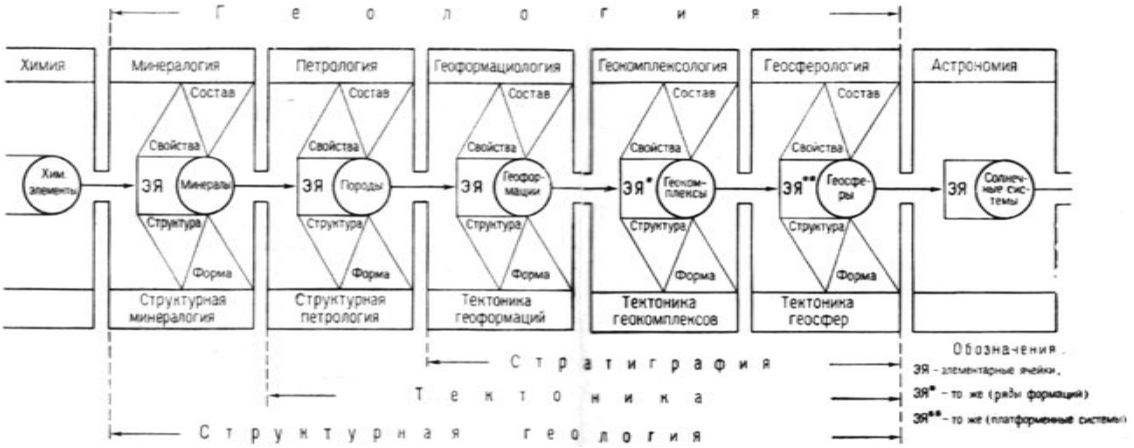


Рис. III.1.2. Схема иерархии геологических объектов и дисциплин (Формы ..., 1977, с. 176-177)

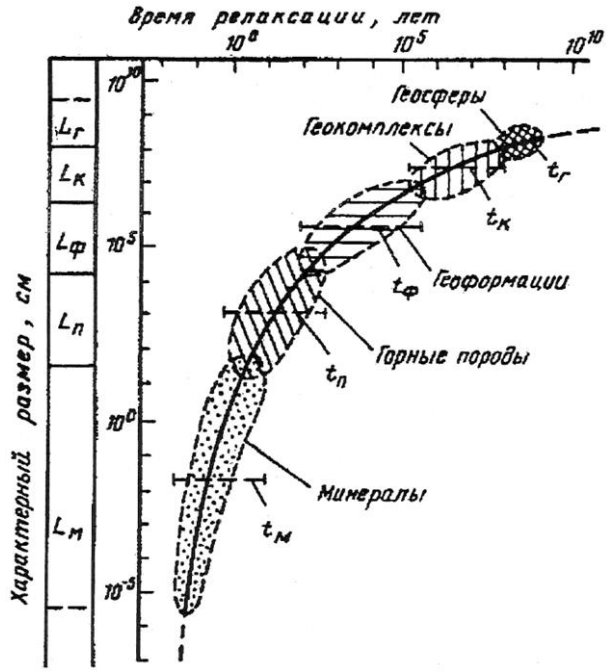


Рис. III.1.3. Зависимость времени релаксации от характерных размеров геологической системы (В. А. Королев, 1994)

Главное, что выделяет именно осадочные толщи в формационном анализе, – это безусловное наличие самостоятельного 4-го ранга (надгорнопородного или, как будет показано далее, циклического). То есть формации слагаются не породами (или фациями s. str.), а комплексами (наборами) пород; обычно – циклами, причем нескольких порядков.

Такое положение, хоть и в неявном виде, следует из представлений О. А. Вотаха, приведенных в табл. III.1.2 и базирующихся на исторической основе, охарактеризованной в табл. III.1.3.

Таблица III.1.3

История обособления осадочных формационных единиц

(О. А. Вотах, 1991, с. 50-51)

Этап обособления в стратиграфических колонках (1669-1780)				Этап обособления на профильных разрезах (1841-1897)			Ранговая шкала
Н. Стенон, 1669	Дж. Ардуино, 1760-1795	Г. Фюксель, 1762	А.Г. Вернер, 1780	А. Грессли, 1841	Э. Реневвье, 1884	М. Бертран, 1894, 1887	
Фации		Слои	Виды горных пород	Подфации	Породы		Породы
		Залежь	Залежь, толща, свита	Фации	Фации		Наборы горных пород (фации)
	Группа пород (вулканических)	Формации	Формации	Формации крупных подразделений	Формации	Формации гор, горные фации	Геоформации (свиты)
	Комплексы отложений		Комплексы формаций				Формационные комплексы (серии)
			Главные эпохи: древнейшая и флецовая				Тектонические комплексы

Несложная логика рассуждений, вытекающая из представлений, рассмотренных в части II предлагаемого пособия, позволяет полагать, что «наборы горных пород» – это не «фации», как показано в табл. III.1.2 и III.1.3, а именно «надгорнопородный», т. е. следующий за собственно фациальным (третьим), **четвертый** уровень.

III.1.3. Осадочные формации – формационный анализ

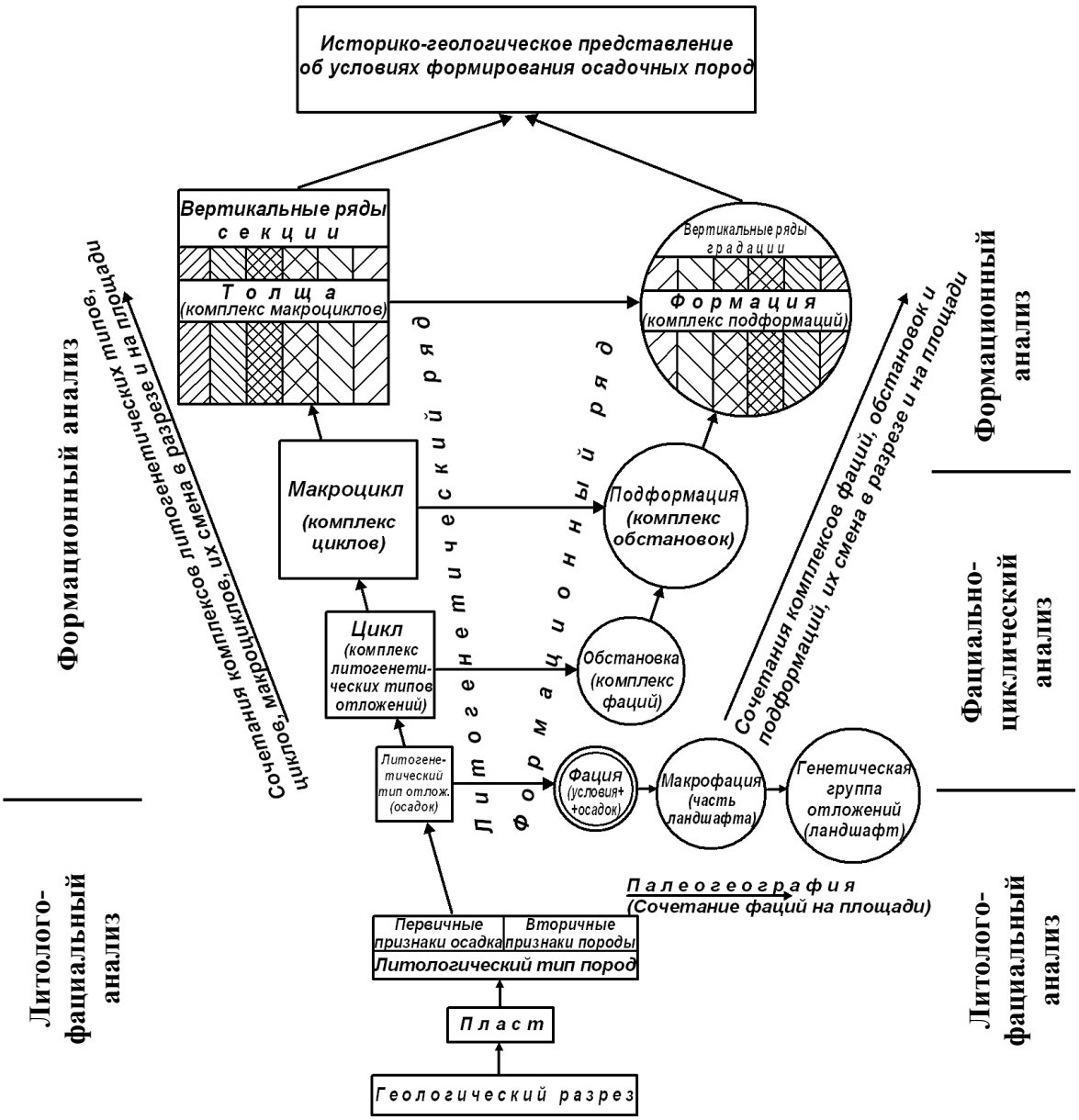


Рис. III.1.4. Схема последовательности генетических исследований осадочных толщ (П. П. Тимофеев, 1970, с. 15). См. также рис. II.4.1. Справа – дополнения, расшифрованные в табл. III.1.4.

Таблица III.1.4

Ранговая шкала структурных единиц Земли

Уровни (см. табл. III.1.2)		Объекты (структурные единицы)	Эмерджентное свойство	Метод изучения (анализ)
группа	ранг			
Формационная	6	Формационные комплексы		
	5	Геоформации	Единство палеогеографических условий и геотектонической обстановки	Формационный (ФА)
	4	Наборы (комплексы) пород: циклы	Направленность смены типов пород (фаций)	Фациально-циклический (ФЦА)
Минеральная	3	Фации	Ландшафт (сочетание факторов)	Литолого-фациальный (ЛФА)
		Породы	Устойчивое сочетание минералов	
	2	Минералы		

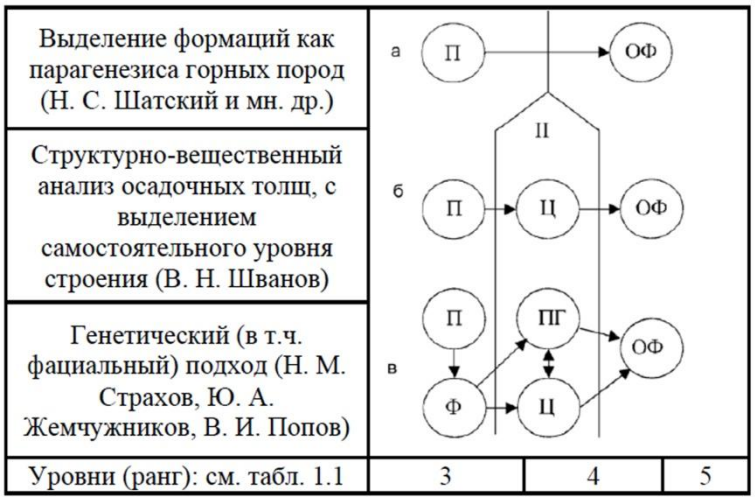


Рис. III.1.5. Варианты последовательности геологических работ (в кружках изучение объектов): П – пород, Ф – фаций, Ц – циклов, ПГ – палеогеографии, ОФ – осадочных формаций)

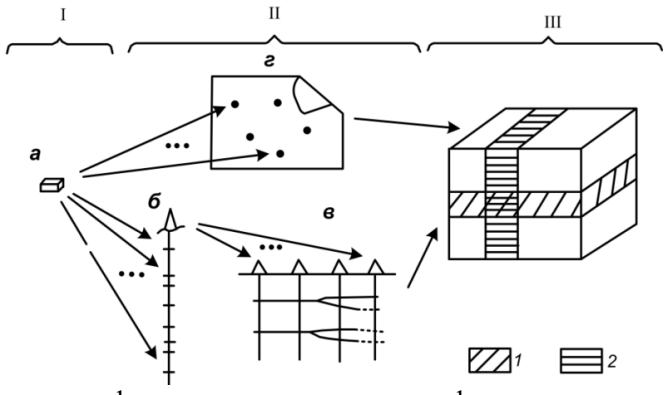


Рис. III.1.6. Последовательность литолого-фациальных (I) – фациально-циклических (II) – формационных (III) исследований:

а – выделение и изучение слоев и их генезиса (фаций): *точка* (0D);

б – установление закономерностей в чередовании слоев (цикличности) на колонках скважин: *линия* (1D);

в – корреляция отложений на разрезах: *вертикальная плоскость* (2D);

г – фациальные и палеогеографические реконструкции с построением карт: *горизонтальная плоскость*(2D);

д – установление и характеристика крупных геологических тел в их *объеме* (3D): *1* – подформации или субформации; *2* – районы, области, изолированные депрессии

Поскольку в зарубежных исследованиях термин формация имеет стратиграфическое значение (см. п. III.1.1), то это понятие, используемое в отечественной литературе как комплекс горных пород или (правильнее) как ассоциация ассоциаций горных пород (см. п. III.1.2), чаще всего соотносится с **литологической ассоциацией** (lithological association).

Рис. III.1.7. Последовательность наблюдений, выводов и интерпретации при анализе бассейна осадконакопления (Седиментология, 1980, с. 517; с небольшими изменениями)

ВЕЩЕСТВО – ПЕРВАЯ КОНСТИТУТИВНАЯ СУБСТАНЦИЯ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ*

III.2. ПРОИСХОЖДЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

III.2.1. Формирование осадочной оболочки Земли

В п. Вв. 2 показана общая модель *рециклинга*, обеспечивающего формирование тонкого (по сравнению с общим объемом земного геоида) слоя осадочных пород, занимающих основную часть его поверхности.

Констатируя различия в распределении рельефа земной поверхности (см. рис. II.2.6, А) и накопленной информации о толщине литосферы в континентальных и океанических блоках, можно представить модели, достаточные для расчетов *изостатической* (греч. isos – равный, одинаковый + stasis – стояние) *компенсации* (рис. III.2.1).

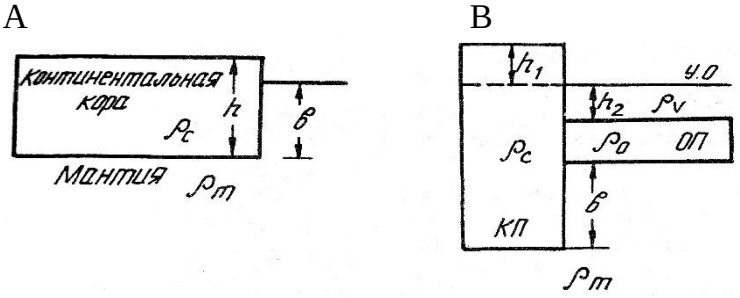


Рис. III.2.1. Модели для расчетов изостатической компенсации (Д. Тёркот, Дж. Шуберт, 1985, ч. 1, с. 124):

у. о. – уровень океана, КП – континентальная плита, ОП – океаническая плита; плотности: ρ_c – коры континентов, ρ_o – океанической коры, ρ_m – мантии, ρ_v – воды

Согласно закону Архимеда, выталкивающая сила, действующая на континент, равна весу вытесненного мантийного материала. В условиях гидростатического равновесия для модели, изображенной на рис. III.2.1, А, исходя из того, что $p_c \times h = p_m \times b$, определим:

$$h - b = h - \frac{\rho_c}{\rho_m} \times h = h\,(1 - \frac{\rho_c}{\rho_m})\,.$$

При толщине континентальной коры 35 км, ее плотности 2,75 т/куб. м и плотности пород верхней мантии 3,30 т/куб. м, превышение поверхности континента над глубиной океана составит примерно 6 км, что фактически соответствует наблюдаемому (см. рис. II.2.6, А).

В результате другого расчета (для схемы на рис. III.2.1, В) значение *b* составило 23 км. Вместе с вычисленным ранее превышением 6 км, разница в толщине континентальных и океанических плит составит, таким образом, около 29 км, что укладывается в установленные различия между характерными для них значениями, соответственно, 30-50 (в среднем 35) и 5-10 (в среднем 6) км.

Стремление к изостазии обеспечивает процесс рециклинга, действующий в автономно управляемом режиме и определяющий постоянную поставку материала – источника для формирования основной массы осадочных пород. При транспортировке этот материал подвергается физической (механической) и химической дифференциации (рис. III.2.2 – III.2.4).

---

* Названия этого и следующего разделов заимствованы из работы (В. Н. Шванов, 1992). *Субстанция* (лат. substantio – сущность, то, что лежит в основе) – это то, что существует самостоятельно, само по себе, в отличие от акциденций (лат. accidentio – случайно появляющееся), существующих в другом или через другое. Субстанция неизменна: она есть то, что существует в самой себе и благодаря самой себе (Материал из Википедии). Понятие *конститутивности* адекватно использованному для описания пород (см. введение в п. 1.2).

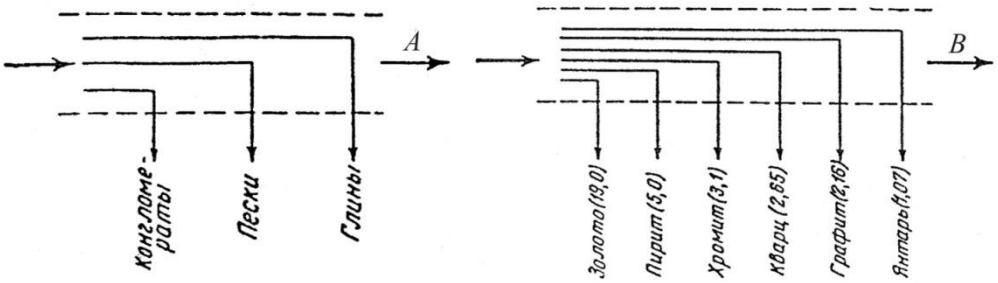


Рис. III.2.2. Схема механической осадочной дифференциации по крупности частиц (*A*) и удельному весу, при равной величине таковых (*B*) (Л. В. Пустовалов, 1940, ч. I, с. 257)

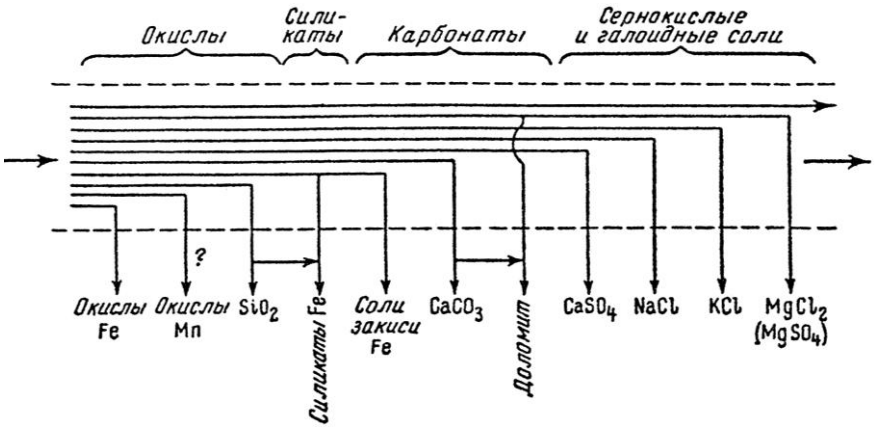


Рис. III.2.3. Схема химической осадочной дифференциации вещества (Л. В. Пустовалов, 1940, ч. I, с. 263)

В обобщенном виде дифференциация материала в процессе его переноса изображена Н. М. Страховым (рис. III.2.4).

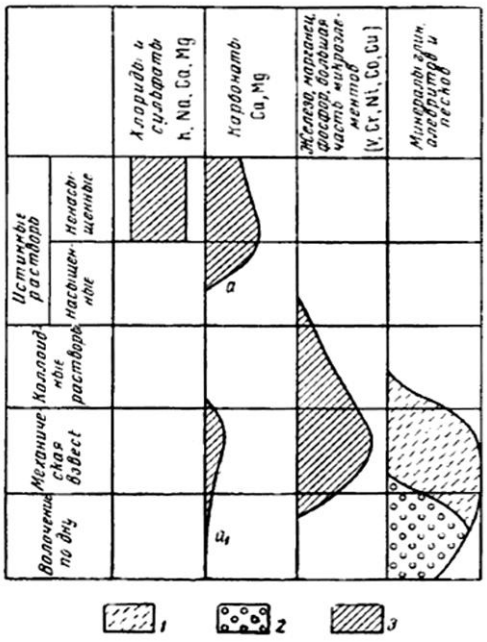


Рис. III.2.4. Формы переноса в реках основных компонентов осадков (Н. М. Страхов, 1950): *1* – минералы глин; *2* – минералы песков и обломки пород; *3* – прочие компоненты; a – a_1 – лишь для горных рек и в условиях засушливого климата

Если механическая дифференциация обеспечивается преимущественно **рельефом**, кратко охарактеризованным в п. II.2.2, то для химической дифференциации определяющее значение обычно имеет **климат**. Изменение прежде всего климатических условий положено Н. М. Страховым в основу выделения четырех **типов литогенеза**, впервые предложенных в 1956 г., детально охарактеризованных в 1960-1962 гг. и более сжато – в 1963-м (Н. М. Страхов, 1963).

1. *Гумидным* называется породообразование в климатах, отличающихся преобладанием метеорных осадков над испарением и с температурами, разрешающи-

ми существование воды в жидкой фазе по крайней мере в течение теплой части года. Разновидности: тропический, субтропический, умеренный и холодный климаты.

2. Специфическую особенность физико-географической обстановки *аридных* зон составляет сочетание повышенных температур с отрицательным балансом влаги, т. е. преобладанием испарений над массой атмосферных осадков.

3. *Ледовым* называется такой тип климата на континентальных площадях, который обеспечивает геологически длительное существование на данной территории ледового покрова большей или меньшей мощности.

4. Климатические типы осадочного породообразования занимают в совокупности всю площадь континентов. Кроме них выделяется *интразональный* эффузивно-осадочный тип, «вкрапленный» в площади климатических типов. Им определяется породообразование на площадях вулканических извержений и в их окрестностях, находящихся под исключительным или определяющим влиянием эффузивного процесса.

Распределение типов литогенеза на континентах показано на рис. III.2.5.

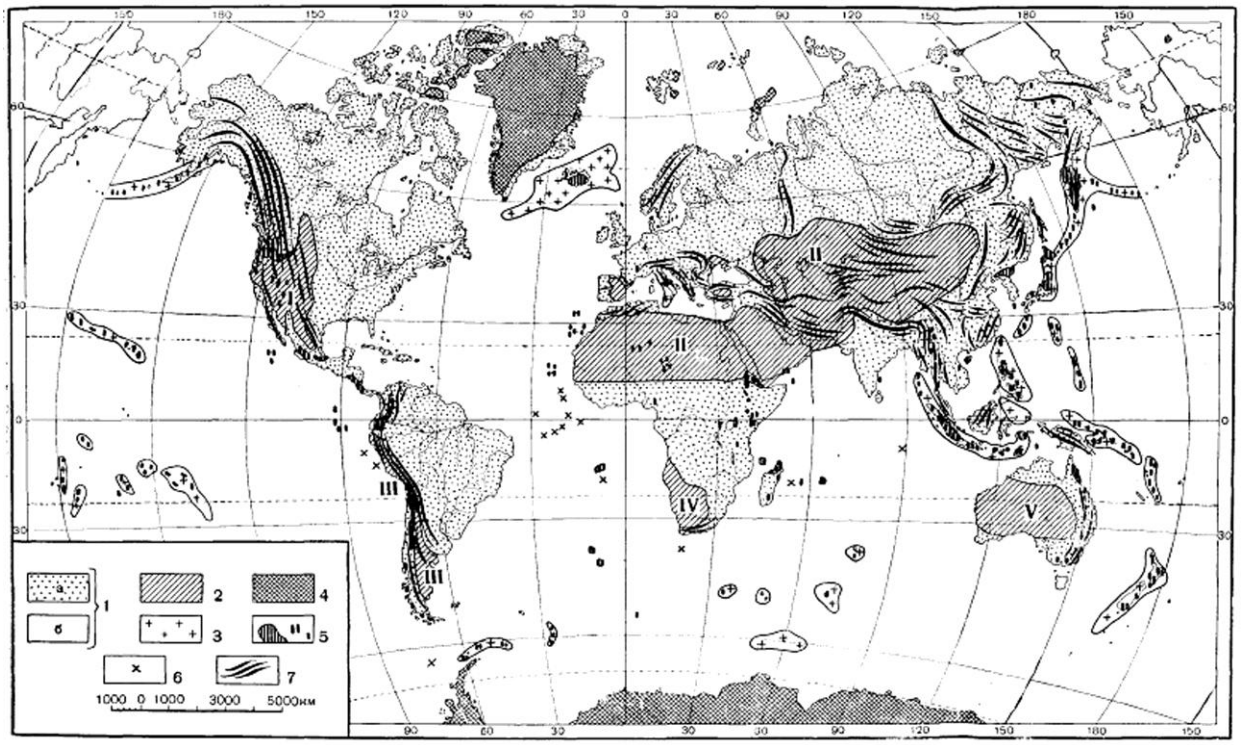


Рис. III.2.5. Типы современного литогенеза (Н. М. Страхов, 1960, т. 1):

1 – области гумидного литогенеза: а – водосборная часть бассейнов, б – конечные водоемы стока; 2 – области аридного литогенеза: I – Северо-Американская, II – Африкано-Азиатская, III – Южно-Американская, IV – Южно-Африканская, V – Австралийская; 3 – области эффузивно-осадочного литогенеза; 4 – области ледового литогенеза; 5 – вулканы и вулканические области; 6 – единичные извержения; 7 – горные хребты

Содержательный анализ выделенных типов литогенеза, в частности, выполнен С. И. Романовским (1988 и др.), справедливо указавшим, что типы литогенеза, выделяемые таким образом, все-таки ограничиваются континентальными блоками земной коры. Для океанических же областей, по-видимому, вполне возможно и допустимо выделение своеобразного, специфического типа(ов) литогенеза. По меньшей мере, достоверно может быть выделен самостоятельный, инъективный аклиматический, суспензионно-потоковый тип седиментогенеза, реализующийся в областях второго уровня лавинной седиментации. Это, прежде всего, турбидиты, рассмотренные в п. II.13.2.

III.2.2. Классификации осадочных пород

Общее (s. l.) единство пород, слагающих верхнюю оболочку Земли, определяет почти полную тождественность химического состава изверженных и осадочных пород (табл. III.2.1). В то же время существенно различные условия их образования: глубинные в первом случае и приповерхностные во втором, – послужили причиной качественных различий в минеральном составе (табл. III.2.2).

Таблица III.2.1

Химические анализы «средних пород», вес. %
(Р. Гаррелс, Ф. Маккензи, 1974)

Окислы	Средняя магматическая порода	Средняя осадочная порода
SiO_2	63,5	59,7
Al_2O_3	15,9	14,6
Fe_2O_3	2,9	3,5
FeO	3,3	2,6
MgO	2,9	2,6
CaO	4,9	4,8
Na_2O	3,3	0,9
K_2O	3,3	3,2
CO_2	–	4,7
$H_2O(110^0\ C)$	–	3,4

Таблица III.2.2

Минеральный состав пород
(М. С. Швецов, 1958)

Минералы	Средняя магматическая порода	Средняя осадочная порода
1. Оливин	2,65	-
Биотит	3,86	-
Роговая обманка	1,60	-
Авгит	12,90	-
Анортит	9,80	-
2. Магнетит	3,15	0,07
Титанит и ильменит	1,45	0,02
Альбит	25,60	4,55
Ортоклаз	14,85	11,02
3. Кварц	20,40	34,80
Мусковит, серицит и гидрослюды	3,85	15,11
4. Другие глинистые минералы	-	14,51
Железистые осадочные минералы	-	4,00
Доломит, частью сидерит	-	9,07
Кальцит	-	4,25
Гипс и ангидрит	-	0,97
Фосфатные минералы	-	0,35
Органическое вещество	-	0,73
Всего:	100,11	99,45

М. С. Швецовым (1958 и др.) выделены следующие четыре группы минералов (см. табл. III.2.2).

1. Минералы, которые в заметных количествах встречаются только в магматических породах, – это минералы сложного состава, образовавшиеся в наиболее глубоких зонах земной коры, и поэтому наиболее неустойчивые в условиях земной поверхности.

2. Минералы переходные, встречающиеся как в магматических, так и в осадочных породах, но резко преобладающие в первых. Это магматические минералы, кристаллизовавшиеся, вероятно, на меньших глубинах из более холодных расплавов и потому более устойчивые в поверхностных условиях.

3. Минералы переходные, образующиеся частично и из расплавов, но резко преобладающие в поверхностной среде, где они не только сохраняются, но и создаются в большом количестве.

4. Минералы, представляющие собой чисто осадочные новообразования, отсутствующие в магматических породах. Эти минералы отличаются в значительной части простотой состава, являясь простыми солями, окислами и гидратами окислов. Это своего рода «плесень» или «ржавчина», покрывшая тонкой пленкой кору магматических пород, о которой шла речь в п. Вв. 2.

Необходимость как минимум **двумерного (2D)** подхода к классификации осадочных отложений определяется существенными различиями в механизме их формирования (см. предыдущий п. III.2.1). Это учитывается в классификации, предложенной Л. В. Пустоваловым (рис. III.2.6).

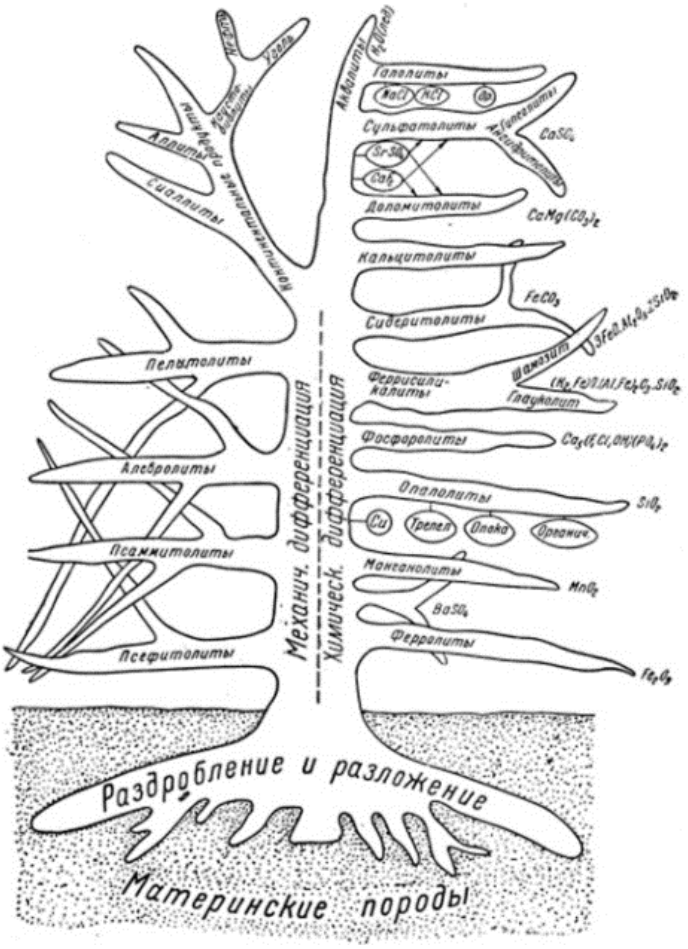


Рис. III.2.6. Схема развития процесса осадконакопления одного большого периода (Л. В. Пустовалов, 1940, ч. 2, с. 383)

Еще более наглядный пример распределения осадочных пород в соответствии с химической дифференциацией приведен на рис. III.2.7.

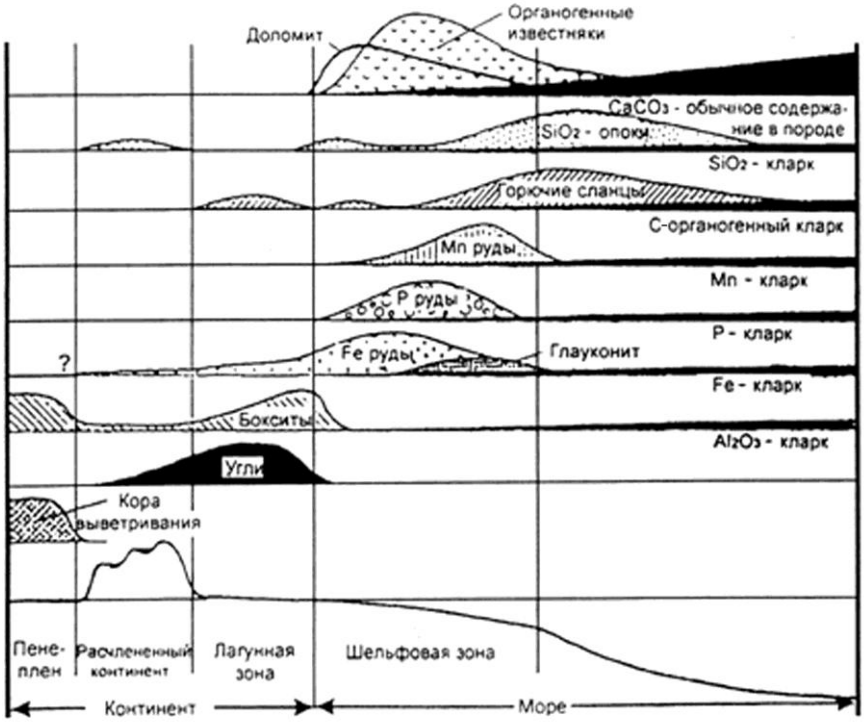


Рис. III.2.7. Фациальный профиль рассеянных содержаний элементов и их рудных накоплений в гумидных зонах, по (Н. М. Страхов, 1963)

III.2.3. Распространение осадочных пород

В п. Вв. 2 указано, что при всем многообразии осадочных пород их основной объем представлен тремя типами: песчаниками (в среднем 25 %), глинистыми породами (~ 50 %) и известняками (~ 20 %). Эти цифры в основном базируются на расчетах А. Б. Ронова, показанных на рис. III.2.8. Многие зарубежные исследователи склонны придавать большее значение тонкозернистым терригенным породам, что отражено в табл. III.2.3.

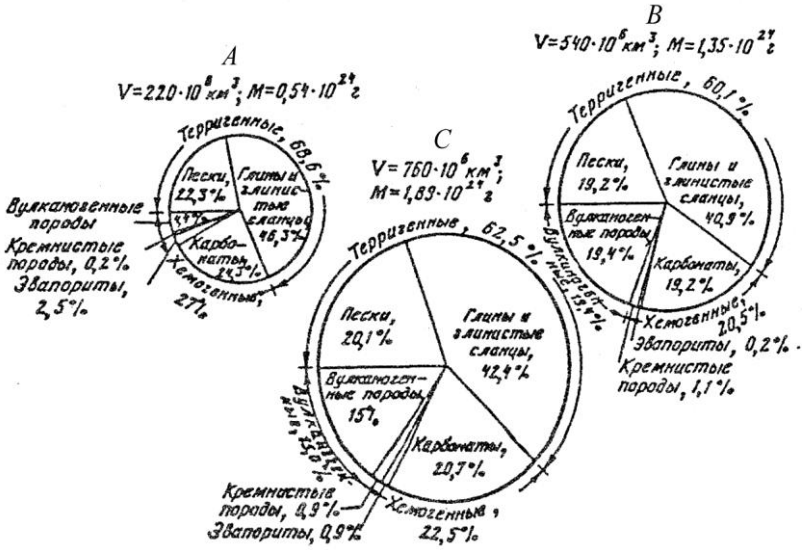


Рис. III.2.8. Объемы и распространенность важнейших типов пород в осадочном чехле платформ (*A*), складчатых поясах (*B*) и осадочной оболочке материков в целом (*C*). Группа хемогенных пород включает и биогенные (А. Б. Ронов, 1980)

Таблица III.2.3

Некоторые характеристики осадочных пород, по (Р. Гаррелс, Ф. Маккензи, 1974, с. 41)

Породы	Осадки, соответствующие породам	Метаморфические эквиваленты пород	Происхождение	Размер зерен	Главные минералы	Весовой процент	
						от общей массы осадочных пород	в т. ч. на континентальных плитах
Конгломераты	Гравий Галечник Валуны	Конгломераты	Кластические осадки	> 2 мм	Обломки пород	< 1	34
Песчаники	Пески	Кварциты	То же	1/16–2 мм	Кварц Полевой шпат Обломки пород	15-20	
Лютиты	Алевриты Глинистые илы Глины	Кристаллические сланцы	-"-	< 1/16	Глинистые минералы Кварц Полевые шпаты	70-80	58
Известняки	Рифы Известковые илы	Мраморы	Биохимические осадки, неорганические осадки, кластические осадки (обломки раковин)	Меняется в широких пределах, достигает сантиметров	Кальцит Доломит Арагонит	~ 5-15	5
Эвапориты	Соли	Нет	Осаждение из перенасыщенных растворов	То же	Галит Гипс Ангидрит	~ 5	3

III.3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Материалы части I пособия в основном опирались на представления о терригенных породах (блок «Работа с микроскопом» и др.), поэтому ниже сосредоточимся на изложении сведений о других типах пород.

III.3.1. Формирование терригенных (кварц-силикатных) и карбонатных пород

Наглядное представление о последовательных изменениях в составе основных типов осадочных пород дает рис. III.3.1. На нем в двух вариантах (длинный путь и короткий путь) рассмотрена эволюция пород преимущественно кислого (первый вариант) и смешанного (второй вариант) составов. Показано, что эти пути могут стыковаться (центральная часть рисунка).

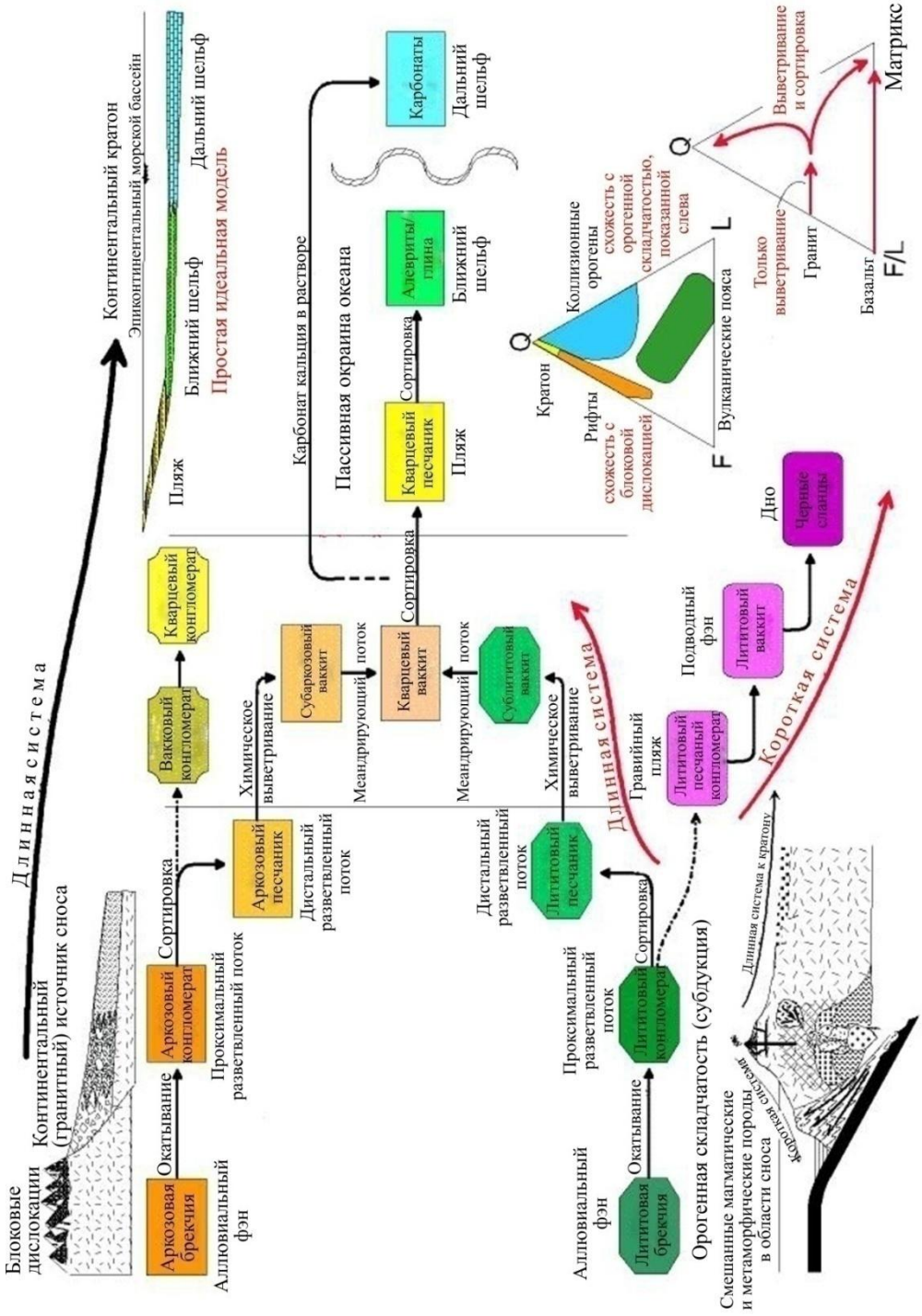


Рис. III.3.1. Формирование осадочных пород из различных источников сноса, в рамках смены обстановок осадконакопления, которые рассмотрены во II части пособия (K. A. Bevis, 2013: modified by L. Fitcher, D. Roche, 2001)

III.3.2. Карбонатолиты: происхождение

Для карбонатолитов характерен широкий диапазон химического и минерального состава, структур и текстур в комплексе разных взаимоотношений. Это определяется различными условиями формирования и преобразования отложений, которое может происходить тремя путями: 1) хемогенным и биохемогенным синтезом из растворов; 2) биологическим осаждением; 3) физической аккумуляцией (переотложением). Данные процессы происходят практически во всем спектре обстановок – от субаэральных до глубоководных, в широком диапазоне физико-химических условий (см. II часть). Это обеспечивается высокой геохимической подвижностью карбонатного материала, которая и в последующем проявляется в интенсивной трансформации отложенных осадков, часто приводя к практической невозможности установить их происхождение. В общем виде представления о происхождении известняков и их преобразовании показаны на рис. III.3.2.

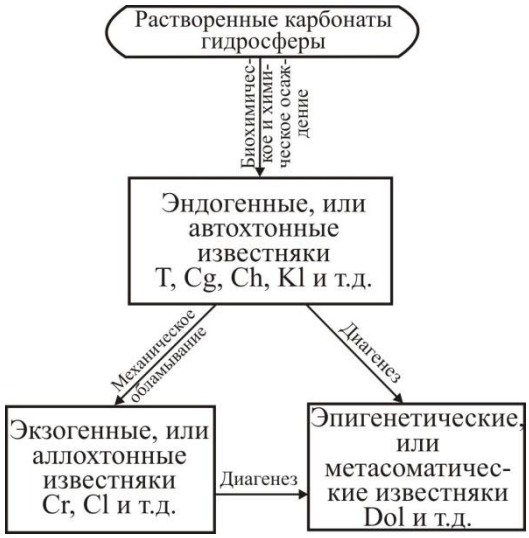


Рис. III.3.2. Генетическая классификация известняков (Ф. Петтиджон, 1981, с. 396): T – известковый туф, Cg – ракушечник, Ch – писчий мел, Kl – клинтит, Cr – калькаренит, Cl – кальцелютит, Dol – доломит

Хотя в природе наблюдается полный ряд взаимоотношений $CaCO_3$ и $MgCO_3$, большинство карбонатных пород содержит или менее 4 % $MgCO_3$ (чистые известняки) или более 40 % (доломиты или смешанные доломито-кальцитовые). Принципиальная схема происхождения доломитов приведена на рис. III.3.3.

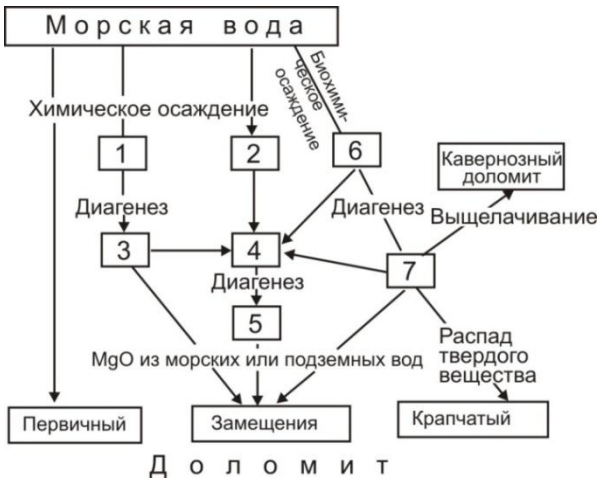


Рис. III.3.3. Схема происхождения доломита (Ф. Петтиджон, 1981, с. 463):

1 – арагонитовый ил; *2* – оолиты; *3* – кальцилютит; *4* – детрит; *5* – калькаренит; *6* – остатки скелетов беспозвоночных; *7* – биостромные и биогермные известняки

С повышением степени доломитизации растет пористость известняков, так как вследствие реакции

$$2CaCO_3 + Mg^{2+} = CaCo_3 \times MgCO_3 + Ca^{2+}$$

сокращение объема твердого вещества составляет около 12,5 %.

Таблица III.3.1

Генезис карбонатных пород (Н. В. Логвиненко, 1984, с. 184)

Генезис	Состав		
	кальцитовые породы	доломитовые породы	породы смешанного состава
Обломочные	Известняковые конгломераты, конгломерато-брекчии, брекчии, "известняковые песчаники", алевролиты	Доломитовые конгломераты, конгломерато-брекчии, брекчии – "доломитовые песчаники", алевролиты	Известняково-доломитовые, доломитово-известняковые конгломераты и брекчии, песчаники и алевролиты
Биогенные	Известняки рифовые: коралловые и мшанковые. Известняки-ракушечники (цельнораковинные): фораминиферовые, моллюсковые, криноидные и др. Известняки органогенно-детритовые (крупно-, средне-, мелко- и тонкозернистые): фораминиферовые, моллюсковые, криноидные и др. Известняки водорослевые. Мел.	Доломиты водорослевые, доломиты с органогенной и органогенно-обломочной структурой	Известняковые доломиты, доломитовые и анкеритовые известняки, водорослевые и с органогенной структурой; углисто-карбонатные породы
Хемогенные	Известняки микрозернистые и пелитоморфные, оолитовые, псевдооолитовые, пизолитовые, известняковые туфы и натеки	Доломиты микрозернистые, пелитоморфные, оолитовые, псевдооолитовые	Известняковые доломиты, доломитовые и анкеритовые известняки микрозернистые и пелитоморфные, сульфатно-карбонатные породы: ангидрито-доломиты. Кремнисто-карбонатные породы: кремнистые известняки и доломиты. Глинистые мергели
Измененные – перекристаллизованные	Известняки кристаллически-зернистые и мраморизованные	Доломиты кристаллически-зернистые и мраморизованные	Известняковые доломиты, доломитовые известняки, кристаллически-зернистые и мраморизованные

Таблица III.3.2

Поликарбонатолиты как минеральные группы и характерные представители поликарбонатных осадков и пород (Систематика ..., 1998, с. 186-187)

Изотипы кальцита – доломита – арагонита					Гидратированные карбонатолиты			
изотипы кальцита			изотипы доломита	изотипы арагонита				
Mg – карбонаты	Fe – карбонаты	Mn – карбонаты	Ca – Fe(Mg) карбонаты	Sr – Ba – Pb – карбонаты	гидрокарбонаты Cu	гидрокарбонаты Al	гидрокарбонаты Na	гидрокарбонаты Ca – Mg
Магнезитолиты, доломит, магнезитолиты, сульфатмагнезитолиты	Сидеритолиты, сидероплезитолиты, манганосидеритолиты	Родохрозитолиты, Ca – родохрозитолиты, манганокальцитолиты	Анкеритолиты, Fe – доломитолиты, доломит-анкеритолиты	Стронцианитолиты, витеритолиты, церусситоносные породы	Малахиты - азуриты	Алюмогидрокальцитолиты	Сода, трона, шортитолит	Гидрокальцитолиты, (моногидрокальцитолиты), гидромагнезитолиты
					Давсонитолиты			

III.3.3. Классификации карбонатолитов

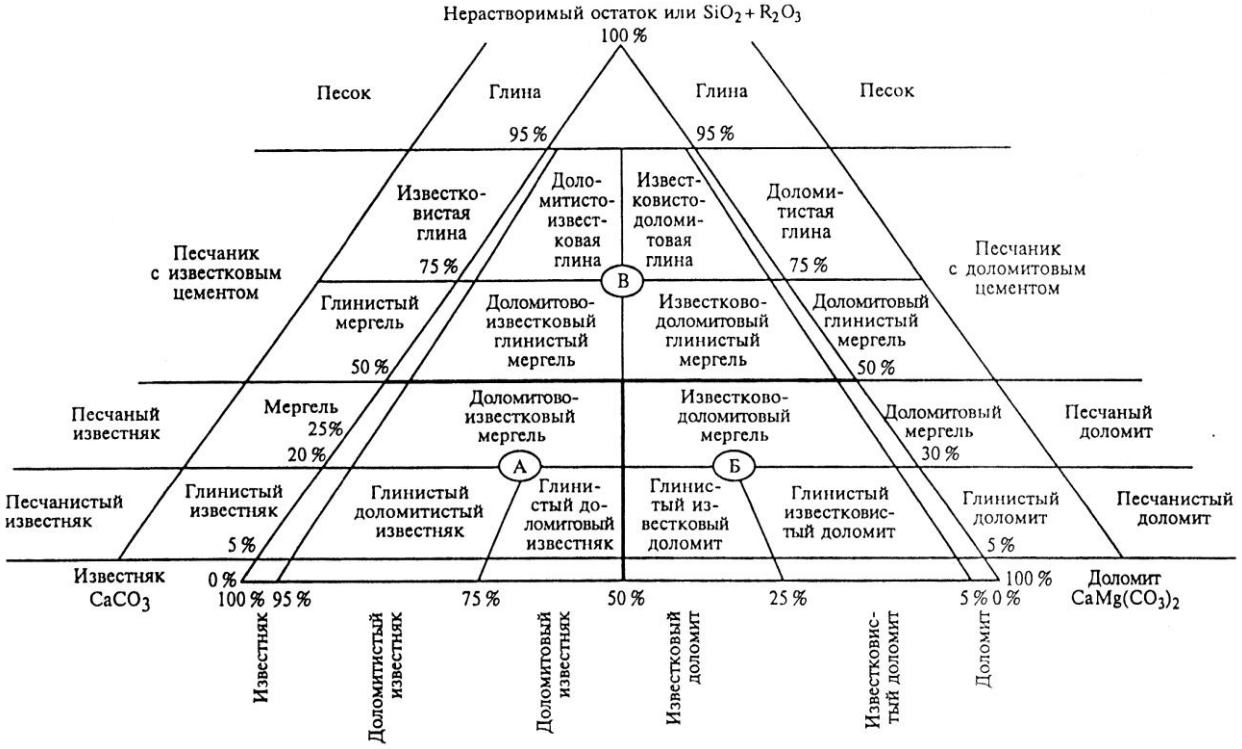


Рис. III.3.4. Классификационная диаграмма смешанных карбонатных пород (С. Г. Вишняков, 1933)

Таблица III.3.3

Принципиальная схема подразделения карбонатных пород по их структуре
(В. Г. Кузнецов, 2007, с. 342-343; с сокращениями)

Структуры	Биоморфные (состоящие из целых остатков организмов в положении роста)				Зернистые (граноморфные)		Кристаллические (кристалломорфные, кристаллитовые)		Обломочные (кластоморфные, кластолитовые
	Биогермные (зоо- и фитобиогермные)			Цельнораковинные	Скелетные	Нескелетные (форменные)	Равнозернистые (равнокристаллические, гомеомерные, гомеометрические, гомеометрически-зернистые	Разнозернистые (разнокристаллические, гетероморфные, гетерометрические)	По размеру и частично по окатанности карбонатных обломков
	Ветвистые	Пластинчатые	Обволакивающие (и цементирующие)						
Примеры пород – известняков (доломитов)	Коралловые, мшанковые, строматопоровыеи др.	Палеоаплизиновые и др	Строматолитовые и др.	Ракушняки: фораминиферовые, устричные, птероподовые, гастроподовые и т.д.	Органогенно-обломочные (детрнтовые): состоят из определимых обломков органических остатков размером обычно более 0,1 мм	Шламовые: состоят из неопределимых обломков органических остатков размером обычно менее 0,1 мм	Пелитоморфные < 0,005 мм Микрозернистые (кристаллические) 0,005-0,05 мм Тонкозернистые (кристаллические) 0.05-0,1 мм Мелкозернистые (кристаллические) 0,1-0,25 мм Среднезернистые (кристаллические) 0,25-0,5 мм Крупнозернистые (кристаллические) 0,5-1,0 мм Грубозернистые (кристаллические) 1,0-2,0 мм Гигантозернистые (кристаллические) > 2.0 мм	Разнозернистые, в том числе порфировидные и др.	Известняковые (доломитовые) брекчии, конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты
	Полибиогермные, полифитовые				Включая мел	Пизолитовые, оолитовые, псевдооолитовые, онколитовые, комковатые, сгустковые, пелоидные, пеллетовые, сферолитовые, копролитовые, желваковые и т.д.	Включая туфы и травертины, имеющие крустификационную структуру		

В отечественной литературе постепенно приобретают все большее значение классификации Р. Фолка (R. Folk, 1959) и Р. Данхэма (R. Dunham, 1962), основанные на структурных взаимоотношениях составных частей карбонатных пород. В. Г. Кузнецов указывает на три причины такой экспансии: 1) относительная простота классификаций и возможность использования уже при полевых описаниях; 2) объективность, что позволяет практически однозначно выделять и описывать породы; 3) (не столь очевидное и прямолинейное) существенное прикладное значение, прежде всего в геологии нефти и газа, поскольку коллекторские свойства пород во многом объясняются именно их первичной структурой.

На рис. III.3.5 – III.3.8 приводятся классификации карбонатных пород Р. Фолка и Р. Данхэма с более поздними дополнениями, т. е. в современном виде.

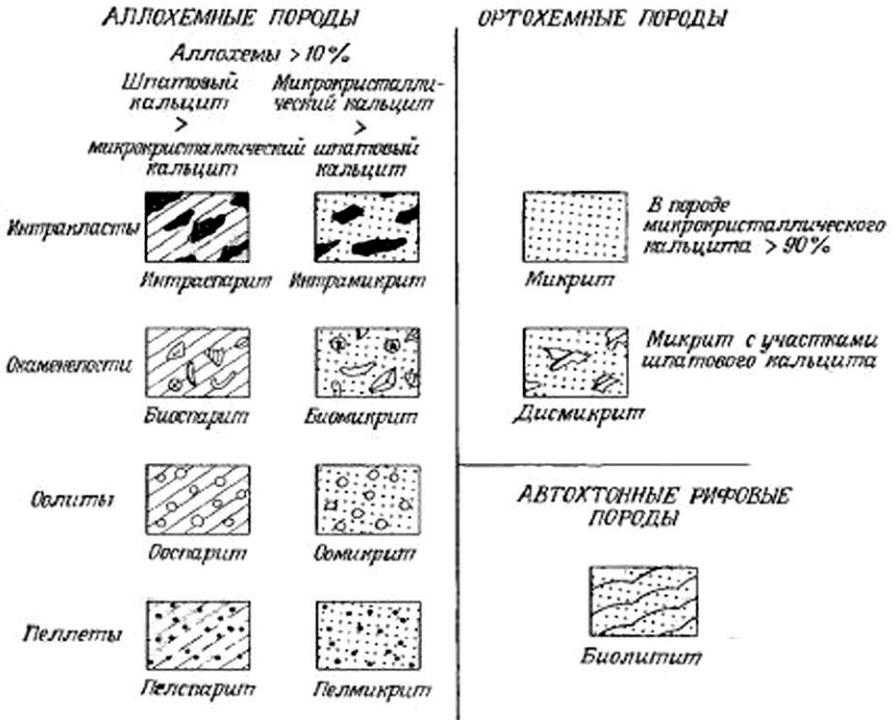


Рис. III.3.5. Классификация известняков по Р. Фолку (терминология применительно к главным разновидностям известняка)

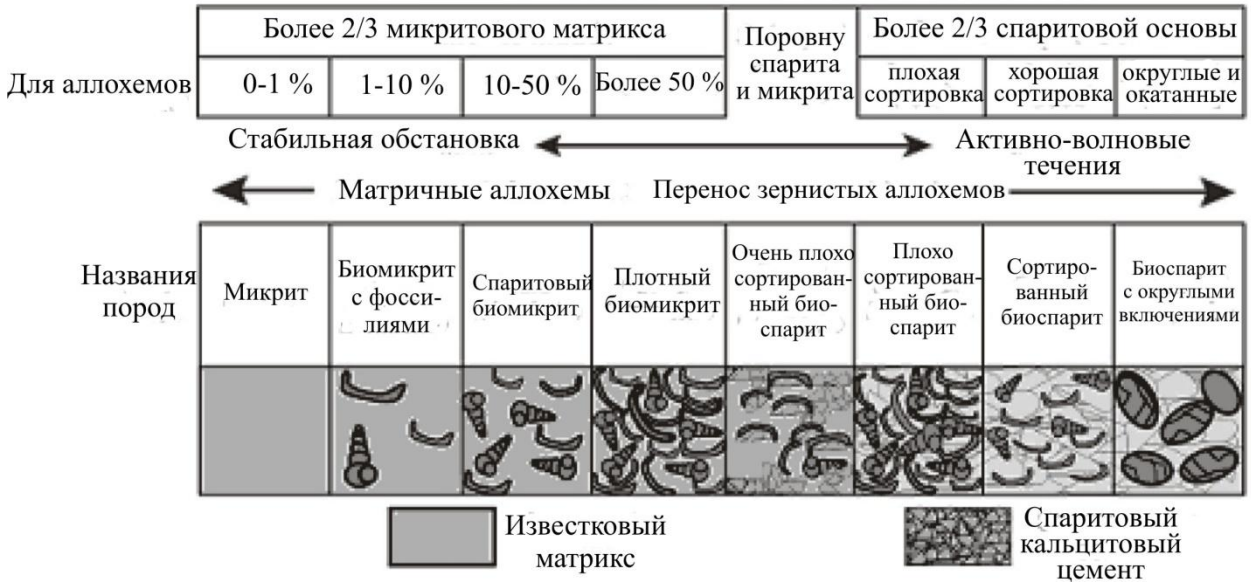


Рис. III.3.6. Структурная классификация карбонатных пород (Р. Фолк, 1959; с дополнениями C. G. St. C. Kendall, 2005)

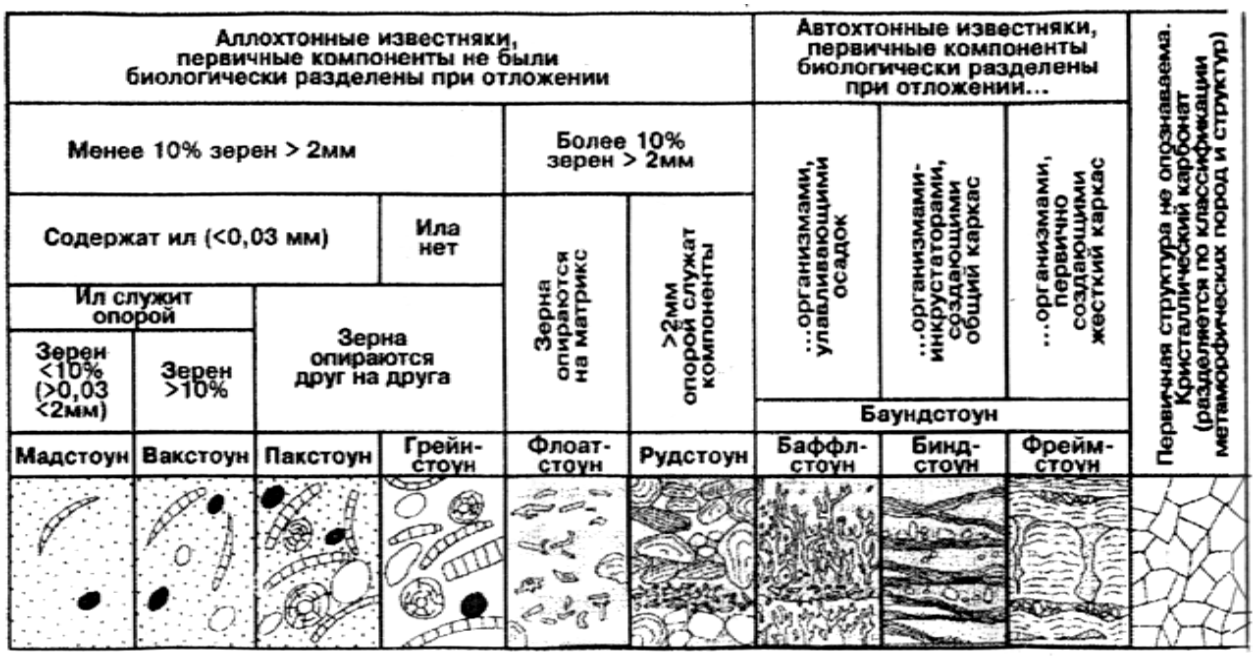


Рис. III.3.7. Классификация известняков Р. Данхэма (R. Dunham, 1962), дополненная А. Эмбри и Дж. Кловеном (A. Embry, J. Klovan, 1971)

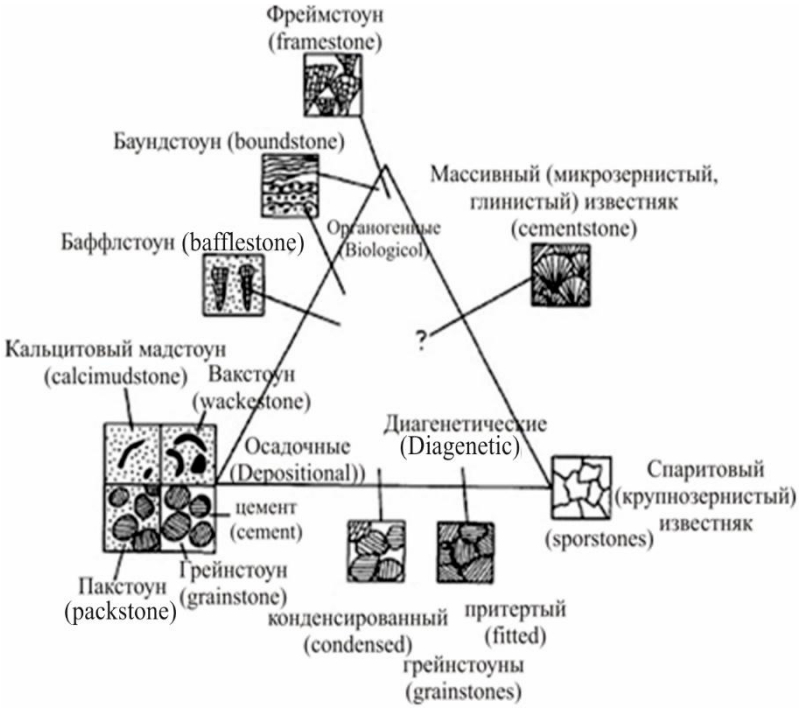


Рис. III.3.8. Главные структурные группы и их отношения (V.P. Wright, 1992); справа вверху – упрощенная схема из SEPM-strata. Сравнение с табл. III.3.1 показывает «замыкание цепочки» приведенных сведений

(Использование классификации Р. Данхэма для геологических (фациальных) реконструкций показано на рис. II.14.7, II.14.9, II.14.10.)

III.4. ДРУГИЕ ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ

Приведенные выше сведения (см. пп. Вв.2, III.2.3) показывают, что суммарная доля некластических и некарбонатных осадочных пород, определенная разными авторами, не превышает 5 % от их общего количества. В то же время их значение достаточно велико как в силу именно специфичности, так и по ряду других причин, включая экономическое значение. Рассмотрение основных осадочных пород этой, достаточно условно выделяемой группы проводится в порядке химической дифференциации, кратко рассмотренной в п. III.2.1 и лежащей в основе классификации осадочных пород (см. рис. III.2.6, III.2.7).

III.4.1. Алферманголиты

Породы, более чем наполовину сложенные минералами алюминия, железа и марганца, весьма тесно связаны между собой, что является основанием для их совместного рассмотрения как **алферманголитов** (по В. Т. Фролову, 1993, с. 112). Такая связь для «рудной триады» Aℓ-Fe – Mn установлена еще в конце 30-х гг. Н. М. Страховым (рис. III.4.1) применительно к локализации рудных скоплений.

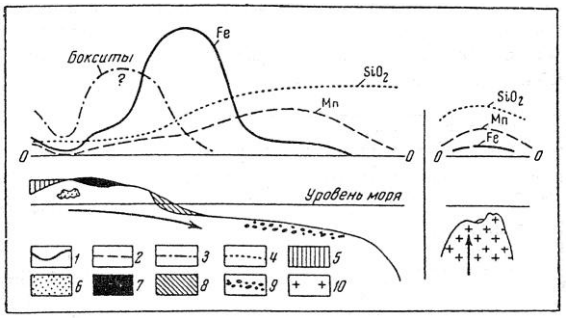


Рис. III.4.1. Фациальные профили железных, марганцевых руд и бокситов (Н. М. Страхов, 1941): *1* – кривая распределения Fe руд между различными железорудными формациями; *2* – кривая распределения Mn руд между различными марганцеворудными формациями; *3* – то же для бокситов; *4* – распределение SiO_2 между различными осадочными фациями; *5* – руды коры выветривания; *6* – руды зоны глубокой циркуляции вадозных вод; *7* – озерные и болотные руды; *8* – сидеритовые руды паралических угленосных бассейнов; *9* – сидериты нижней (глинистой) зоны шельфа; *10* – осадочно-эффузивные окисные, сульфидные и карбонатные руды

Стрелками показано направление выноса рудообразующих растворов

Общность в происхождении и формировании алферманголитов подчеркивает и большое сходство их минерального состава в отношении кристалличности, структур и химизма (табл. III.4.1).

Таблица III.4.1

Химическая классификация окисных минералов алюминия, железа и марганца
(В. Т. Фролов, 1993, с. 113)

Степень кристалличности	Минералы		
	алюминия	железа	марганца
Аморфные	Алюмогель, или спорогелит $A\ell_2O_3 \times nH_2O$ или $HA\ell O_2 \times nH_2O$	«Феррогель», лимонит или гидрогётит $Fe_2O_3 \times nH_2O$ или $HFeO_2 \times nH_2O$ Ферроксигит	«Манганогель», или вады, гидровернадит $MnO_2 \times nH_2O$ (аналог $\delta \times MnO_2$) Вернадит
Полукристаллические, или кристаллитовые (коллоидально-волокнистые)	Гидраргиллит, или гиббсит $A\ell_2O_3 \times 3H_2O$, или $2A\ell(OH)_3$ Бёмит $A\ell_2O_3 \times H_2O$, или $A\ell OOH$	$\delta \times FeOOH$ Лимонит $Fe_2O_3 \times 3H_2O$, или $2Fe(OH)_3$ Лепидокрокит $Fe_2O_3 \times H_2O$, или $FeOOH$	$MnO_2 \times nH_2O$, или $MnO_2 \times mR_2O \times nRO \times \rho R_2O_3 \times qH_2O$ (R-одно-, двух- и трехвалентные катионы металлов) Гидроманганиты и манганиты $MnO_2 \times Mn(OH)_2 \times 3(?)H_2O$, или $R^+_{2x}Mn_{1-x}(O, OH)_2 \times (OH, H_2O)_{cx}$ ($R \times Mn^{3+}$, Na и др. асболан асболан-бузерит бузериты I и II тодорокиты бёрнессит
(Полно) кристаллические	Диаспор $A\ell_2O_3 \times H_2O$, или $HA\ell O_2$	Гётит $Fe_2O_3 \times H_2O$, или $HFeO_2$ Гематит Fe_2O_3 Магнетит Fe_3O_4, или $FeO \times Fe_2O_3$	Пиролюзит MnO_2 Браунит Mn_2O_3 Гаусманит Mn_3O_4 или $2MnO \times MnO_2$

Наиболее широкий спектр образования присущ ферритолитам (рис. III.4.2), в силу более высокой миграционной способности Fe по сравнению с Al.

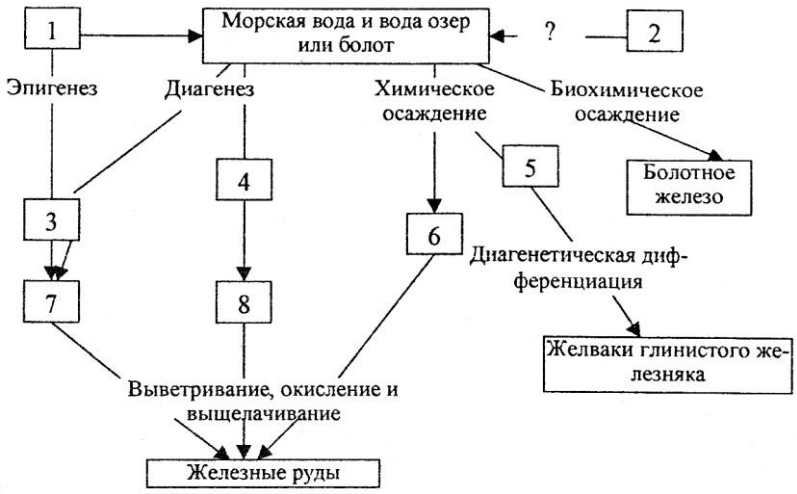


Рис. III.4.2. Происхождение железосодержащих осадков (Ф. Дж. Петтиджон, 1981, с. 527): *1* – вадозное железо; *2* – вулканогенное железо; *3* – замещение известняков; *4* – реакция с глинистыми илами; *5* – железистые илы; *6* – пластовые железистые сульфиды, карбонаты, окислы, силикаты; *7* – железняки замещения; *8* – железистые силикаты, включая глауконит

Перенос и дифференциацию железистых минералов, в зависимости от физико-химических условий, иллюстрирует рис. III.4.3.

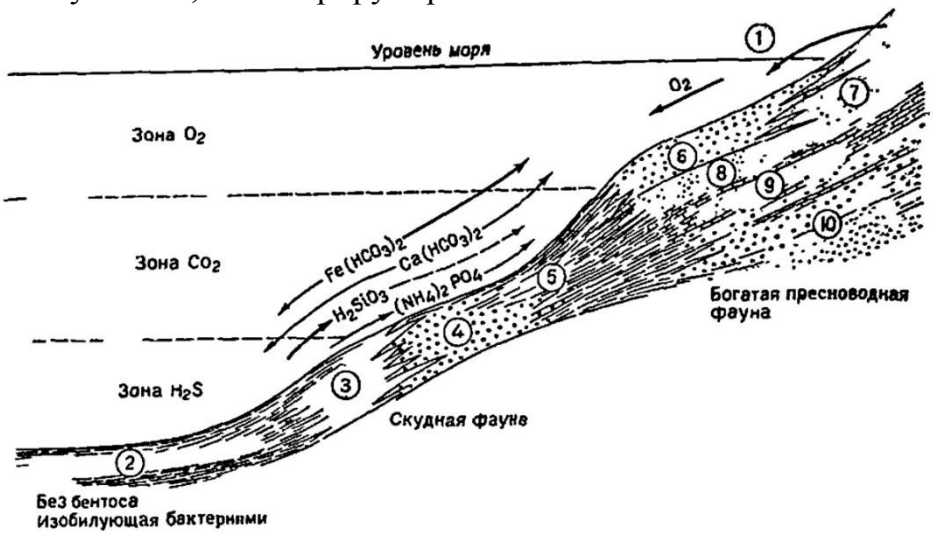


Рис. III.4.3. Схематический разрез, показывающий соотношение между фациями железняка и физико-химическими условиями (Ф. Дж. Петтиджон, 1981, с. 530):

Зона O_2 – pH 7,2-8,5; Eh от +0,05 до +0,4; наиболее важные агенты: O_2, CO_2, Cl^{-1}, SO^{-2}_4, CO^{-2}_3, HCO^{-1}_3, NO^{-1}_3.

Зона CO_2 – pH 6-7,5; Eh от +0,05 до -0,2; наиболее важные агенты: HCO^{-1}_3, Cl^{-1}, SO^{-2}_4, PO^{-3}_4, NO^{-1}_3.

Зона H_2S – pH 7,2-9; Eh от -0,2 до -0,5; наиболее важные агенты: H_2S, $C_xH_yO_2$, C_xH_y, NH_4OH.

1 – обломки с континента; *2* – пиритовый сапропелевый мергель; *3* – кремень; *4* – шамозит; *5* – глинистый железняк; *6* – лимонитовый оолит; *7* – известковый крупнозернистый песок; *8* – глауконитовый тонкозернистый песок; *9* – лимонитовый крупнозернистый песок; *10* – лимонитовый оолит и крупные обломки

Особым типом ферритолитов являются железистые кварциты или *джеспилиты* (англ. jaspilite) – яснослоистые кварц-магнетитовые или кварц-гематитовые породы, связанные с массовым осаждением коллоидов Fe или SiO_2 в морских водоемах. Они распространены исключительно в докембрийских толщах и являются важным объектом промышленного значения (BIF – banded iron formation: полосчатые железные образования).

Большой интерес представляют *железо-марганцевые конкреции* (ЖМК). Они встречены и изучены в болотных и морских неокеанических осадках, но особое значение и уникальность представляют ЖМК океанов, открытые в конце XIX в. и в настоящее время являющиеся объектом практической значимости.

III.4.2. Силициты (кремнистые породы)

Основная часть кремнезема, высвобождаемого в зоне выветривания, переносится в виде истинного, резко недонасыщенного раствора, вероятно, в виде монокремниевой кислоты H_4SiO_4. Учитывая, что концентрация кремнезема в современных речных водах значительно выше, чем в морских (10-20 → 0.5-2 мг/л), основным фактором его осаждения являлось биогенное извлечение. Хемогенная садка кремнезема возможна в зонах с резким изменением химизма среды (барьер река – море) и особенно – в условиях резкой активизации вулканической деятельности, при поступлении больших масс вещества, резко повышающих концентрацию SiO_2 в воде. Ярким примером биогенных кремнистых пород служат диатомовые и радиоляриевые илы, покрывающие огромные поверхности дна морей и океанов и наблюдающиеся: первые – с мезозоя, а вторые – по всему разрезу фанерозоя и предположительно докембрия. Понятно, что в докембрии, со значительно менее развитой органической жизнью, доля химического осаждения существенно преобладала.

На рис. III.4.4 приводится общая схема формирования силицитов, на рис. III.4.5 – условия осаждения и растворения кремнезема и карбоната кальция, в зависимости от изменения условий среды.

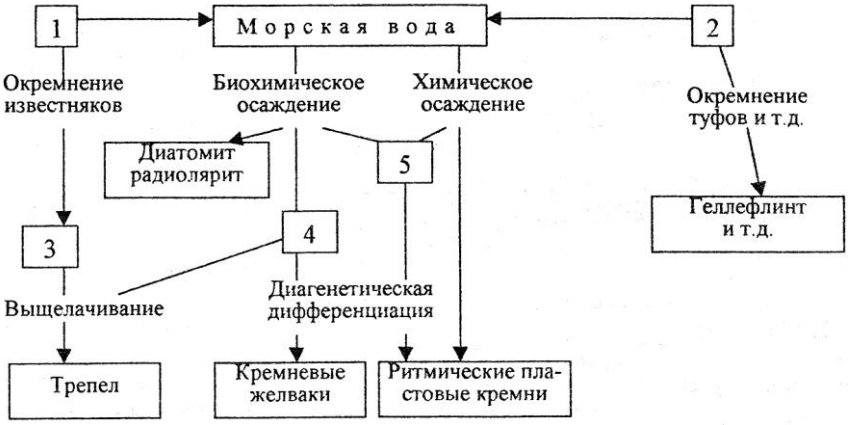


Рис. III.4.4. Происхождение кремния и других кремнистых осадков (Ф. Дж. Петтиджон, 1981, с. 503): *1* – кремнезем, образовавшийся при выветривании; *2* – вулканогенный кремнезем; *3* – кремни замещения (метасоматиты); *4* – кремнистый известняк; *5* – кремнистые илы

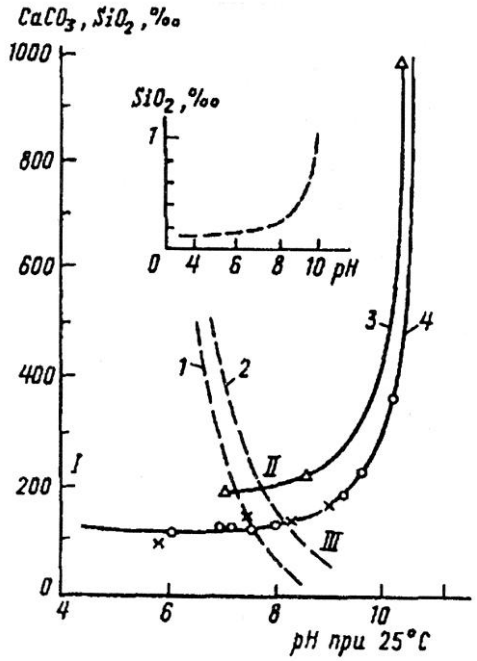
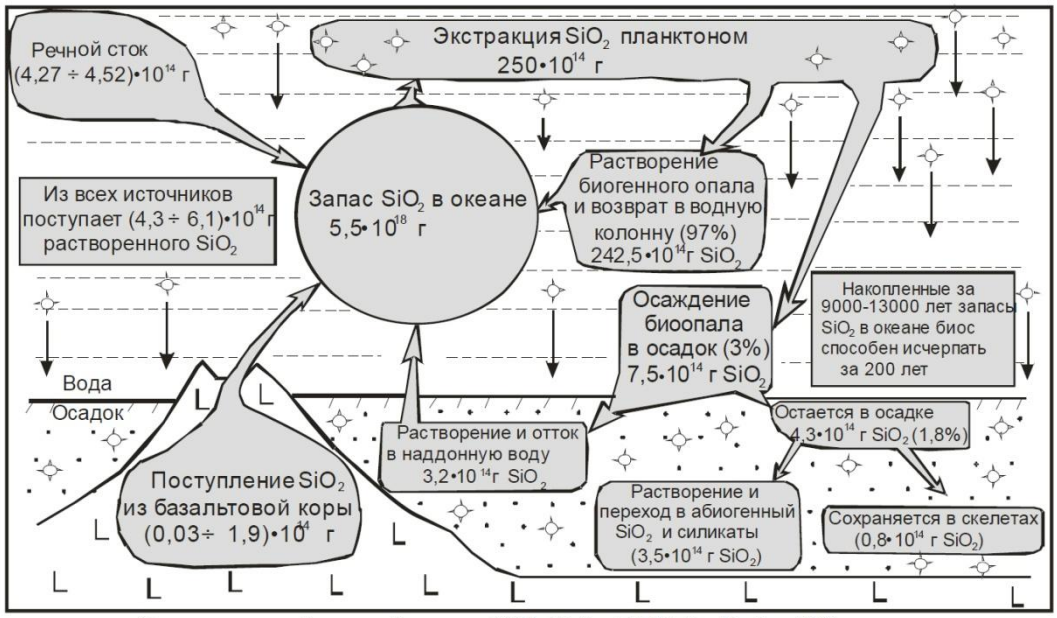


Рис. III.4.5. Условия осаждения и растворения кремнезема и карбоната кальция в зависимости от pH и концентрации компонента, по Г. М. Фридману, из (Н. В. Логвиненко, 1984, с дополнениями В. Т. Фролова, 1992, с. 309): *1* – кальцит в морских водах; *2* – кальцит в пресных водах; *3* и *4* – аморфная SiO_2 при температурах 0° (*4*) и 25° (*3*). Зоны: I – растворения арагонита и кальцита, осаждения кремнезема; II – осаждения всех фаз; III – осаждения кальцита, арагонита, растворения кремнезема. На врезке – график растворения порошка кварца

Основная причина резкой недонасыщенности современной гидросферы кремнеземом – интенсивное его извлечение кремневым биосом, отрицательное, подавляющее влияние которого на химическую садку прогрессирует (рис. III.4.6). Однако вследствие растворения биоскелетов основная масса кремнезема возвращается в гидросферу, обеспечивая автономно поддерживаемый баланс в режиме постоянного недонасыщения.



Составлено по данным: Лисицын, 1974; Wollast,1974; De Master, 1981.

Рис. III.4.6. Годичный цикл кремнезема в океане (Ю. Г. Волохин, 2012, с. 28)

Таблица III.4.2

Классификация силицитов (В. Т. Фролов, 1992, с. 275)

Структура		Минеральный состав					
		опал и кристобалит	халцедон и кварц			кварц	
Биоморфные	Диатомовая	Диатомиты	Кремни	Нет	Кварциты апосилицитовые (апосилицито-кварциты)	Нет	
	Радиоляриевая Спикуловая (губковая)	Радиоляриты Спикулиты, или спонголиты		Кремни и яшмы биоморфные, радиоляриевые (радиоляриты), спикуловые (спикулиты), коралловые, фораминиферовые и др.		Радиоляриевые спикуловые: радиоляритокварциты, спонголито-кварциты	
Абиоморфные	Аморфная: а) "сплошная" (бесструктурная) б) глобулярная	Трепела, опоки (гёзы), другие опалолиты; гейзериты, корки и др.		Нет		Нет	
	Криптокристаллическая	Порцелланиты (?)		Кремни, фтаниты (лидиты) и яшмы абиоморфные			
	Кристаллическая	Нет		Нет		Абиоморфные: яшмо-кварциты, фтанито-кварциты, кремнекварциты	

III.4.3. Фосфориты

Фосфориты – осадочные породы, более чем на 50 % (19,5 % P_2O_5) состоящие из фосфатов кальция, имеющих общую формулу $Ca_5(PO_4, CO_3)_3$ (F, Cℓ, OH), с широким проявлением изоморфизма. Наряду с карбонатными формами (коллофан, франколит, карбонатапатит), существенную роль играют собственно осадочные разновидности апатита (хлор-, фтор- и гидроксил-).

Таблица III.4.3

Химический состав фосфоритов, %

(В. Т. Фролов, 1993, с. 95: по ряду источников)

Окислы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	3,25	47,01	12,46	3,80	0,17	—	2,50	64,51	—	3,65
TiO_2	0,07	0,11	0,10	—	—	—	0,02	—	—	—
Al_2O_3	0,23	0,70	3,06	0,81	0,02 (Al)	1,59	0,32	1,15	—	0,29
Fe_2O_3	2,50	2,37	2,34	0,61	—	1,61	0,27	0,59	—	1,46
FeO	—	—	2,81	0,30 (FeS_2)	0,05 (Fe)	—	—	—	—	0,07
MnO	0,20	0,05	0,16	0,07	—	—	—	—	—	0,05
CaO	49,79	24,01	37,17	48,75	33,15 (Ca)	50,21	52,5	14,76	53,70	51,6
MgO	0,35	0,42	0,80	2,53	1,02 (Mg)	1,63	0,08	0,50	0,80	0,03
P_2O_5	36,18	15,61	23,47	34,29	32,09	26,65	35,2	10,84	37,90	38,4
$Na_2O + K_2O$	0,30	1,07	1,86	0,26	—	—	0,95	—	0,28	0,34
F	0,57	1,88	2,59	3,49	3,02	2,92	4,00	0,70	4,30	
SO_3	—	1,20	1,36	0,85	0,73	1,63	—	—	—	—
П. п. п.	6,29	5,33	9,25	4,37	11,50	—	6,26	—	—	—
CO_2	—	—	—	—	—	10,27	2,76	1,02	2,30	0,90
Н. о.	—	—	—	—	—	3,78	—	67,24	—	—

Породы: 1 – фосфоритовая конкреция, Є, Подолия; 2 – желваки кварцево-песчанистого фосфорита, K_2, сеноман, Брянск; 3 – желваки глауконито-глинистого фосфорита, K_1, валанжин, р. Вятка; 4 – пластовый фосфорит, Є, Каратау, Казахстан; 5 – фосфоритовая конкреция из диатомитового ила шельфа Юго-Западной Африки, глубина 91 м (среднее по 7 анализам); 6 – пелитоморфные фосфориты, P, артинский ярус, Приуралье; 7 – пеллетовые (зернистые) фосфориты, P, Фосфория, США; 8 – ракушняковые (створковые оболовые) фосфориты, O, Маарду, Таллинн; 9 – зернистые фосфориты, K_2, Марокко; 10 – пеллетовые (зернистые) фосфориты, Є, Австралия, бассейн Джорджия

Таблица III.4.4

Основные фосфатные минералы (В. Т. Фролов, 1993, с. 94)

Минерал	Химическая формула	Степень кристалличности	N_g	N_p	$N_g - N_p$
Коллофан	$Ca_{10}P_{5,2}C_{0,8}F_{1,8}(OH)$	Аморф.	1,60 —	1,62	нет
Гидроксилапатит	$Ca_{10}P_6O_{24}(OH)_2$, или $Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6$	Полукрист.	1,657	1,653	0,004
Карбонатапатит	$Ca_{10}P_5CO_{24}(OH)_3$	»	1,632	1,625	0,007
Курскит	$Ca_{10}P_{4,8}C_{1,2}O_{22,8} \times F_2(OH)_{1,2}$	»	1,597—1,610	1,590—1,602	0,007—0,008
Франколит	$Ca_{10}P_{5,2}C_{0,8}F_{1,8}(OH)$	»	1,610—1,630	1,605—1,614	0,005—0,006
Фторапатит	$Ca_{10}P_6O_{24}F_2$	Полнокрист.	1,633—1,669	1,631—1,665	0,002—0,005

Таблица III.4.5

Классификация фосфоритов (по В. Т. Фролову, 1993, с. 89; с изменениями)

Группа	Подгруппа	Класс
А. Пелитоморфные	I. Биоморфные: Радиоляриевые, фораминиферовые (?), водорослевые	–
	II. Абиоморфные	1. Бесструктурные («сплошные») 2. Микрозернистые а) микросфероагрегатные б) микрообломочные
Б. Фанероморфные (яснозернистые)	I. Биоморфные	1. Ракушняковые 2. Губковые 3. Строматолитовые 4. Костяные брекчии
	II. Абиоморфные	1. Сфероагрегатные: оолитовые, пеллетовые, конкреционные 2. Обломочные

В отношении генезиса фосфоритов наиболее известны две концепции. Одна из них (Г. И. Бушинский и др.) связывает фосфатонакопление с внутриконтинентальными областями, в полузамкнутых водоемах. Осаждение фосфатных минералов здесь происходит как хемогенным путем, так и биогенным способом. Вторая концепция увязывает формирование фосфоритов с проявлением *апвеллинга*: подъема поверхностных вод за счет суммарного воздействия течений, вызванных ветром, силой вращения Земли и рельефом дна (рис. III.4.7).

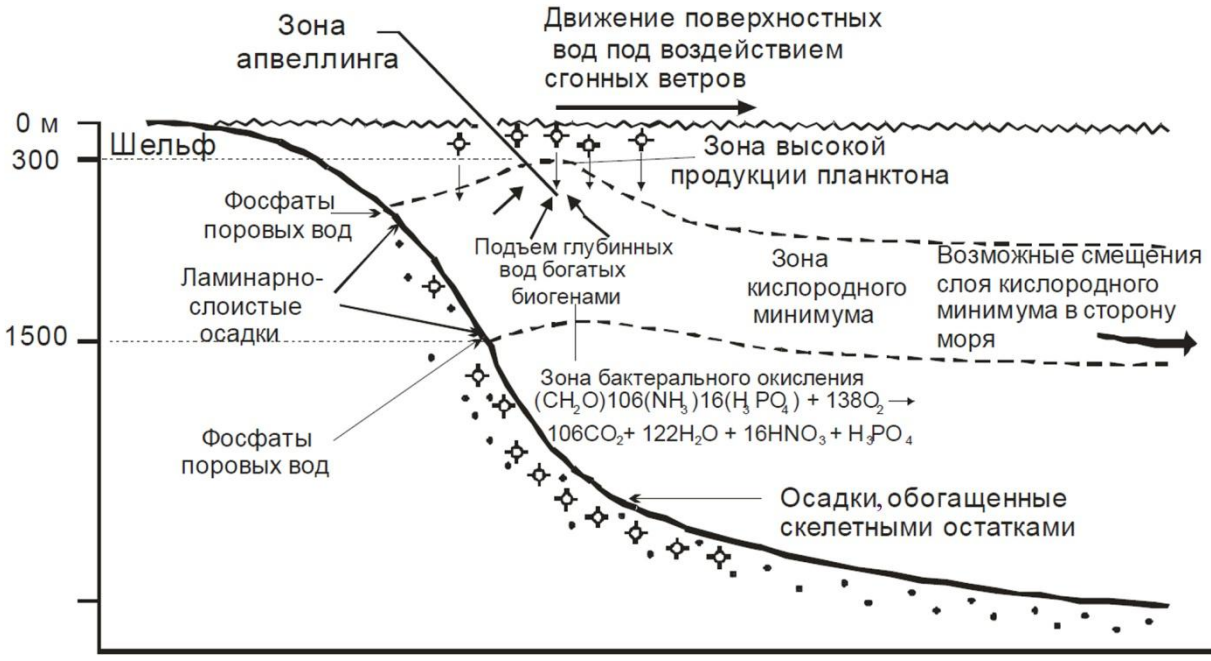


Рис. III.4.7. Схема седиментационных процессов в областях прибрежных апвеллингов, возникающих под воздействием сгонных ветров (H. C. Jenkyns, 1986; из: Ю. Г. Волохин, 2012, с. 22)

III.4.4. Эвапориты

Данные породы объединяет непосредственное химическое осаждение или кристаллизация при перенасыщении растворов, то есть при испарении вод (лат. evaporo – испарять), что присуще аридному типу литогенеза (см. п. III.2.1).

Таблица III.4.6

Минералы эвапоритов

Класс	Состояние	Минерал	Формула
Хлориды	Негидратированное	Галит Сильвин	$NaCl$ $KNCl$
	Гидратированное	Бишофит Карналлит	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$ $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$
Сульфаты	Негидратированное	Глауберит Ангидрит Барит	$Na_2SO_4 \cdot CaSO_4$ $CaSO_4$ $BaSO_4$
	Гидратированное	Мирабилит Кизерит Гипс	$Na_2SO_4 \cdot 4H_2O$ $MgSO_4 \cdot H_2O$ $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Карбонаты	Гидратированное	Сода Гейлюссит	$Na_2CO_3 \cdot 7H_2O$ $Na_2Ca(CO_3)_2 \cdot 5H_2O$
Бораты	Негидратированное	Бура Боранит	$Na_2B_4O_7$ $Mg_3Cl\,B_7O_{13}$
	Гидратированное	Гидроборацит	$MgCa\,B_6O_{11} \cdot 6H_2O$

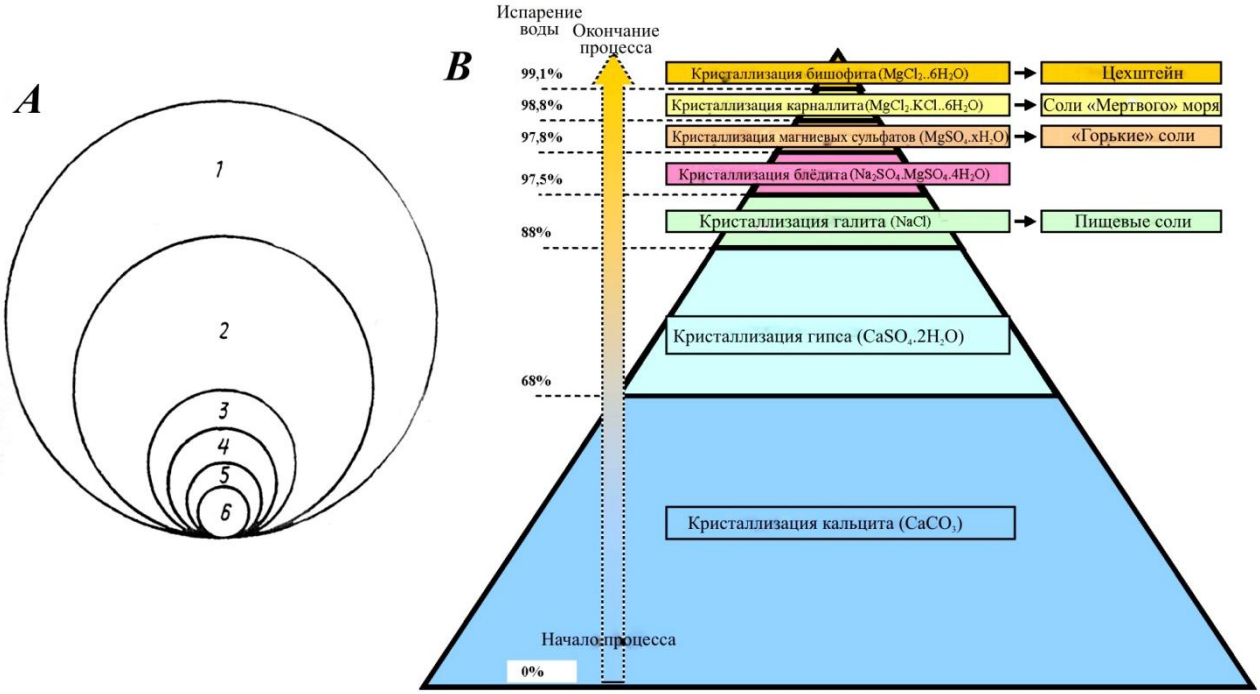


Рис. III.4.8. Последовательность осаждения эвапоритов из морской воды: ***A*** – схема Ж. Узильо (1849), выпарившего средиземноморскую воду. При уменьшении объема вначале в осадок выпадал $CaCO_3$ (1). Когда объем составил ½ от первоначального, стал осаждаться гипс (2); при объеме 1/10 – галит (3). Дальнейшее сокращение объема привело к выпадению сульфатов и хлоридов магния (4), калия (5) и в заключение – наиболее труднорастворимого бишофита (6); ***B*** – этот же процесс в современном представлении (цехштейн – верхний отдел пермской системы Западной Европы; здесь – как классический объект, вмещающий соляные толщи)

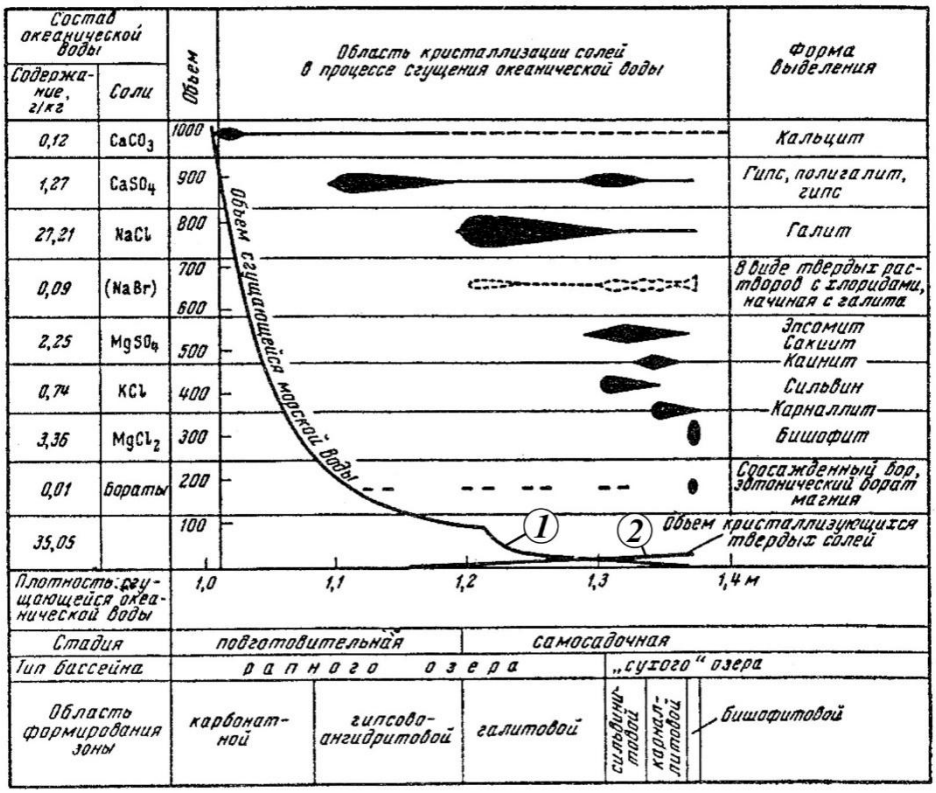


Рис. III.4.9. Изменение объемов сгущающейся океанической воды (*1*), выделяющихся из нее солей (*2*) и области кристаллизации отдельных минералов (М. Г. Валяшко, 1962, с. 309)

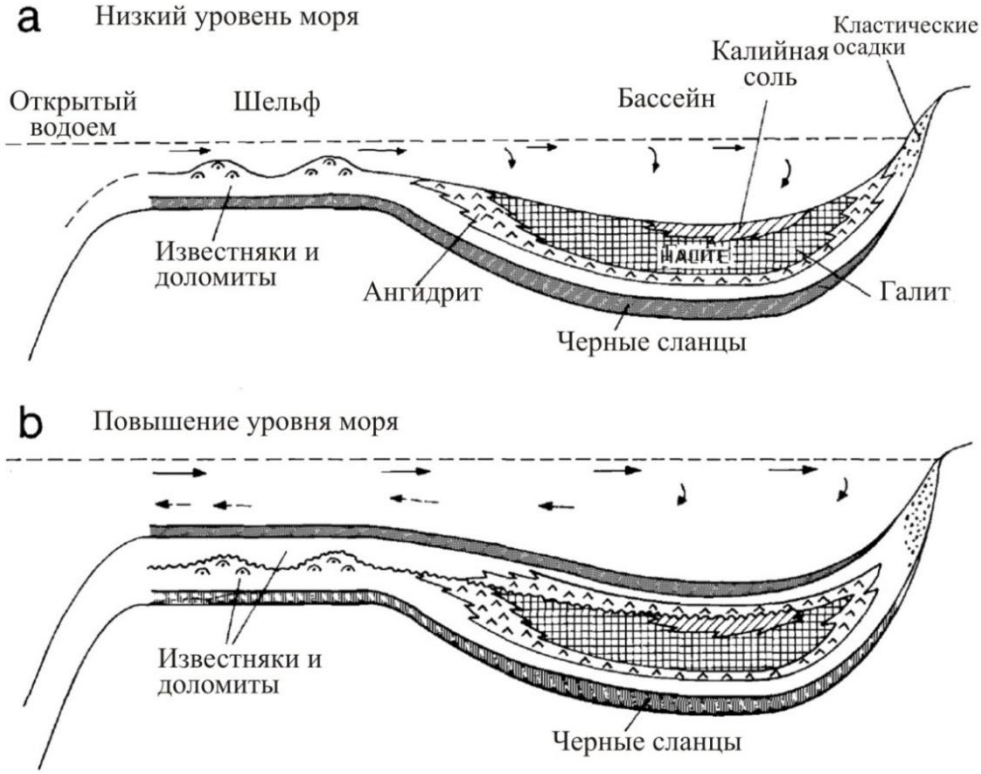


Рис. III.4.10. Модель возникновения второстепенных ритмических эвапоритовых последовательностей, вызванных изменениями уровня моря в условиях шельфа / ограниченного бассейна (G. Einsele, 1992, p. 254):

a – нет циркуляции рассола при низком и среднем уровнях моря; рост водорослевых рифов на шельфовом барьере происходит одновременно с осаждением галита и других солей в бассейне;

b – повышение уровня моря и возникновение циркуляции приводит к уменьшению солености и создает благоприятные условия для формирования черных сланцев

III.5. ОСОБЫЕ ТИПЫ ПОРОД

К данной группе относятся породы, существенно отличающиеся по своему составу, происхождению или отношению к рассмотренным выше типам.

III.5.1. Биогенные (кроме карбонатных) породы: каустобиолиты

Эти породы отчасти рассмотрены в I части пособия, в теме I.7 «Стадиальный анализ». Название **каустобиолиты** – производное от греч.: caustos – горючий + bi-os – жизнь + lithos – камень (из последней составляющей следует неприменимость термина к жидким и газообразным углеводородам).

Таблица III.5.1

Классификация осадочных пород по содержанию ОВ ($C_{нк}$), вес. %
(Н. Б. Вассоевич, 1972)

Группа	Подгруппа	Содержание $C_{нк}$, %	Характеристика ОВ		Преобладающий тип
Рассеянное ОВ (РОВ)	1	≤ 0.61 (кларк 0.6)	Сильнорассеянное		Сапропелевый / Гумусовый
	2	0.62-2.5	Умеренно рассеянное		
Концентрированное ОВ (КОВ)	3	2.51-10	Слабоконцентрированное	Доманикиты	
	4	10.01-40	Умеренно концентрированное		
	5	>40	Значительно концентрированное	Каустобиолиты	

Рис. III.5.1. Формы проявления ископаемого органического вещества (ОВ) (В. Н. Волков, 2005, с. 9):

1 – концентрированная; *2* – умеренно концентрированная; *3* – рассеянная; $C_{орг}$ – содержание органического углерода; УВГ – углеводородные газы

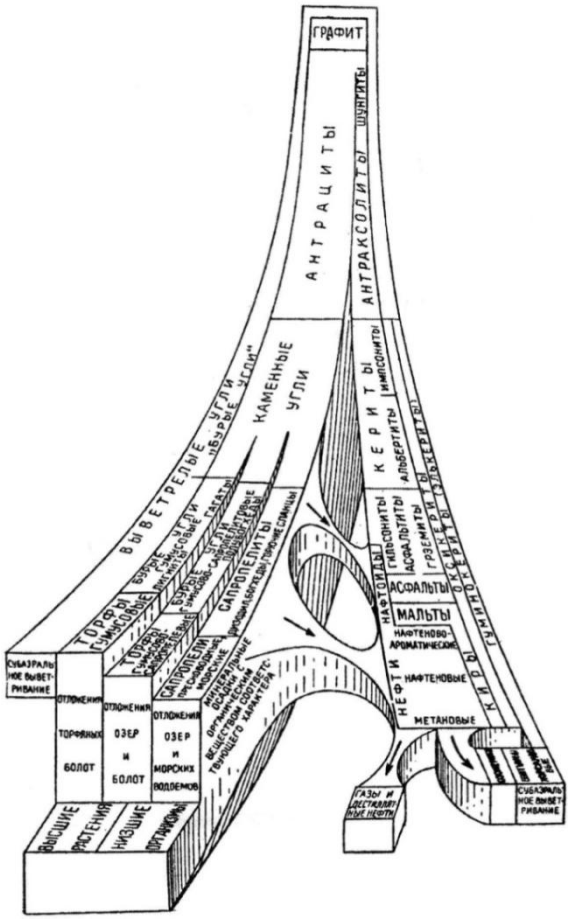


Рис. III.5.2. Генетическая классификация горючих ископаемых (В. А. Успенский, О. А. Радченко, 1961)

Таблица III.5.2

Соотношение высших таксонов в классификации углеродных некарбонатных пород (Систематика…, 1998)

Разряд	Надкласс	Группы, классы	
Углеродные некарбонатные породы	Карболиты (каустобиолиты)	Гумолиты	Гелитолиты – из гелифицированных остатков высших растений
			Фюзенолиты – из фюзенизированных остатков высших растений
			Липидолиты – из защитных тканей высших растений и смол
		Сапропелиты – из остатков низших растений – водорослей, реже – животных	
	Битумолиты	Существенно углеводородные	
		Полууглеводородные (промежуточные)	
		Неуглеводородные	
	Графитолиты		

Примечание: лат. gelo – застываю, остуденеваю; греч. humus – земля (почва); греч. lipos – жир; фр. Fusain – сажистый, волокнистый.

Таблица III.5.3

Компоненты органической части углей

Тип исходных остатков	Группы мацералов	Мацералы (микрокомпоненты)
Остатки лигнитоцеллюлозных тканей	Витринит	Телинит, коллинит, аттрито-витринит
	Фюзинит (интертинит)	Фюзинит, аттрито-фюзинит, десмито-фюзинит (макринит)
Остатки высших и низших растений с повышенным липидным веществом	Липтинит	Споринит (микроспоринит, макроспоринит), кутинит, резинит, суберинит, аттрито-липтинит
	Альгинит	Талломо-альгинит
Мацералы вторичные – миграционные		Битуминит, эксудотинит, флюоринит
Остатки грибов	Склеротинит	Склеротинит, секретинит
Зооостатки	Хитинит (?)	
Мацералы невыясненной природы		Микринит (мелкозернистый), карповитринит, микстинит (сорбомикстинит)

Примечание: греч. kolla – клей; tela – ткань; scleros – жесткий, хрупкий; vitrain – стеклянный; лат. resinia – смола; suber – пробка; alga – водоросль; attritus – обтертый.

К *горючим сланцам* относятся разнообразные по составу тонкозернистые осадочные породы, содержащие от 20 до 50 % ОВ существенно водорослевого происхождения (сапропелитов).

III.5.2. Нафтиды

Термин «*нафтиды*» (от исходного персидского нафта) предложен в 1954 г. В. Н. Муратовым и весьма удобен, если рассуждать как бы «от противного». Действительно, определения, оканчивающиеся на *–лит*, все-таки относятся к *твердым* породам, которыми нефть и газ не являются (см. начало п. III.5.1). Понятие же *битум* не включает углеводородные газы (да и включение в них нефти, строго говоря, тоже проблематично).

Таблица III.5.4

Общая характеристика нафтидов (В. Т. Фролов, 1993, с. 212)

Наименование	Физическое состояние		Плотность, г/см³		Примечание
	в недрах	в стандартных условиях*	в недрах	в стандартных условиях*	
Углеводородные газы: свободные	Газообразные	Газообразные	<0,25	0,0007	Растворяются в нефти и воде, сорбируются минералами; растворяют нефть
газогидраты	Твердые	Газообразные	0,8—1,2	Разрушаются	Переходят в газ и воду
Газоконденсаты	Газообразные	Жидкие	Растворены	⩽0,85	
Нефти	Жидкие	Жидкие	0,7—0,9	0,8—0,97	Растворяются в газе
Природные битумы	Полутвердые и твердые		0,85—2,0	0,965—2,0	

* При давлении 0,1 МПа и температуре +15 °С.

Таблица III.5.5

Структурно-вещественная классификация нафтидов

(Систематика…, 1998, с. 262-263, с сокращ.)

Классы	Существенно углеводородные				Промежуточные	Неуглеводородные
Минеральный состав / Структура	УВ-газы как минералы	газоконденсаты	нефти как минералы	озокериты	мальты, асфальты, асфальтиты	кериты, антраксолиты
Флюидная ("текучая", в том числе вязкая)	УВ-газы, в том числе в газогидратах	Газоконденсаты	Нефти (бессмольные, низкосмолистые, высокосмолистые)	Нет	Мальта, асфальт, натечные; киры	Нет
Аморфная	Нет			Хризматит	Мальтит, асфальтит	Кериты жильные
Скрытокристаллическая	Нет			Озокерит	Нет	Антраксолит, шунгит жильный*)

*Пластовый *шунгит* (по дер. Шуньга в Карелии) – осадочная порода, более чем на 50 % (в отдельных случаях меньше) состоящая из углеродистого вещества, возможно, группы альгинита (?), утратившая биоморфную структуру.

Нефти – это природные горючие гидрофобные бесцветные, коричневые, реже зеленоватые, прозрачные и непрозрачные жидкости с плотностью 0,75 – 1,10 г/куб.см (в США плотность в 1 г/куб.см принята за границу между нефтью и природным битумом) – смеси и сложные растворы углеводородных, сернистых, азотных, кислородных, металлоорганических соединений – порфиринов и др. – смолистых, асфальтеновых веществ и примесей элементов серы, свинца, железа и др.

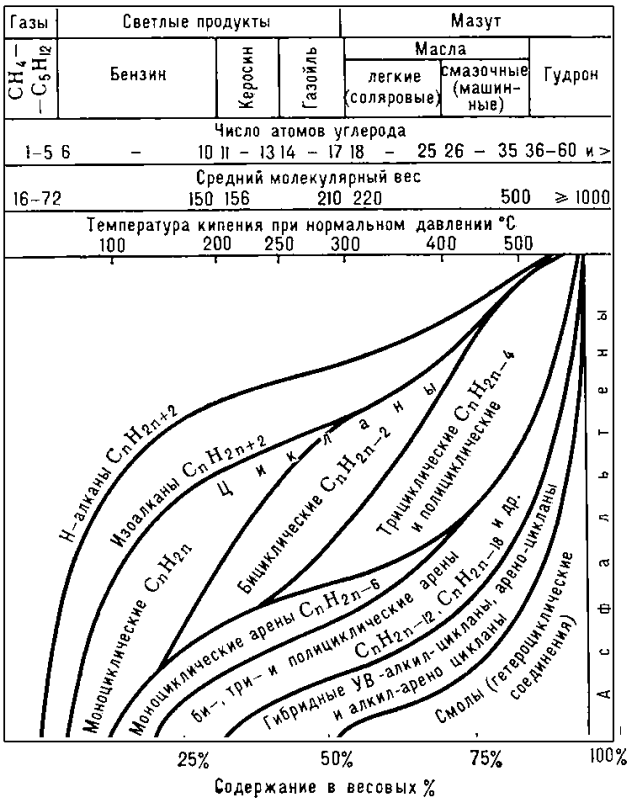


Рис. III.5.3. Состав нефтей (Н. Б. Вассоевич, 1974)

Газоводоконденсаты – переходные между газом и нефтью образования, представленные бесцветными, зеленоватыми, коричневыми жидкостями с плотностью 0,67-0,81 г/куб.см, не более чем на 90 % сложенные углеводородами метанового, нафтенового, редко ароматического ряда и содержащие силикагелевые смолы и другие примеси с высокомолекулярной массой. Самостоятельных скоплений не образуют, а содержатся в газоконденсатных и газоконденсатно-нефтяных залежах. Характер происходящих фазовых превращений на примере двухкомпонентной системы: метан – жидкие углеводороды показан на рис. III.5.4. Заштрихованные на графике области отвечают условиям образования и существования газоконденсатов («газорастворенной нефти»).

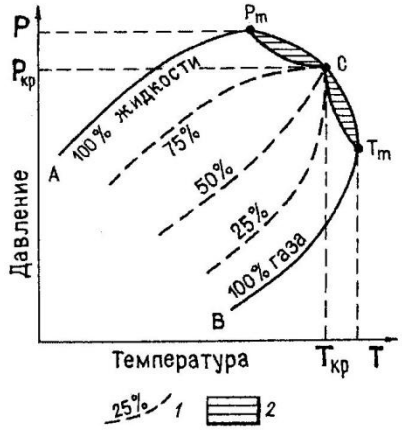


Рис. III.5.4. Фазовая диаграмма многокомпонентной системы в координатах давление (Р) – температура (Т), иллюстрирующая ретроградные явления (Геология…, 2004, с. 56): *1* – линии равных содержаний жидкой фазы; *2* – область ретроградных процессов; $P_{кр}$ – критическое давление; $T_{кр}$ – критическая температура; *С* – критическая точка; P_m – криконденбар (максимальное давление, при котором еще существует газовая фаза); T_m – криконденттерм (максимальная температура, при которой еще сохраняется жидкая фаза)

Углеводородные газы – это предельные углеводороды с общей формулой C_nH_{2n+2} и простыми незамкнутыми структурами цепочечного или алифатического типа. Молекулярная масса углеводородных газов, включающих преимущественно четыре члена ряда алканов – метан, этан, пропан и бутан – наименьшая среди остальных углеводородов, колеблется в пределах 16-72, что и определяет их газообразное состояние.

Таблица III.5.6

Типы природных газов

Природная система	Дегазация или сепарация	
	Самопроизвольная (спонтанная)	принудительная
Подземный газ (пластовый)	Свободный газ	Газ дегазации и дебутанизации сырого конденсата
Пластовая нефть	Нефтяной газ	Газ глубокой стабилизации нефти
Природная вода	Водорастворенный спонтанный газ	Водорастворенный газ
Природные гидраты	Газогидратный газ	Водорастворенный газ газогидратной воды
Горная порода	Природные газы открытого трещинно-порового пространства	Газы закрытых пор, окклюдированный, сорбированный и др.

Газовые гидраты (также **гидраты природных газов** или **клатраты**) – кристаллические соединения, образующиеся при определённых термобарических условиях из воды и газа. Название «клатраты» (от лат. *clat(h)ratus* – «закрытый решёткой, посаженный в клетку»), было дано Пауэллом в 1948 году. Гидраты газа относятся к нестехиометрическим соединениям, то есть соединениям переменного состава; условия их формирования отражены на рис. III.5.5.

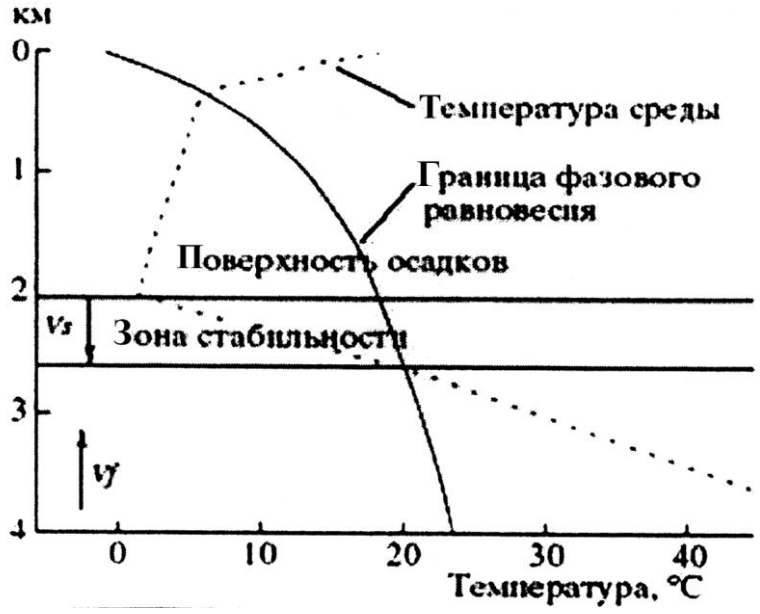


Рис. III.5.5. Принципиальная схема, иллюстрирующая механические, гидродинамические и тепловые условия процессов накопления и уплотнения осадков и аккумуляции газогидратов в зоне их стабильности

III.5.3. Вулканогенно-осадочные породы

Специфичность этой группы пород подчеркивается особым, интразональным типом литогенеза (см. рис. III.2.5). Сами породы состоят из вулканического и осадочного материала, который может быть как твердым (обломочным), возникающим при извержениях вулканов (обычно взрывного характера), так и иметь химическое происхождение (отлагаться из водных растворов). В последнем случае материал горячих источников и жидких продуктов вулканических извержений, при осаждении в морях или на суше, образует хемогенные вулканогенно-осадочные породы, примерами которых служат яшмы, некоторые руды железа, марганца, фосфориты и др. В зависимости от наличия терригенных пород выделяются вулканогенно-терригенные породы, содержащие пирокластический и терригенный материал, и вулканогенно-хемогенные.

Вулканогенно-терригенные породы классифицируются по содержанию пирокластического материала и характерному размеру гранул терригенного материала (табл. III.5.7, III.5.8).

Таблица III.5.7

Классификация пород по степени смешения вулканокластического и осадочного материала (А. В. Ван, Ю. П. Казанский, 1985, с. 6)

Пирокластические	Смешанные		Осадочные
	осадочно-пирокластические	пирокласто-осадочные	
Туфы	Туффиты		
	Ортотуффиты	Паратуффиты	
Пирокластический материал, %			
100-90	90-50	50-10	10-0
Осадочный материал, %			
0-10	10-50	50-90	90-100

Таблица III.5.8

Структурная классификация вулканогенных обломочных пород (Л. Н. Ботвинкина, 1974)

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Отложения</td><td colspan="12">Размеры компонентов, в мм</td></tr>
<tr><td colspan="12">0,001 0,01 0,25 0,5 2 10 30 100 200 1000</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Из необработанной тефры</td><td>Рыхлый осадок</td><td colspan="4">Вулканический пепел</td><td colspan="2" rowspan="2">Лапилли</td><td colspan="4">Вулканический агломерат</td></tr>
<tr><td>тонкий</td><td>мелкий</td><td>средний</td><td>крупный</td><td colspan="2">мелкий</td><td>средний</td><td>грубый</td></tr>
<tr><td>Литифицированная порода</td><td colspan="4">Туф</td><td colspan="2">Лапиллиевый туф</td><td colspan="4">Вулканическая брекчия, агломератовый туф</td></tr>
<tr><td>тонкообломочный</td><td>мелкообломочный</td><td>среднеобломочный</td><td>крупнообломочный</td><td>мелкообломочный</td><td>крупнообломочный</td><td colspan="2">мелкообломочный</td><td>среднеобломочный</td><td>грубообломочный</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Из обработанной тефры</td><td>Рыхлый осадок</td><td>Тефрогенный алевролит</td><td colspan="3">Тефрогенный песок</td><td>Тефрогенный гравий</td><td colspan="2">Тефрогенный галечник</td><td colspan="4">Тефрогенный валунник</td></tr>
<tr><td>Литифицированная порода</td><td></td><td>мелкий</td><td>средний</td><td>крупный</td><td></td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td></td><td>Тефрогенный алевролит</td><td colspan="3">Тефрогенный песчаник</td><td>Тефрогенный гравелит</td><td colspan="6">Тефрогенный конгломерат (мелко-, средне- и грубообломочный)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Тефроид</td><td colspan="2" rowspan="2">Лапиллиевый тефроид</td><td colspan="4" rowspan="2">Грубый тефроид</td></tr>
<tr><td></td><td>тонкообломочный</td><td>мелкообломочный</td><td>среднеобломочный</td><td>крупнообломочный</td></tr>
<tr><td colspan="2">Основные компоненты пород (осадка)</td><td>Обломки стекла и кристаллов</td><td colspan="3">Обломки вулканического стекла, кристалла, пород, пемзы</td><td colspan="2">Лапилли, обломки пород, кристаллы, обломки пемзы, вулканическое стекло, мелкие бомбы</td><td colspan="4">Грубая тефра: вулканические бомбы, обломки и блоки пород, шлаки, пемза, вулканический пепел</td></tr>
</table>

Следы вулканических извержений в виде пеплопадов могут покрывать огромные территории с любой формой осадконакопления, что показано на рис. III.5.6.

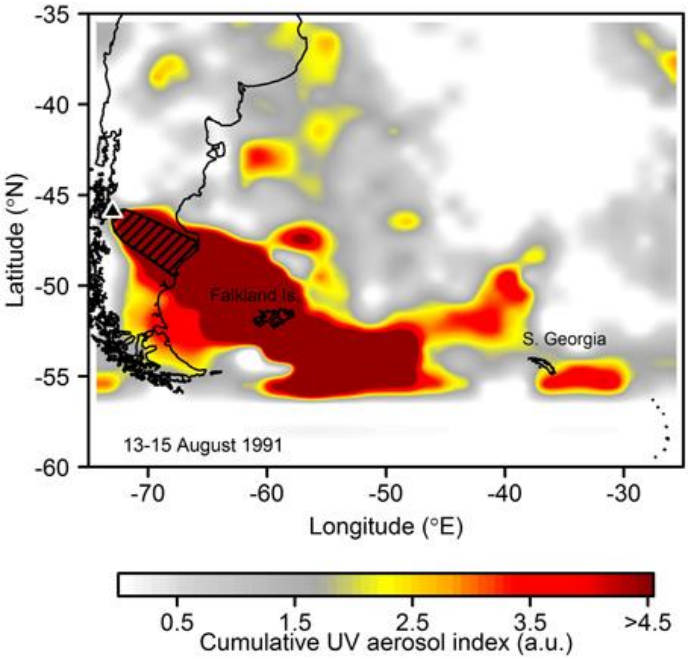


Рис. III.5.6. Распределение вулканогенного материала по результатам спутникового дистанционного зондирования биологических фаций (плинианское извержение активного вулкана Серро-Хадсон (Анды; территория Чили); в августе-октябре 1991 г. выброшено 43 куб.км пепла (T. J. Browning и др., 2015):

UV – спутниковый аэрозольный индекс, увеличение которого показывает наличие аэрозоля, поглощающего ультрафиолетовое излучение

Для геологических эпох следы пеплопадов трудно различимы, что позволило дать им образное название «камуфлированная пирокластика» (А. Г. Коссовская, 1975). Преобразование реакционноспособного материала в более устойчивые минеральные компоненты во многом сродни процессам, которые активно изучаются для некоторых нефтегазоносных толщ (рис. III.5.7).

Рис. III.5.7. Стадийность формирования аутигенных минералов в песчаниках Мессояхской группы месторождений (А. В. Поднебесных, В. П. Овчинников, 2014)

Конечным геологическим результатом процессов осаждения и преобразования пеплового материала являются **тонштейны** (нем. ton – глина + stein – камень), которым посвящена обширная литература. Пример тонштейна из эоценовых отложений Центрального Техаса (США) приведен на рис. III.5.8.

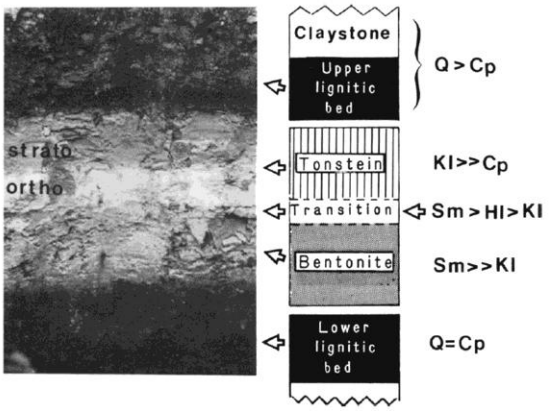


Рис. III.5.8. Сводная литологическая колонка, иллюстрирующая смену минералогического состава в выделенных слоях: Kl – каолинит; Sm – смектит; Q – кварц; Cp – клиноптилолит; Hl – галлуазит (A. L. Senkayi e.a., 1984)

Claystone – глина; Upper lignite bed – верхний слой лигнита; Tonstein – тонштейн; Transition – переходный слой; Bentonite – бентонит; Lower lignite bed – нижний лигнитовый слой

СТРОЕНИЕ – ВТОРАЯ КОНСТИТУТИВНАЯ СУБСТАНЦИЯ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ

III.6. ЦИКЛИЧНОСТЬ: ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

III.6.1. «Всюдность» цикличности

«Цикл (греч. kyklos; лат. cyrcle – круг, колесо) – совокупность взаимосвязанных процессов, работ, явлений, образующих законченный круг развития чего-либо, стройную систему. Цикличность – движение по кругу, например, замкнутость производственных процессов» (БСЭ, 2012).

Рис. III.6.1. Система циклов в обществе и природе (Ю. В. Яковец, А. Г. Гамбурцев, 1996)

Ниже приведены некоторые примеры использования цикличности в самых разных сферах, принадлежащие выдающимся российским исследователям с трагической судьбой.

Никола́й Дми́триевич КОНДРА́ТЬЕВ (4 (16) марта 1892 – 17 сентября 1938) – российский и советский экономист. Основоположник теории экономических циклов, известных как «Циклы Кондратьева» (1925 г. и др.). Теоретически обосновал «новую экономическую политику» в СССР. Арестован ОГПУ 19 июня 1930 года по ложному обвинению. Военной коллегией Верховного суда СССР 17 сентября 1938 года приговорён к расстрелу и в тот же день расстрелян. Дважды реабилитирован – в 1963 и 1987 годах. (Материал из Википедии, с изменениями.)

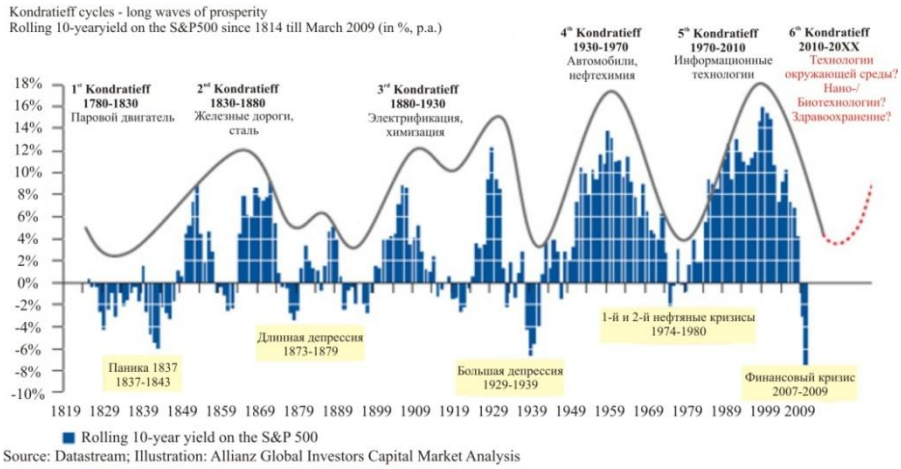


Рис. III.6.2. Циклы Кондратьева – длинные волны в экономике (специально приведен вариант из англоязычного издания)

Алекса́ндр Леони́дович ЧИЖЕ́ВСКИЙ (26 января (7 февраля) 1897 – 20 декабря 1964) – советский учёный, биофизик (основоположник гелиобиологии), философ, поэт, художник. Почётный президент I международного конгресса по биофизике (1939), действительный член 18 академий мира, почетный профессор университетов Европы, Америки, Азии. При жизни был снят с ряда руководящих должностей за «фальсификацию результатов научных исследований, научную безграмотность и некомпетентность». В 1942-1950 гг. отбывал 8 лет заключения.

Изучал влияние космических физических факторов на процессы в живой природе, в частности, влияние циклов активности Солнца на явления в биосфере, в том числе на социально-исторические процессы, применил искусственную аэроионизацию (люстра Чижевского) в медицине, сельском хозяйстве (животноводство и растениеводство), промышленности и др. отраслях народного хозяйства. (Материал из Википедии, с изменениями.)

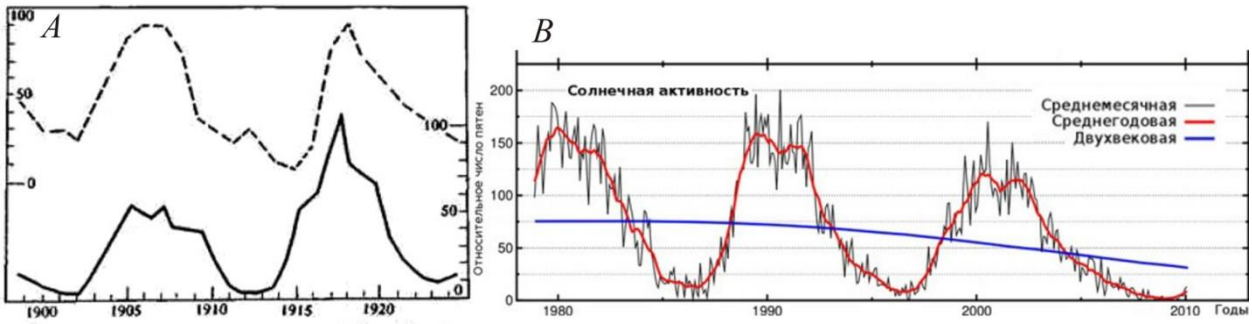


Рис. III.6.3. Представления А. Л. Чижевского и иллюстрация их правомерности:

A – бури на Байкале (А. Л. Чижевский, 1976, рис. 15): пунктирная кривая – частота бурь (*N*); сплошная кривая – количество солнечных пятен (*n*);

B – циклические вариации солнечной активности (www.gao.spb.ru/russian/cosm/astr /tsixsa.jpg)

Лев Никола́евич ГУМИЛЁВ (18 сентября (1 октября) 1912 – 15 июня 1992) – советский историк-этнолог, археолог, востоковед, писатель, переводчик.

Сын известных поэтов – Анны Ахматовой и Николая Гумилёва. С 1931 г. активно участвовал в геологических и археологических экспедициях (всего до 1967 г. принял участие в 21 экспедиционном сезоне). Четырежды был арестован, причём в первый раз – в декабре 1933 г. – через 9 дней отпущен без предъявления обвинения. В 1935 г. подвергся второму аресту, но благодаря заступничеству многих деятелей литературы был отпущен на свободу и восстановлен в университете. В 1938 г. подвергся третьему аресту и получил пять лет лагерей, наказание отбывал в Норильске. В 1944 г. добровольцем вступил в ряды Красной армии, участвовал в Берлинской операции. В 1949 г. вновь был арестован и осуждён на 10 лет лагерей. В 1956 г. после XX съезда КПСС освобождён и реабилитирован, несколько лет работал в Эрмитаже, с 1962 г. до выхода на пенсию в 1987 г. состоял в штате научно-исследовательского института при географическом факультете ЛГУ. (Материал из Википедии; с сокращениями.)

Разработал пассионарную теорию этногенеза, далеко выходящую за рамки общепринятых в научной среде представлений. Ее основной принцип показан на рис. III.6.4.

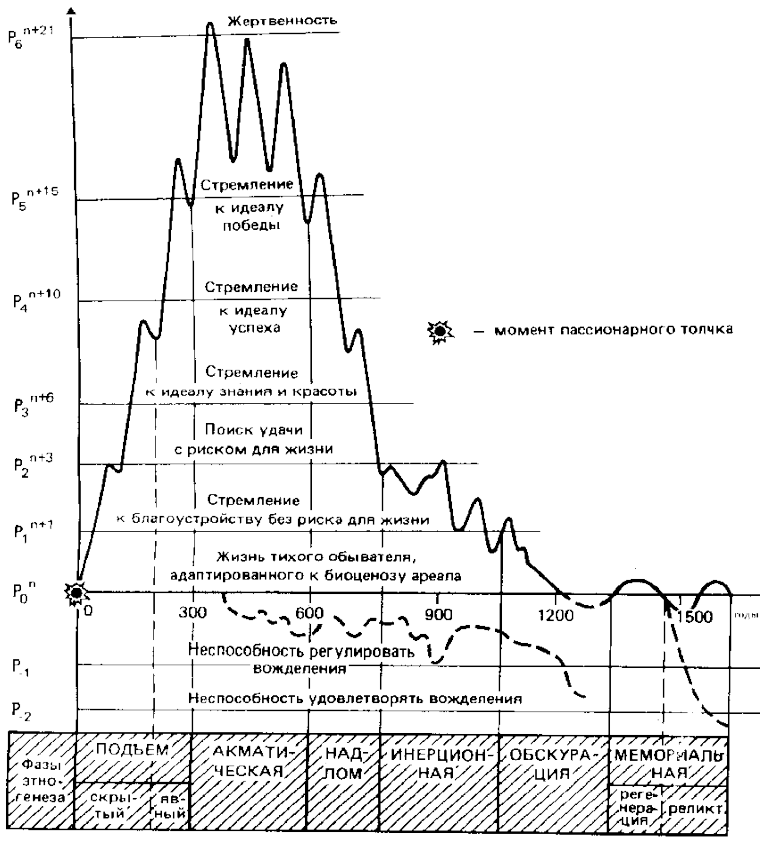


Рис. III.6.4. Изменение уровня пассионарного напряжения суперэтнической системы (Л. Н. Гумилев, 1982, с. 17):

P_i^k – уровень пассионарного напряжения системы. Качественные характеристики этого уровня («жертвенность» и т. д.) следует рассматривать как некую усредненную «оценку» представителей этноса. Одновременно в составе этноса есть люди, обладающие и другими отмеченными на рисунке характеристиками, но господствует один тип людей;

i – индекс уровня пассионарного напряжения системы, соответствующего определенному императиву поведения; i = -2, -1 ...6; при i = 0 уровень пассионарного напряжения системы соответствует гомеостазу;

k – количество субэтносов, составляющих систему на определенном уровне пассионарного напряжения; k = n+1, n+2,... n+21, где n – первоначальное количество субэтносов в системе.

Примечание. Данная кривая – обобщение сорока индивидуальных кривых этногенеза, построенных нами для различных этносов. Пунктиром обозначено падение пассионарности ниже уровня гомеостаза, наступающее вследствие этнического смещения (внешней агрессии)

III.6.2. Основные понятия цикличности в геологии

В терминологии, связанной с характеристиками повторяемости элементов разреза (слоев), до сих пор нет единства. Одно из различий связано с употреблением терминов «ритм» (греч. rhytmos – равномерное чередование чего-либо) и «цикл» (греч. kyklos – колесо, лат. circulus – круг, circulare – движение по кругу: см. начало главы). В последнем случае понятие «цикл» следует сравнивать не с замкнутым процессом, 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*», обладающий рядом преимуществ. **Под полным литоциклом (ЛЦ) понимается комплекс различных отложений, генетически связанных направленностью изменения их признаков сначала в одном, а затем в противоположном направлении**. Для равномерного, тонкого чередования 2-3 типов пород целесообразно употребление термина «литоритм», не смешивая его с породным понятием «ритмит».

В табл. III.6.1 приводится характеристика основных стратификационных единиц, разработанная Л. Н. Ботвинкиной. Ею же отмечено, что когда ясно, что речь идет именно о чередовании нескольких типов пород, то вполне допустимо говорить о циклах, без приставки лито-.

Таблица III.6.1

Классификация (сравнение) основных слоевых и стратификационных единиц (СЕ)
(Л. Н. Ботвинкина, В. П. Алексеев, 1991, с. 180-181)

Характеристика стратификационных единиц (СЕ)	Периодически повторяющиеся СЕ			Стратиграфические подразделения (с дополнениями «над» или «под»)	
	литоциклы (ЛЦ) высшего ранга (с дополнениями «супер» и «суб»)	литоциклы низшего ранга	литоритмы (ЛР)	общие стратиграфические и геохронологические	местные
Название	Эрацикл, гигацикл, магнацикл (перицикл), мегацикл (эпоцикл), медицикл (векоцикл)	Цифровая нумерация по порядку (начиная «снизу вверх» от элементарного ЛЦ 1-го порядка)	Литоритмы разных порядков (начиная с 1-го)	Группа (эра), подгруппа (подэра), система (период), отдел (эпоха), ярус (век)	Серия, свита, пачка, горизонт и др.
Основной принцип выделения	Направленное изменение условий седиментации, смена формаций, этапы трансгрессий и регрессий моря, соотношение с крупными тектоническими и климатическими циклами	Направленное изменение условий седиментации, попеременная смена фаций и генетических типов. Синхронная тектоника + климатические колебания	Сходное повторение небольшого количества элементов разреза	Смена комплексов фауны и флоры на фоне их необратимого развития + орогенез	Сходство разных принципов и пород внутри СЕ и различие смежных СЕ
Признаки СЕ: границы СЕ	Чаще резкие или отчетливые	Различные: постепенные переходы, отчетливые, резкие	Резкие или отчетливые	Обычно достаточно резкие	Резкие или отчетливые, реже постепенные переходы
Состав смежных СЕ	Сходные, но не одинаковые	В пределах одной ветви ЛЦ следующего порядка – сходные, но не одинаковые	Сходные	Различные	Различные
Условия седиментации внутри СЕ	Направленно изменяющиеся	Направленно изменяющиеся	Чаще направленно изменяющиеся	Различные	Более или менее сходные
Возможность прослеживания на площади и сопоставления разрезов	Могут прослеживаться и сопоставляться	Прослеживаются и сопоставляются тем дальше, чем выше порядок (но обычно в пределах какого-либо региона)	Прослеживаются от очень локальных до больших расстояний (в зависимости от типа ритмичности)	Прослеживаются и сопоставляются глобально	Прослеживаются и сопоставляются в пределах большего или меньшего региона
Соотношение стратиграфических подразделений и литоциклов	Могут сопоставляться (по объему) с общими стратиграфическими подразделениями	Могут совпадать (полностью или частично) с местными стратиграфическими подразделениями	Различные (в зависимости от типа и порядка ритмов)	Могут частично сопоставляться с ЛЦ высших рангов	Различные
Время формирования	От единиц до сотен миллионов лет	От единиц до сотен тысяч лет	От единиц до сотен (реже тысяч) лет		

III.6.3. Иерархия – главная характеристика циклогенеза

Основной характеристикой циклов как меры собственно явлений и (или) процессов служит *иерархия* (греч. hieros – священный, arche – правление), под которой понимается порядок подчиненности низших звеньев высшим; организация их в структуру типа «дерево» (греч. dendron), что было показано на рис. I.12.9. В целом данный подход вписывается в представления о всеобщей архитектуре пространства или панархии (Panarchy), рис. III.6.5.

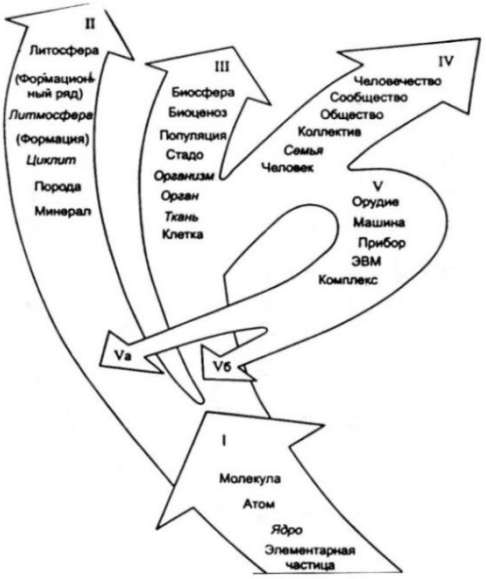


Рис. III.6.5. Схема иерархической упорядоченности мира: по Б. С. Флейшману, с дополнениями Л. Ф. Дементьева, 1988, и уточнениями (курсив) Ю. Н. Карогодина (Северное..., 2000, с. 14):

Иерархии: I – физическая, II – геологическая, III – биологическая, IV – социальная, V – техническая, Va – геолого-техническая, Vб – биотехнические комплексы

Линейной схеме иерархической соподчиненности соответствуют различные варианты циклических шкал, предложенные С. Л. Афанасьевым. В табл. III.6.2 приводится один из них, охватывающий 21 уровень циклов, увязанных со стратиграфическими подразделениями. (В более поздних работах количество уровней доведено до 33-х, вплоть до частоты «взмахов крыльев колибри».)

Таблица III.6.2

Уровни организации стратонов, геологические циклы, геохронологические и стратиграфические подразделения (С. Л. Афанасьев, 1985; с сокращениями)

Уровень организации стратонов	Цикл		Средняя продолжительность	Геохронологическое подразделение (геологическое время)	Стратиграфическое подразделение			
					Циклит			литома
	тип	класс			ранг	тип	класс	
Оболочка	Мега-цикл	1	4,8* млрд.лет	История Земли	Мега-циклит	Цикло-комплекс	1	Земная кора
		2	1,5* млрд.лет	Мегахрон			2	Оболочка земной коры
		3	600* млн. лет	Эон			3	Структурный этаж
			210* млн. лет					
		4	190* млн. лет	Эра			4	Структурный ярус
Формация	Макро-цикл	5	58 млн. лет	Период	Макро-циклит	Циклолитон	5	Комплекс
		6	14 млн. лет	Эпоха			6	Серия
		7	3,7 млн. лет	Век			7	Свита
Пачка	Мезо-цикл	8	800 тыс. лет	Фаза	Мезо-циклит	Цикло-тема	8	Подсвита (субсвита)
		9	190 тыс. лет	Пора			9	Пачка
		10	40 тыс. лет	Геоминута			10	Подпачка (субпачка)
Слой	Микро-цикл	11	9,5 тыс. лет	Эпизод	Микро-циклит	Полислой	11	Пакет
		12	1,6 тыс. лет	Полисекунда			12	Сложный полислой
		13	220 лет	Геосекунда			13	Простой полислой
Слоёк	Нано-цикл	14	60 лет	Вековой наноцикл	Нано-циклит	Полислоёк	14	Слой
		15	13 лет	Солнечный наноцикл			15	Сложный полислоёк
		16	3,5 года	Геотерция			16	Простой полислоёк
		17	1 год	Год			17	Пара слойков
Пульсит	Пико-цикл	18	3 месяца	Сезонный пикоцикл	Пико-циклит	Пульсит	18	Слоёк
		19	14 дней	Лунный пикоцикл			19	Лунный пульсит
		20	1 день	Суточный пикоцикл			20	Суточный пульсит
		21	160 минут	Трехчасовой пикоцикл			21	Трехчасовой пульсит

Подчеркнуты наиболее важные геохронологические подразделения.

Более «мягкой» схеме, допускающей различия в трактовке цикличности, при соблюдении детерминации внутри выделяемых классов, соответствует классификация периодических единиц (циклитов) В. Т. Фролова (табл. III.6.3). Нами в ее правой части показан иерархический ранг, взятый из общей уровневой схемы (см. табл. I.1.1). Это отчетливо иллюстрирует высокую значимость циклического или надгорнопородного ранга с порядковым номером 4 (между 3-м слоевым и 5-м формационным), о чем шла речь в самом начале пособия (см. п. I.1.1) и в п. III.1.2.

Таблица III.6.3

Генетическая классификация циклитов (В. Т. Фролов, 1998);
с дополнением рангов геологических тел (см. табл. I.1.1)

Классы (ряды)	Роды (группы)	Генетические виды (типы)	Примеры	Ранг (см. табл. I.1.1)
А. Природные (естественные)				
1. Космические	1. Событийные	1. Метеоритные 2. Астроблемные (импактогенные)	–	
	2. Астрономические («орбитальные»)	1. Галактически годовые	Ц развития Земли в 180 млн лет	5
		2. Колебания эксцентриситета орбиты Земли	Ц в 1,2-1,3 и 0,492 млн лет	
		3. Изменения наклона эклиптики	Ц в 30-40 тыс. лет	4
		4. Прецессионные	Ц в 22 и 42-44 тыс. лет – периодиты	
		5. Год Урана	Ц в 10–90 лет	
		6. Год Юпитера и Солнца	Ц в 11 лет	
		7. Год Земли	Варвы	
		8. Лунные	Месячные Ц	3
		9. Суточные	Часы, годы, приливы и др.	
2. Космо-земные	1. Гляциальные	1. Периоды	350–500 тыс. лет	В основном 4
		2. Эпохи	90–140 тыс. лет	
		3. Стадии	30–40 и 6–9 тыс. лет	
	2. Биоциклы (БЦ)	1. Великие вымирания	Ц в сотни млн лет	5 (?)
		2 Экобиоциклы	Ц в млн лет – сотни лет	4
		3. «Биосферные ритмы»	Десятки млн лет – сезоны	
		4. Фациальные БЦ	Десятки тысяч лет – сотни лет	
	3. Климатические собственно	1. Чередование сухих и влажных, холодных и теплых эпох	Ц в 22 млн лет (потепления) Ц в млн лет и сотни лет – эвстатические и чередование палеорегрессий и палеотрансгрессий	4
		2. Ураганы, штормы, бури	Ц в сотни лет – месяцы: темпеститовые и др.	3
	4. Седиментационные	1. Седиментационно-элювиальные	Длиннопериодные (десятки млн лет – сотни тыс. лет): латеритные и ЦЛ красных эвпелагических глин, серии, свиты (формации); среднепериодные (тысячи лет – сотни лет): почвообразовательные; мелкопериодные (сотни лет – годы): панцирообразовательные	4
		2. Седиментационные (S.Str.)	Субдельтовые, турбидитные, биогермные, эвапоритовые (тысячи — десятки лет, годы, сезоны, часы), формации Аллювиальные (сотни тысяч лет — годы): формации, пачки, слои	3; иногда 4
3. Земные	1. Вулканические	1. Ц вулканорегиона	Десятки млн лет, формации, серии	4 - 5
		2. Ц вулканоочага	Миллионы лет – десятки тысяч лет, формации, субформации	4
		3. Ц вулкана	Десятки тысяч лет – месяцы: субформации, потоки, слои	3 – 4
	2. Тектонические	1. Протогей, неогей	Ц в 1,5–2,5 млрд лет - СГЦЛ	8
		2. «Пангейные» полигеосинклинальные	Ц в сотни млн лет, платформенные системы – СГЦЛ, ГЦЛ	6 – 7
		3. «Геотектонические» моногеосинклинальные	Ц в 180 млн лет и полуциклы ГЦЛ: формационные ряды	5
		4. Ц и ЦЛ стадий, рифтовые, великих трансгрессий	МЦЛ: десятки млн лет: формационные ряды	4 – 5
		5. Фазовые Ц и ЦЛ	Формации, субформации: МаЦЛ, МеЦЛ	4
		6. Сейсмогенные	МеЦЛ, ОЦЛ и МиЦЛ	3 – 4

Ц – циклы; ЦЛ – циклиты; СГЦЛ – супергигациклит; ГЦЛ – гигациклит; МЦЛ – мегациклит; МаЦЛ – макроциклит; МеЦЛ – мезоциклит; ОЦЛ – ординароциклит; МиЦЛ – минициклит.

Ранги (см. табл. I.1.1): 3 – слоевой; 4 – надгорнопородный (циклический); 5 – формационный.

К настоящему времени линейная (1D) иерархия геологической цикличности более или менее «устоялась». В зарубежной литературе последних лет она приводится с небольшими вариативными изменениями (табл. III.6.4) и в графическом виде представлена на рис. III.6.6.

Таблица III.6.4

Стратиграфические циклы и причины, их обусловливающие

(S. Boggs, 2006, p. 408; с изменениями)

Тип	Иной термин	Продолжительность, млн лет	Вероятные причины
Первый порядок	–	200-400	Основные эвстатические циклы, вызванные образованием и расколом суперконтинентов
Второй порядок	Суперциклы П. Вейла и др. (1997); сиквенсы Л. Слосса (1963)	10-100	Эвстатические циклы, индуцированные глобальными перемещениями (спредингом) срединно-океанических хребтов (СОХ)
Третий порядок	Мезотемы; мегациклотемы	1-10	Вероятно, обеспечивается тектоническими движениями и деятельностью ледников
Четвертый порядок	Циклотемы, основные циклы	0,2-0,5	Гляциоэвстатические циклы Миланковича, астрономические причины
Пятый порядок	Небольшие, второстепенные циклы	0,01-0,2 (10-200 тыс. лет)	То же

Рис. III.6.6. Терминология ритмической и циклической последовательности в различных шкалах, временных периодах и условиях формирования (G. Einsele, 1992, p. 275; с изменениями)

III.6.4. Причины и законы формирования цикличности

В течение последней четверти XIX и первой половины XX веков формирование осадочной оболочки Земли связывалось с **эпейрогеническими** (греч. epeiros – материк + genesis – происхождение) тектоническими движениями – сменой медленных поднятий и опусканий обширных площадей земной коры, не вызывающих изменений их структуры. Эти движения приводили к «серии обширных и быстро протекающих трансгрессий и регрессий», подробно описанных Н. М. Страховым в ряде работ, опубликованных в конце 1940-х гг. (рис. III.6.7).

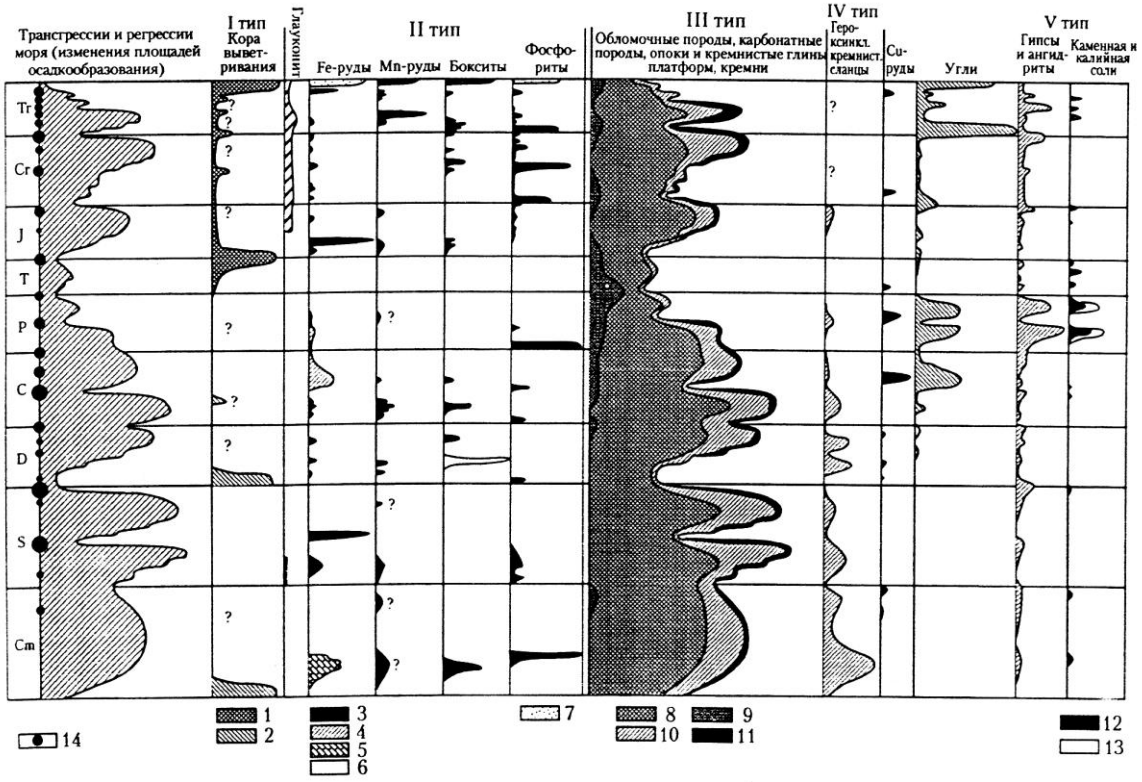


Рис. III.6.7. Эпейрограмма и стратиграфическое размещение основных типов осадочных пород и руд на площади современных континентов (Н. М. Страхов, 1949):

1 – достоверное выветривание; *2* – предполагаемое выветривание; *3* – гематит-шамозитовые руды; *4* – сидеритовые руды; *5* – джеспилитовые руды; *6* – руды коры выветривания; *7* – гуано; *8* – морские обломочные породы; *9* – континентальные обломочные породы; *10* – известняки; *11* – кремни, опоки; *12* – каменная соль; *13* – калийные соли; *14* – фазы складкообразования

Трансгрессия моря (греч. trans – сквозь + gress – движение) – «… процесс наступания моря на сушу, происходящий либо в результате опускания зем. коры под влиянием нисходящих тектонических движений, либо вследствие эвстатических колебаний уровня Мирового океана. Сопровождается *абразией,* образованием перерывов и угловых несогласий. Разрез отл., образующихся при Т. м., характеризуется в целом сменой снизу вверх мелководных фаций более глубоководными» (Геологический ..., 2012, т. 3, с. 239-240).

Регрессия моря (лат. regressio – обратное движение, отход) – « … процесс отступания морского бассейна и соответствующие этому события, напр., увеличение площади дельтового осадконакопления. Р. м. обусловлена поднятием суши либо понижением *уровня моря.* Разрезы отл., образовавшихся при Р. м. независимо от ее причин, характеризуются, как правило, сменой более глубоководных отл. мелководными, а иногда и континентальными» (Геологический …, 2012, т. 3, с. 26).

В последние десятилетия в зарубежных исследованиях особое звучание приобрело изучение периодичности, связанное с циклами Миланковича: см. табл. III.6.4, рис. III.6.6 (W. Schwarzacher, 1993 и мн. др.). Будучи названными так по имени сербского астронома М. Миланковича, они были им использованы для объяснения чередования ледниковых и межледниковых эпох. Причины возникновения цикличности показаны на рис. III.6.8, *A*, а сами циклы – на рис. III.6.8, *B*. Таковая определяется изменениями трех параметров орбиты: эксцентриситета (степени отклонения орбиты от круговой), наклона земной оси (угла между осью и перпендикуляром к плоскости орбиты) и времени прохождения перигелия (момента наибольшего сближения Земли с Солнцем).

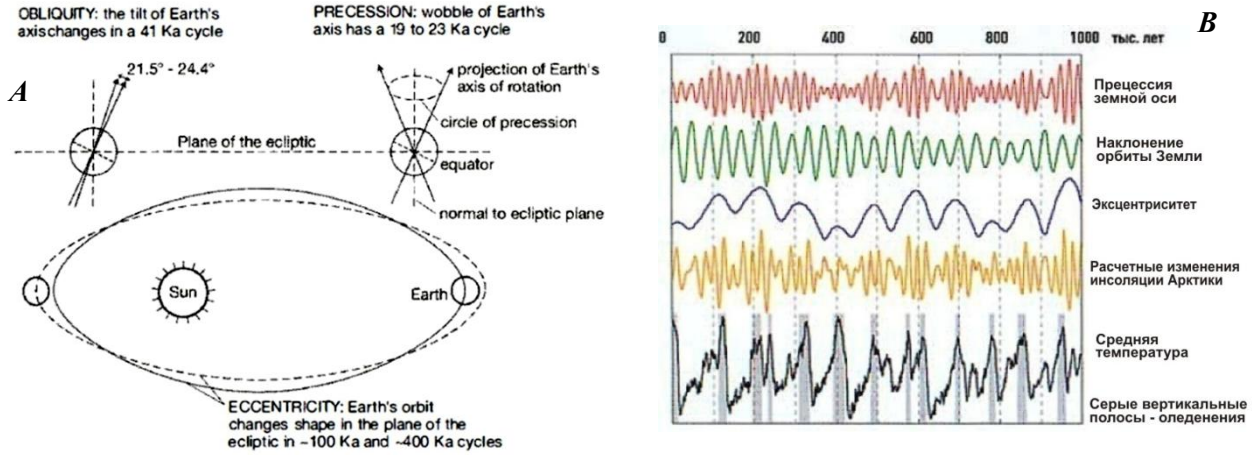


Рис. III.6.8. Астрономические причины возникновения геологических циклов, в соответствии с теорией М. Миланковича (S. Boggs, 2006, p. 411):

A – изменения параметров земной орбиты; *B* – периодические (циклические) колебания соответствующих параметров во времени

Цикличность более высоких порядков обычно связывается с эвстатическими (греч. eu – полностью + stasis – стояние на месте, покой) колебаниями уровня моря (рис. III.6.9). Очевидно ее сходство с эпейрограммой (см. рис. III.6.7), основывающейся на тех же фактических материалах, но подвергшихся разной интерпретации.

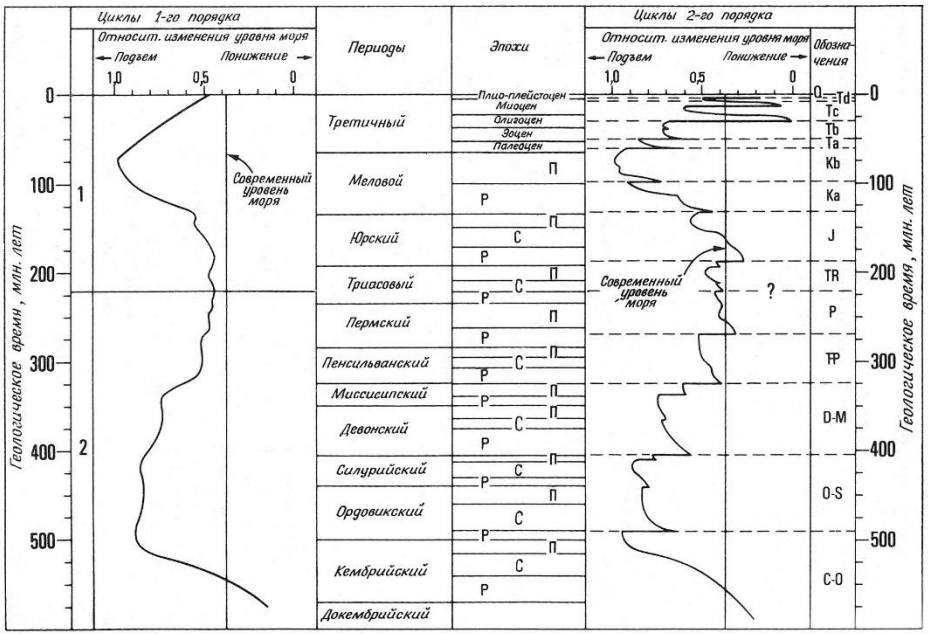


Рис. III.6.9. Глобальные циклы относительного изменения уровня моря первого и второго порядков в течение фанерозоя. Р – ранняя, С – средняя, П – поздняя эпохи. По П. Вейлу и др. (Vail P.R. e. a., 1977): (Сейсмическая ..., 1982, с. 162).

По горизонтальной оси показаны относительные положения уровня моря в масштабе от 1.0 до 0.0, где значение 1.0 соответствует максимальному высокому уровню (поздний мел, 65 млн лет назад, на 350 м выше современного), а 0.0 – минимальному низкому уровню (ср. олигоцен, 30 млн лет назад, 250 м ниже современного). В частности, отчетливо видны постепенный подъем уровня моря, приводящий к трансгрессии, и быстрое его опускание

Для оценки причин формирования цикличности Дж. Бирбауэром предложено выделять два типа: автоциклический и аллоциклический (J. Beerbower, 1964). Будучи рассмотренными на материале аллювиальных толщ, они вполне соответствуют конститативному (см. рис. II.9.5) и перститативному (см. рис. II.9.4) типам. Общая характеристика факторов, формирующих цикличность, приведена в табл. III.6.5, а законы формирования циклов – в табл. III.6.6.

Таблица III.6.5

Факторы, обусловливающие формирование цикличности

Процесс, формирующий литоцикл	Осадочный материал	Режим	Характер, генетический тип	Причины возникновения	Единица разреза	Строение литоциклов
Автоциклический (проходящий внутри одного генетического типа отложений)	Свой (данной области седиментации)	Различный	Смена субфаций в отложениях одной фации	Смена отложений внутри «автономной системы» за счет свойственных ей процессов (например, миграция русел)	Сублитоциклы и литоритмы	Простое
Аллоциклический (проходящий в пределах области седиментации и зависимый от разных причин)	То же	Миграционный или мутационный	Вертикальная смена отложений разных фаций	Тектонические движения разного ранга и знака; для мутационного режима компенсация осадками и климатическими условиями	Литоциклы разных порядков	Различное, чаще сложное
Ксеноциклический (проходящей вне области седиментации или вулканический)	Как свой, так и чужой (иной области седиментации + вулканический)	Инъективный	Вертикальная смена различных генетических типов отложений	Изменение условий вне области седиментации (наводнения, штормы, оползни и др.)	Темпеститы, ниундиты и др.	Различное, чаще простое
То же	То же	Сложный (осадочный + вулканический)	Сложное соотношение осадочных и вулканогенных отложений разных типов	Вулканизм как в области седиментации, так и вне	Ксенолитоциклы	Сложное

Таблица III.6.6

Законы формирования литоциклов (ЛЦ) и характер их действия

Составлено Л. Н. Ботвинкиной (Л. Н. Ботвинкина, В. П. Алексеев, 1991, с. 205)

Законы	Характер действия
Общие: основной частные	Многопорядковость литоциклов на фоне циклической кривой 1. Соподчинение ЛЦ 2. Неполное сходство смежных ЛЦ 3. Асимметрия ЛЦ
Геологические (седиментацнонные): основной частные	Всеобщность циклической седиментации (цикличность – один из основных законов осадконакопления): 1. Сохранение направленности изменения разреза внутри ЛЦ (при изменении его состава на площади) 2. Унаследованность пространственной характеристики во времени (от ЛЦ к ЛЦ) 3. Перестройка общего палеогеографического плана на границе литоциклов разных порядков 4. Соответствие порядка ЛЦ площади его распространения (выдержанности в пространстве) 5. Расщепление ЛЦ и переход его в другой порядок на значительном расстоянии 6. Наложение периодически повторяющихся единиц одного ранга на единицы другого ранга (в результате различия факторов, их обусловливающих) 7. Приуроченность каждого полезного ископаемого к определенному месту в литоцикле 8. Тяготение большинства полезных ископаемых к нейтральным частям литоциклов

III.7. ЦИКЛИЧНОСТЬ «ПРОСТАЯ» (РИТМИЧНОСТЬ) И «МЕХАНИЗИРОВАННАЯ»

III.7.1. Ритмиты и литоритмы

Наименьшие слоевые единицы – слойки и серии слойков – зачастую сильно варьируют по своим сочетаниям. Это уже отчасти было показано на рис. I.1.2, посредством различного сочетания слойков, их серий и групп серий. Изменения таких единиц по толщине показаны на рис. III.7.1, где особо выделен интервал **ритмитов** (Л. Н. Ботвинкина, 1966). Следует иметь в виду, что это очень специфическая характеристика, которую следует использовать в тех случаях, когда чередование слойков столь тонкое и частое, что употребление выражения «переслаивание пород» не отражает масштаба явления. Наиболее ярким примером ритмитов служат тонкие озерные ленточные глины – *варвы* (см. п. II.4.3). Пример ритмита и одного из механизмов его реализации приведен на рис. III.7.2.

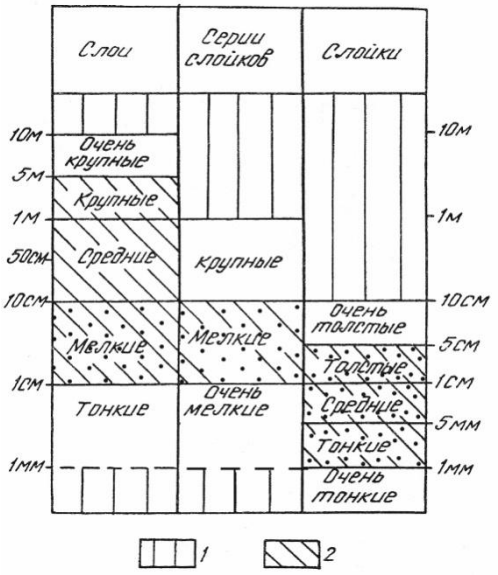
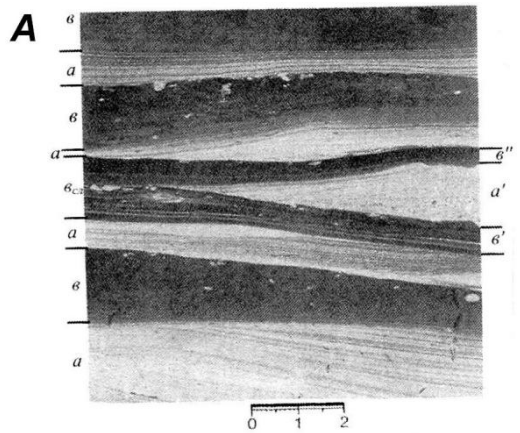


Рис. III.7.1. Классификация слоевых единиц по размеру, по (Л. Н. Ботвинкина, 1962, с. 181; 1965, с. 47; с сокращениями):

1 – встречаются редко; *2* – наиболее распространенные типы; крапом показан интервал толщин, наиболее типичный для ритмитов



а – очень тонкозернистый песчаник, хорошо сортированный. Тонкая косоволнистая слоистость; *в* – мелкозернистый алевролит, на нижних контактах слойков с очень тонкой пологоволнистой слоистостью. Толщина слойков (алевролит) и серий слойков (песчаник) 0,5–1,5 см.

В интервале $в_{сл}$ слияние в сложный слоек трех самостоятельных слойков *в'*, *а'* и *в''*, выделенных на правом срезе, формирующее линзовидно-волнистую слоистость

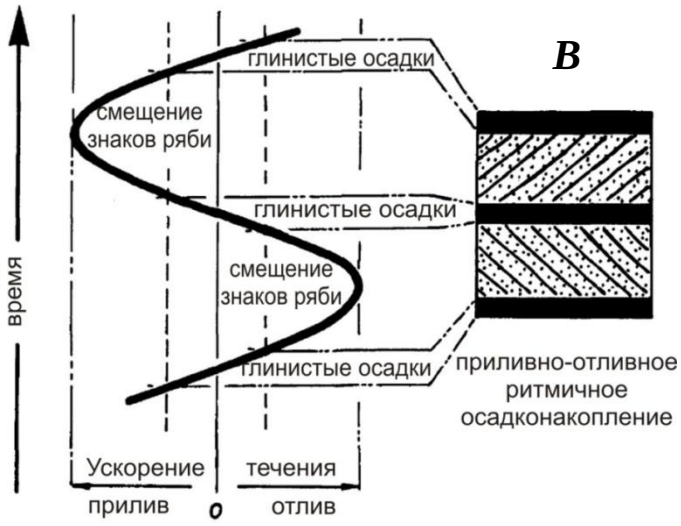
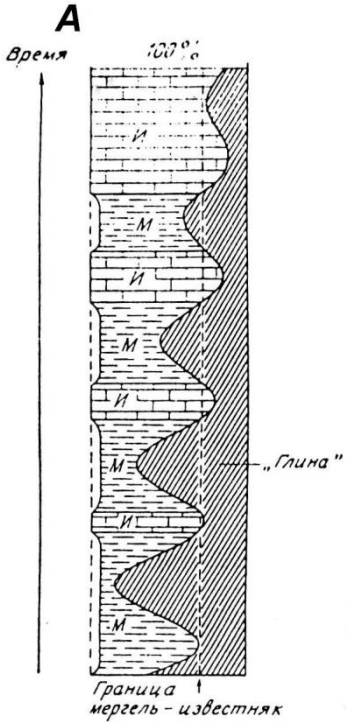
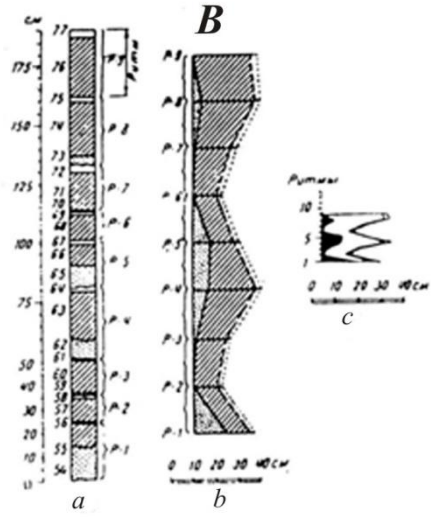


Рис. III.7.2. Ритмиты (ламиниты): *А* – реализация в образе керна; *В* – формирование приливно-отливного ритма (R. W. Dalrymple e. a. 1991)

Ритмиты характеризуют исключительно внутрислоевую сущность, то есть принадлежность к стратоседиментогенезу (см. рис. I.1.2) или 3-му рангу организации геологических тел (см. табл. I.1.1). **Литоритмы** уже фиксируют переход на более высокий, 4-й уровень. Примеры их выделения и строения приведены на рис. III.7.3.



Толща осадков с изменчивым, но медленно возрастающим отношением карбоната к глине (амплитуда колебаний отношения за счет содержаний глины равна 1 : 3 и остается все время постоянной). Только колебания, пересекающие пограничную линию между известняками и мергелями (здесь за пограничные содержания приняты 70 % карбоната и 30 % глины), генерируют толщу чередующихся известняков и мергелей, которые можно легко распознать в поле (Г. Эйнзеле: из (Циклическая …, 1985, с. 19))



Построение ритмограмм для разрезов флишевых толщ и ленточно-слоистых отложений, по (Н. Б. Вассоевич, 1948): *a* – колонка ритмической последовательности осадков; *b* – диаграмма мощностей и состава этого же разреза (ритмограмма); *c* – та же диаграмма в окончательном виде

Рис. III.7.3. Литоритмы в терригенно-карбонатных (*A*) и терригенных нефтегазоносных (*B*) толщах

«Переходными» между литоритмами и литоциклами являются продукты **событийной седиментации**, детально разобранные в сводке (Циклическая …, 1985) и являющиеся объектом пристального рассмотрения зарубежных исследователей. Общие представления о них дает рис. III.7.4; турбидиты освещены в п. II.13.2.

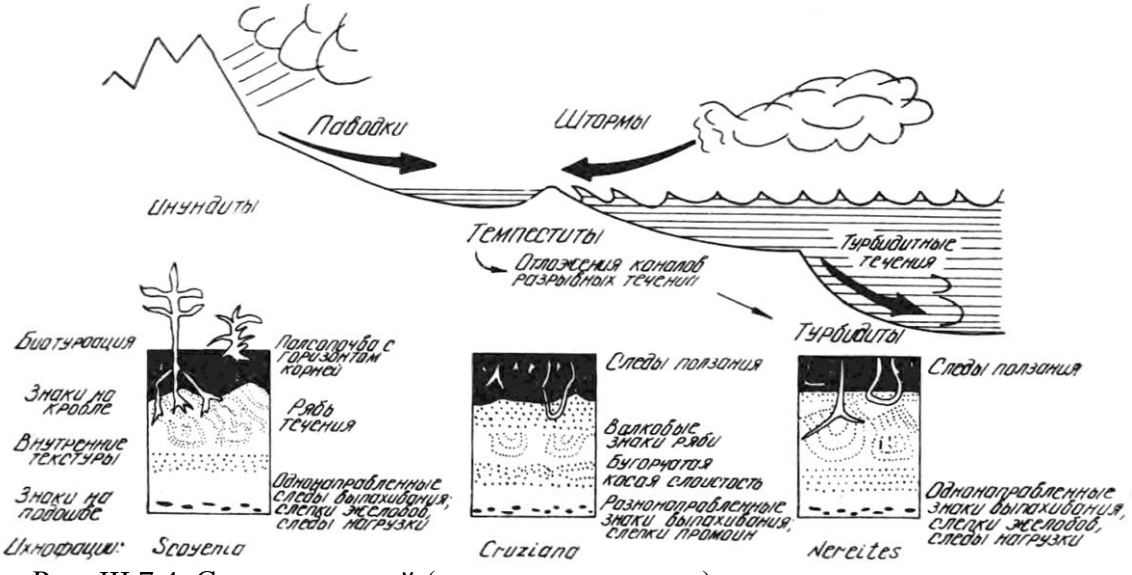


Рис. III.7.4. Схема различий (пары песок – глина) паводковых, штормовых и турбидитных песчаных отложений по седиментологическим и биологическим признакам. Градационные текстуры в песчано-глинистых парах слоев сходны (А. Зейлахер: из (Циклическая …, 1985, с. 313))

III.7.2. «Треугольниковая» цикличность

Вторым (после иерархии) параметром, определяющим циклическое строение осадочных толщ, является **направленность** смены ведущего (основного) признака либо комплекса признаков. Достаточно давно (не менее полувека назад) эту направленность стали изображать в виде равносторонних треугольников, вершина которых ориентирована в сторону уменьшения размерности терригенных частиц. Очевидно, что таких треугольников может быть только два. Схематические модели выделяемых последовательностей приведены на рис. III.7.5 и III.7.6.

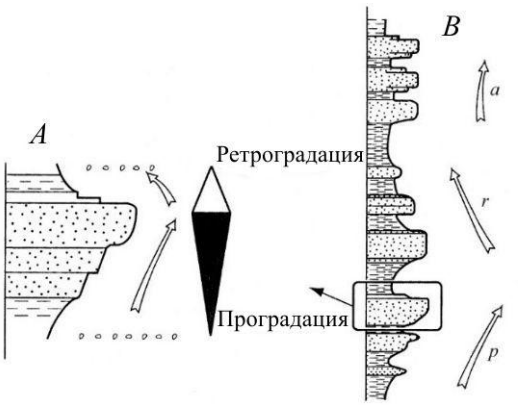


Рис. III.7.5. Генетическая единица осадконакопления: минимально определимая элементарная форма в логической последовательности отложений изменчивой фациальной обстановки (Б. Бижу-Дюваль, 2012, с. 433):

A. Элементарная генетическая единица.

B. Несколько генетических единиц с различными контактными взаимоотношениями: проградация (*p*), ретроградация (*r*), агградация (*a*)

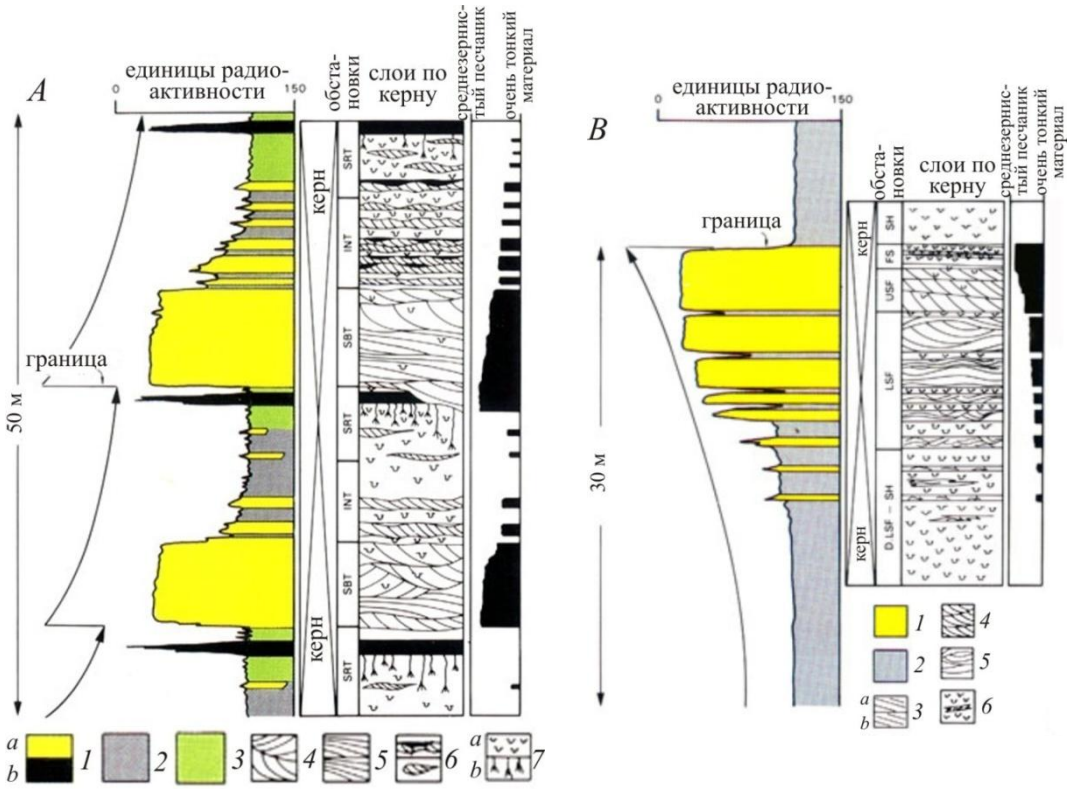


Рис. III.7.6. Слоевые характеристики последовательностей (SEPM STRATA):

A – **ретроградация**: два комплекса (парасиквенса) с уменьшающейся вверх по разрезу размерностью частиц, сформировавшиеся на пляже, с переходом в приливно-отливное мелководье. *1* – морские песчаники (*a*) / уголь (*b*); *2* – морские глины; *3* – неморские глины; *4* – косая, *5* – косо-волнистая, *6* – линзовидно-волнистая (*a*) и флазерная (*b*) типы слоистости; *7* – ходы илоедов (*a*) и корневые остатки (*b*). Обстановки: SBT – subtidal (низкоприливная), INT – intertidal – собственно приливно-отливная (литоральная), SRT – supratidal – надлиторальная (выше уровня полой воды);

B – **проградация**: дельтовый комплекс (парасиквенс), характеризующий волновую дельту со вдольбереговым переносом материала: *1* – песчаник; *2* – глина; *3* – косая слоистость; *4* – восходящие знаки ряби (*a*) и однородная текстура (*b*); *5* – ходы илоедов (*a*) и корневые остатки (*b*); *6* – ходы илоедов. Обстановки: OSMB – outer steam mouth bar (внешний бар, окружающий устье); DF – delta front (передовая часть дельты); D – pro delta (авандельта); SH – shelf (шельф)

В СССР – России «треугольниковая» цикличность прочно связана с именем Ю. Н. Карогодина, впервые использовавшего ее в 1974 г. (А. А. Трофимук, Ю. Н. Карогодин, 1974). Она детально охарактеризована в монографии (Ю. Н. Карогодин, 1980) и начиная с 1990-х гг. применяется в большом количестве работ по нефтегазоносным отложениям Западной Сибири.

На рис. III.7.7 показано, что явления регрессивности и прогрессивности (адекватно трансгрессивности) могут иметь «обратную» (по сравнению с циклитами Ю. Н. Карогодина) направленность изменения размерности частиц.

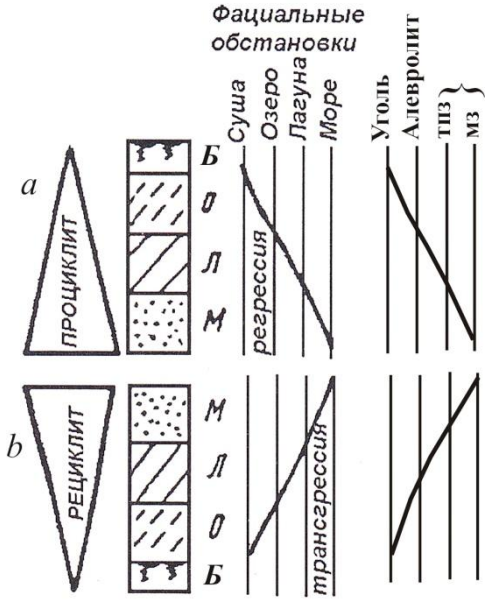


Рис. III.7.7. Сопоставление циклитов Ю. Н. Карогодина со сменой обстановок осадконакопления в режиме регрессии – трансгрессии и направленностью изменения гранулометрического состава (Л. Н. Ботвинкина, В. П. Алексеев, 1991, с. 289)

Однако в рамках современных представлений о сейсмической стратиграфии используется именно подход, связывающий ретроградационный (не обязательно регрессивный – !) тип последовательности с уменьшением размерности частиц, а проградационный (также не обязательно трансгрессивный) – с их увеличением вверх по разрезу. Это показано на рис. III.7.8.

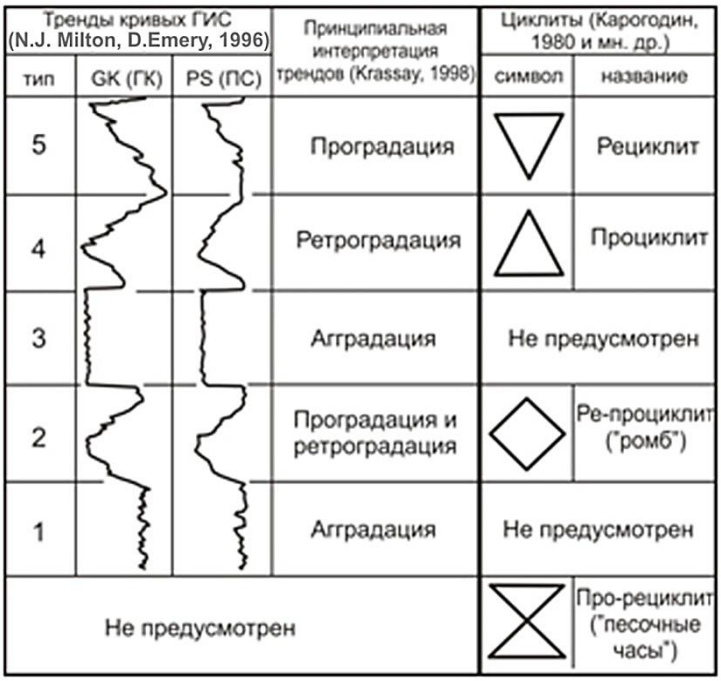


Рис. III.7.8. Тренды кривых геофизических исследований скважин (ГИС) и циклиты: диаметральная противоположность названий, имеющая глубинную сущность

III.8. ФАЦИАЛЬНО-ЦИКЛИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (ФЦА)

Место ФЦА в общей цепочке генетических методов исследования осадочных формаций уже было показано в табл. III.1.4 и на рис. III.1.4.

III.8.1. Мыслить циклами

Сущность фациально-циклического анализа и последовательность работ в ходе его выполнения четко сформулировал Ю. А. Жемчужников в своем докладе на Геологическом угольном совещании, состоявшемся в Москве 10-17 апреля 1944 г. Результаты работы совещания опубликованы в 1947 г., что иногда приводит к различиям в оценке времени произнесения фразы, которой озаглавлен предлагаемый пункт.

Некоторые выдержки из этого доклада.

«Сущность циклической седиментации как метода исследования заключается в тесном сочетании принципа цикличности с фациальным анализом. Последний в элементарном виде применялся и раньше. Но могущественный стимул развития в угольной геологии ему дан только разделением на циклы и прослеживанием фациальных изменений внутри цикла. Цикличность без углубленного фациального анализа – лишь формальный механистический прием. Анализ фаций без цикличности – как вышивка без канвы – лишен направляющего стержня. Только сочетание этих двух принципов делает усилия плодотворными и ведет к развитию каждого в отдельности.

...

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.

Его применение еще только начинается, его развертывание находится еще впереди.

Таким образом, теория *циклического осадконакопления* – это не только *эффективный способ* восприятия и *охвата многообразных факторов в единой общей концепции, но и новый острый метод познания* угленосных толщ, *открывающий широкие перспективы*» (Ю. А. Жемчужников, 1947).

Ю́рий Аполло́нович ЖЕМЧУ́ЖНИКОВ (08.05.1885 -09.01.1957) – советский геолог, член-корр. АН СССР. Окончил Горный институт в Петрограде (1915), преподавал там же с 1920. С 1904 по 1941 работал в Геологическом комитете, с 1945 – в Институте геологических наук (ныне ГИН РАН). «По разносторонности интересов, обширности знаний, богатству и глубине мысли Ю. А. Жемчужников принадлежал к плеяде замечательных деятелей советской науки. Высокоэрудированный, талантливый исследователь с чрезвычайно широким кругом научных интересов, он своей творческой деятельностью внес ценный вклад во многие отрасли геологической науки. Геология угольных месторождений, литология и фациальный анализ угленосных толщ и угольных пластов, петрология углей и палеофаунистика – вот краткий перечень основных направлений, в которых основополагающие работы Юрия Аполлоновича обеспечили ему широкую известность не только в нашей стране, но и далеко за ее пределами» (Угленосные..., 1985, с. 3.: сборник статей, посвященный 100-летию со дня рождения Ю. А. Жемчужникова)

Разносторонние работы Ю. А. Жемчужникова послужили центром для формирования *школы* его имени, получившей особую известность в литологии и петрологии углей. (Автор пособия надеется, что он имеет право быть причисленным к последователям этой школы.) Среди единомышленников Ю. А. Жемчужникова, плодотворно развивавших литологическое направление, особо следует выделить Л. Н. Ботвинкину.

Любо́вь Никола́евна БОТВИ́НКИНА (20.10.1912 – 25.09.1989). После окончания МГРИ работала в геологических партиях на Урале и в Кузбассе. Поступив в аспирантуру под руководством Ю. А. Жемчужникова, прочно связала судьбу с изучением фациального состава и цикличности угленосных (и не только) отложений. Наиболее известна как основной автор Атласа литогенетических типов пород Донбасса (1956) и до сих пор непревзойденных монографий по слоистости осадочных пород (1962, 1965). В середине-конце 1950-х гг. опубликовала серию статей по изучению цикличности в журнале «Литология и полезные ископаемые»; которые после значительного перерыва нашли достойное оформление в книге «Цикличность осадочных толщ и методика ее изучения» (1991).

Наиболее полно ФЦА реализован в капитальной двухтомной сводке по результатам изучения отложений среднего карбона Донецкого каменноугольного бассейна. Его методика исчерпывающе сформулирована следующим образом. «Детальное изучение и описание разреза в обнажении или по керну, составление литологической колонки, определение литогенетических типов и фаций, выделение циклов, составление литогенетических профилей и, наконец, построение фациальных и палеогеографических карт – таков путь анализа и обобщения материалов исследования, с постоянной взаимной, так сказать "обратной" проверкой исходных данных и предыдущих построений и выводов» (Строение..., 1959, ч. I, с. 120).

Принципиальные схемы последовательности выполняемых исследований приведены на рис. II.4.1 и III.1.6.

Первый этап ФЦА, заключающийся в установлении фаций и их характеристике, описан во II части пособия. Теперь сжато изложим второй этап, касающийся собственно установления цикличности. В его начале дадим полное определение **литоцикла**, более развернутое по сравнению с приведенным в начале п. III.6.2.

«*Полный литоцикл* – это комплекс различных отложений, генетически связанных направленностью изменения их признаков сначала в одном, а затем в противоположном направлении; эти комплексы повторяются в циклически построенном разрезе, но не однозначно, 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 на площади, определяемой особенностями формирования, а также порядком цикла» (Л. Н. Ботвинкина, В. П. Алексеев, 1991, с. 139).

III.8.2. Выделение циклов

Вопросы, связанные с установлением цикличности и выделением циклов, до сих пор не могут считаться однозначно решенными, что иллюстрирует рис. III.8.1.

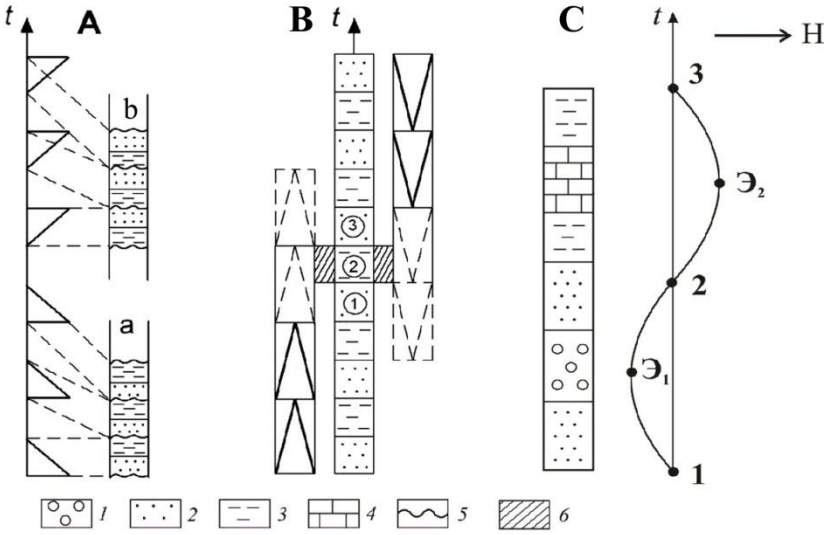


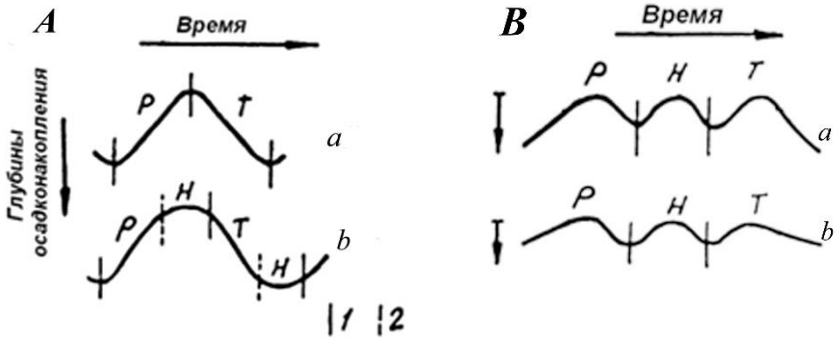
Рис. III.8.1. Основные варианты циклического строения разреза и режимов циклоседиментогенеза (идея заимствована в работе (Романовский, 1985, с. 52)): *1* – наиболее грубозернистые, *2* – относительно грубозернистые, *3* – тонкозернистые, *4* – карбонатные породы; *5* – несогласия; *6* – «переходный» слой; *t* – время, *H* – увеличение глубины бассейна седиментации;

A – дискретное строение толщи, с перерывами в седиментации; формируются неполные циклы (гемициклы) с утонением (*a*) или погрубением (*b*) материала во времени: соответственно проциклиты (*a*) и рециклиты (*b*) Ю. Н. Карогодина;

B – непрерывный разрез с равноправными вариантами начала цикла – с грубозернистых (слева от колонки) либо тонкозернистых (справа от колонки) пород. При этом возникают трудности для слоев *1-3*, показанных кружками. Последовательным выделением слоев либо снизу вверх, либо сверху вниз, осуществляемым по разным методикам, слой 2 оказывается в неопределенном положении;

C – процесс развивается непрерывно как во времени, так и в пространстве, с формированием квазисимметричного строения, отражаемого синусоидой. В качестве границ циклов предпочтительнее выбрать один из экстремумов синусоиды, характеризующих либо максимум трансгрессии ($Э_2$), либо наибольшую регрессию ($Э_1$). Точки перехода через «нулевую линию» (обычно это береговая линия) представляются менее удобными, поскольку для полного отрезка синусоиды (1-3) их две: 1 (3) и 2

В рамках ФЦА за начало цикла (литоцикла) принимается **смена трансгрессивной ветви чередования (развития) фаций на регрессивную**: это точка $Э_2$ на рис. III.8.1. Тем самым процедура выделения циклов становится несложной, что показано на рис. III.8.2, III.8.3.



a – простой цикл с относительно быстрым переходом от регрессии (р) к трансгрессии (т); *b* – цикл с «растянутыми» нейтральными (н*)* частями, завершающими регрессивную и трансгрессивную части цикла; *1* – границы цикла; *2* – границы частей цикла

a – начало и конец циклов р и т формируются на разных глубинах: *b* – начало и конец всех циклов формируются на одной глубине. Стрелки показывают изменение глубин осадконакопления

Рис. III.8.2. Кривые, отражающие изменение условий седиментации: ***A*** – для фаз одного цикла; ***B*** – для циклов разной природы

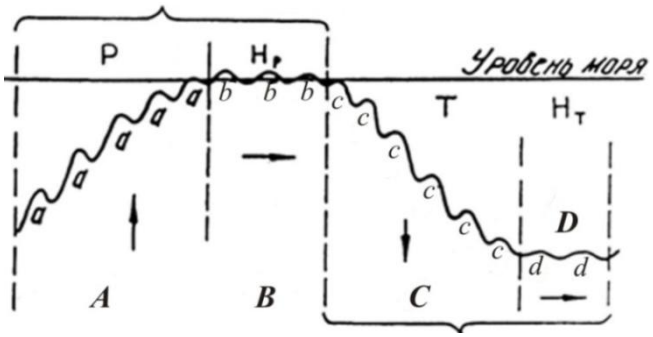


Рис. III.8.3. Кривая цикла 2-го порядка, состоящего из циклов 1-го порядка (по Л. Н. Ботвинкиной):

a – циклы регрессивного типа, образующие регрессивную ветвь (***A***) цикла 2-го порядка; *b* – циклы трансгрессивного типа, образующие трансгрессивную ветвь (***C***) цикла 2-го порядка; *c* и *d* – циклы нейтрального типа, завершающие регрессивную и трансгрессивную части цикла 2-го порядка и образующие его нейтральные части (***B*** и ***D***). Вертикальные стрелки указывают на активность процессов, формирующих цикл, горизонтальные – на их затухание и малую амплитуду изменения фаций

В целом ряде случаев формируются неполные циклы, когда одна часть резко начинает доминировать над другой. В крайнем, достаточно распространенном для отдельных режимов осадконакопления случае формируются полуциклы, или **гемициклы**, представленные только одной из ветвей. Границы таких циклов, при общем скачкообразном характере седиментации, всегда резкие (рис. III.8.4).

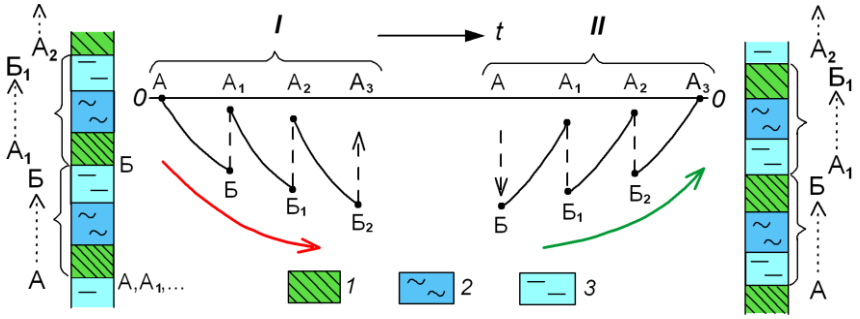


Рис. III.8.4. Формирование неполных циклов (гемициклов) на фоне трансгрессии (*I*) или регрессии (*II*) (Л. Н. Ботвинкина, В. П. Алексеев, 1991, с. 214): отложения: *1* – заливов, *2* – подвижного бассейнового мелководья, *3* – наиболее удаленной части бассейна

На рис. III.8.5 показана достаточная «вмонтированность» изложенных представлений в **генетическую стратиграфию** (genetic stratigraphy), активно развиваемую зарубежными исследователями.

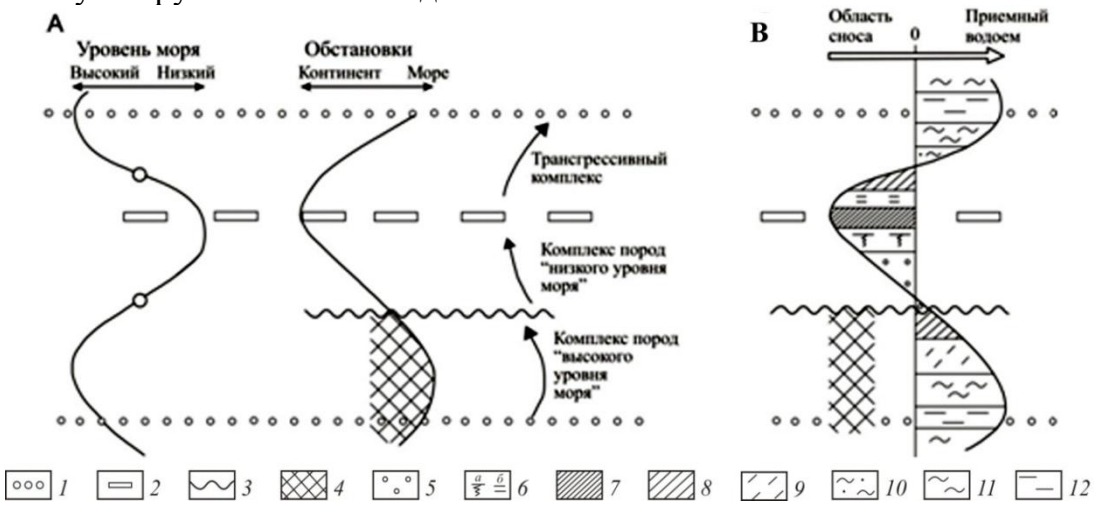


Рис. III.8.5. Выделение циклов по смене обстановок осадконакопления: *A* – в генетической стратиграфии (Бижу-Дюваль, 2012, с. 435, с сокращениями); *B* – в методике фациально-циклического анализа: *1* – поверхности максимального затопления; *2* – осушение поверхности, *3* – места наиболее вероятных перерывов; *4* – интервалы, подверженные эрозии; *ландшафты (макрофации)*: *5* – аллювиальный, *6* – озерно-болотный (*а*) и озерный (*б*), *7* – болота (угли), *8* – заливно-лагунный, *9* – дельтовый (конусов выноса), *10* – малоподвижного мелководья, *11* – активного (подвижного) мелководья, *12* – открытой части приемного бассейна

На рис. III.8.6 приведен фрагмент колонки скважины, иллюстрирующий классическую методику, разработанную для угленосных отложений среднего карбона Донбасса (Строение ..., 1959). На рис. III.8.7 приведен модернизированный вариант колонки для одного из западносибирских нефтегазовых месторождений.

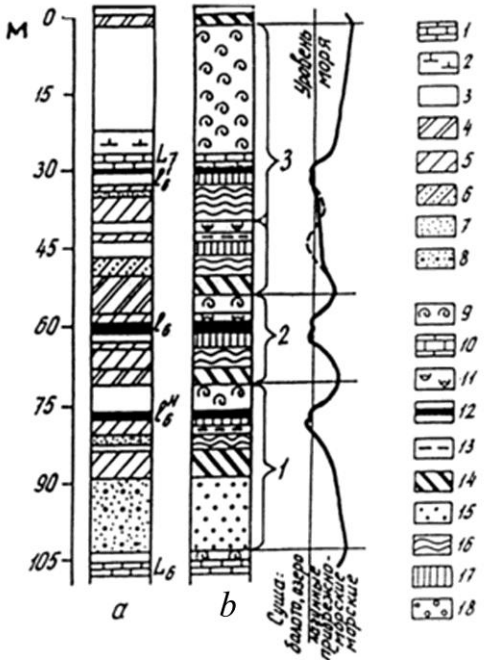


Рис. III.8.6. Циклическое строение небольшой части угленосных отложений Донбасса:

колонка «a» (породы): 1 – известняк, *2* – известковистый аргиллит, *3* – аргиллит, *4* – переслаивание аргиллитов и алевролитов, *5* – алевролиты, *6* – чередование тонких слоев песчаника и алевролита, *7* – песчаник мелкозернистый, *8* – песчаник среднезернистый;

колонка «b» (отложения разного происхождения): *9* – морские глинистые, *10* – морские известковистые, *11* – лагунные глинисто-алевритовые, *12* – торфяного болота, *13* – озерные, *14* – морские алевритовые зоны волнений, *15* – морские песчаные зоны течений, *16* – лагунные алеврито-песчаные зоны волнений, *17* – болотные, *18* – речные русловые; *1, 2, 3* – циклы осадконакопления; $l_6^н$, l_6, l_6^1 – угольные пласты; L_6, L_1, – пласты известняка; справа – кривая цикличности

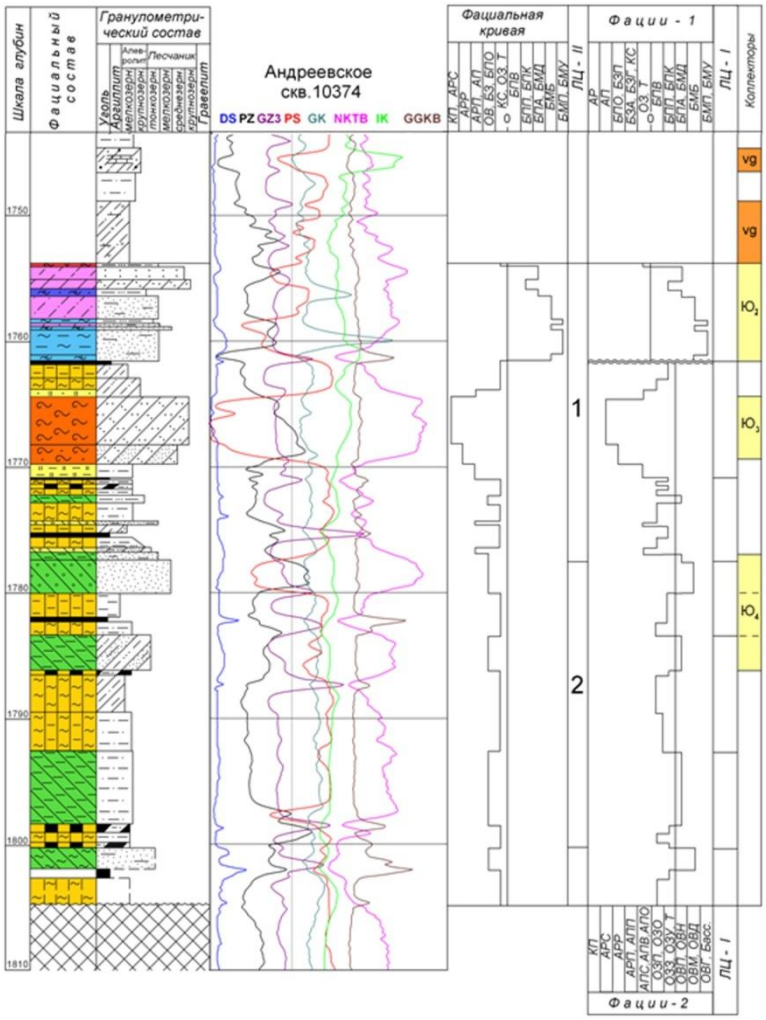


Рис. III.8.7. Колонка скважины, пробуренной со 100 % выносом керна: обозначения фаций см. в табл. II.5.8

Столбец «Фациальная кривая» не обеспечивает должной расчлененности для достоверного выделения циклов. Для этого использованы более детальные оцифровки: «Фации-1» для бассейновых и «Фации-2» для континентальных отложений, с границей между ними, обозначенной двойной волнистой линией. В результате вполне отчетливо выделены два литоцикла II порядка: ЛЦ-1 и ЛЦ-2, включающие соответственно коллекторы $Ю_4$ и $Ю_3$ + $Ю_2$ (vg – вогулкинская пачка)

III.8.3. Значимость и перспективность изучения цикличности

В практическом отношении одним из наиболее важных аспектов является установление *иерархии* в строении осадочных толщ, то есть взаимоотношений между циклами разных порядков. Это было показано в п. III.6.3 и проиллюстрировано на рис. III.8.8 и в табл. III.8.1, III.8.2, применительно к раннемезозойским терригенным отложениям Северной Евразии, включающим весь спектр горючих ископаемых (нефть, газ, уголь).

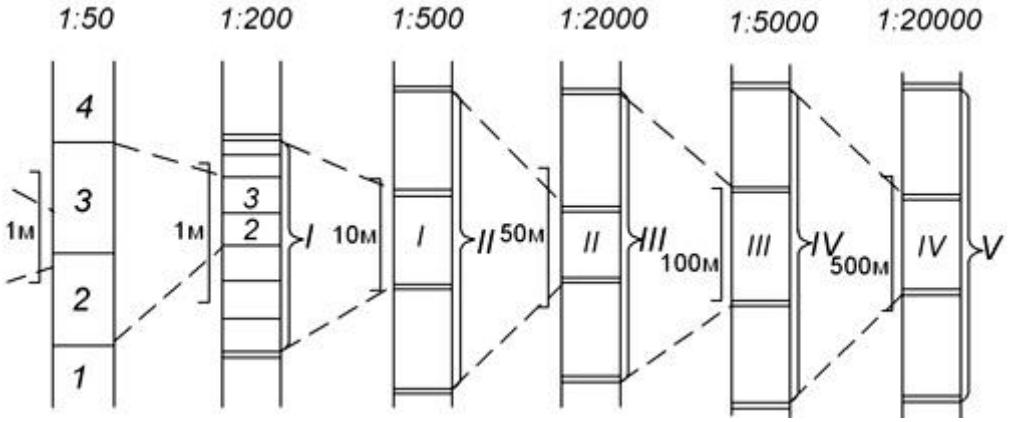


Рис. III.8.8. Соподчиненность литоциклов разных порядков на примере раннемезозойских угленосных толщ азиатской части России:

вверху – масштаб, слева от колонок толщины интервалов 1 ... 4 – слои; I – V – литоциклы разных порядков

Таблица III.8.1

Характеристика литоциклов раннемезозойских терригенных внутриконтинентальных отложений

Литоцикл (порядок)	Наиболее характерная мощность, м	Чем представлен	Причины возникновения (см. табл. III.6.5; рис. III.6.9)
IV	35-600	Свитой	Аллоциклические
III	80-130	Горизонтом (частью свиты, свитой); большой группой фациальных комплексов	Смешанные, с преобладанием аллоциклических
II	25-40	Устойчивой группой фациальных комплексов	Смешанные: могут различаться в разных частях и горизонтах формаций
I	5 - 15	Фациальным комплексом	Большей частью автоциклические

Таблица III.8.2

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. на рис. III.8.7 и в табл. III.8.1)		
Региональный	Прогноз нефтегазоносности	в общих чертах	достоверно	детально
	Оценка зон нефтегазоносности	III	IV	–
Поисково-оценочный	Выделение объектов поискового бурения	II	III	–
	Подготовка объектов к поисковому бурению	II	II, III	III, IV
	Поиск и оценка месторождений (залежей)	I	II (I)	III
Разведочный	Разведки и пробной эксплуатации	–	–	I

ИНДИКАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ

III.9. СКОРОСТЬ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

III.9.1. Осаждение материала и общие представления о скоростях

Вопросы, связанные с транспортировкой и осаждением кластогенного материала, были рассмотрены в ряде разделов (см. рис. I.2.12, п. I.5.2; п. III.2.1). Общим итогом для любого из рассмотренных механизмов является следующее. Осаждение, т. е. фиксирование в некотором пространственном объеме продуктов механического дробления пород, вызывается действием **силы тяжести**. Это происходит тогда, когда динамическая энергия флюида – носителя (воды или ветра) становится недостаточной для перемещения частиц данного размера. Осаждение мелких обломочных частиц в стоячей воде подчиняется правилу Стокса, выраженному следующей формулой:

$V = \frac{2}{9}\frac{r^2(d_1-d)g}{\mu}$, где V – скорость осаждения частиц; d_1 – удельный вес частицы; g – ускорение силы тяжести; d – удельный вес среды, в которой происходит осаждение; μ – вязкость среды осаждения.

Ниже приведено три примера разного характера и степени обобщения, последовательно иллюстрирующих многообразие способов, форм и результатов транспортировки и осаждения частиц разного размера.

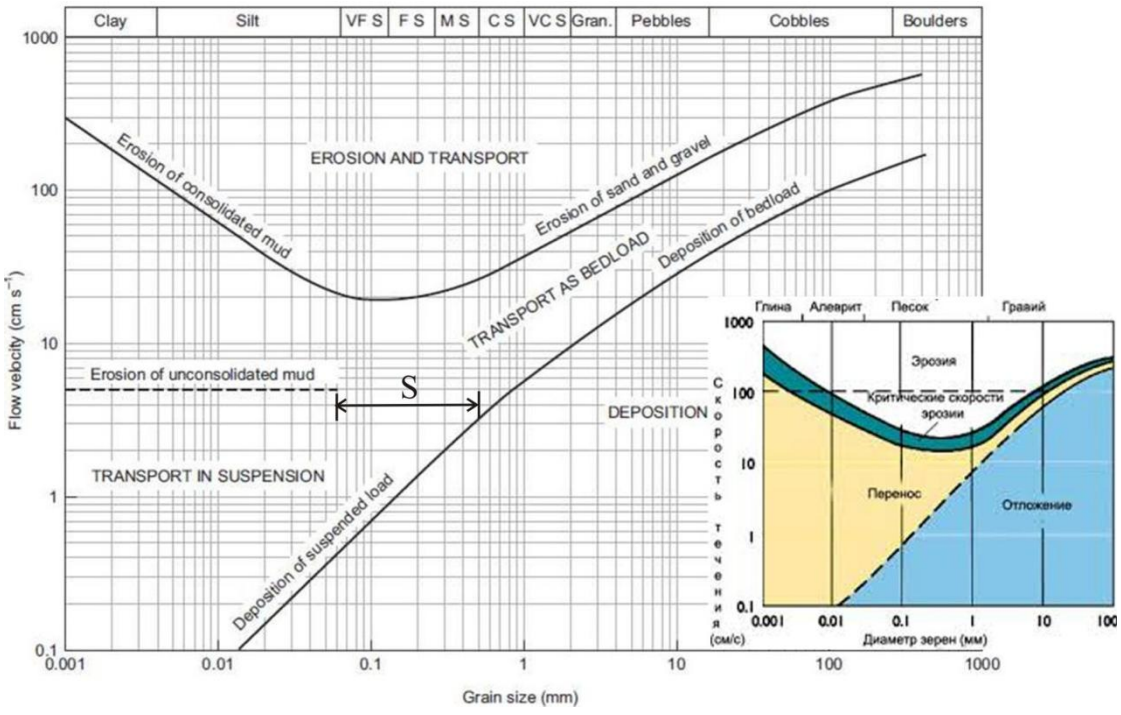


Рис. III.9.1. Диаграмма Ф. Хьюльстрёма (F. Xjulström), предложенная в 1935 г. Ее основное значение заключается в следующем. Для частиц с размером более 0,5 мм скорость потока, необходимая для эрозии, увеличивается с возрастанием размерности. Для частиц с размером менее 0,7 мм зависимость становится обратной, что обусловлено повышением сил сцепления между ними. Переходная зона между этими значениями *S* соответствует основной группе песчаников – от тонкозернистого до среднезернистого (см. табл. I.2.1, I.5.1).

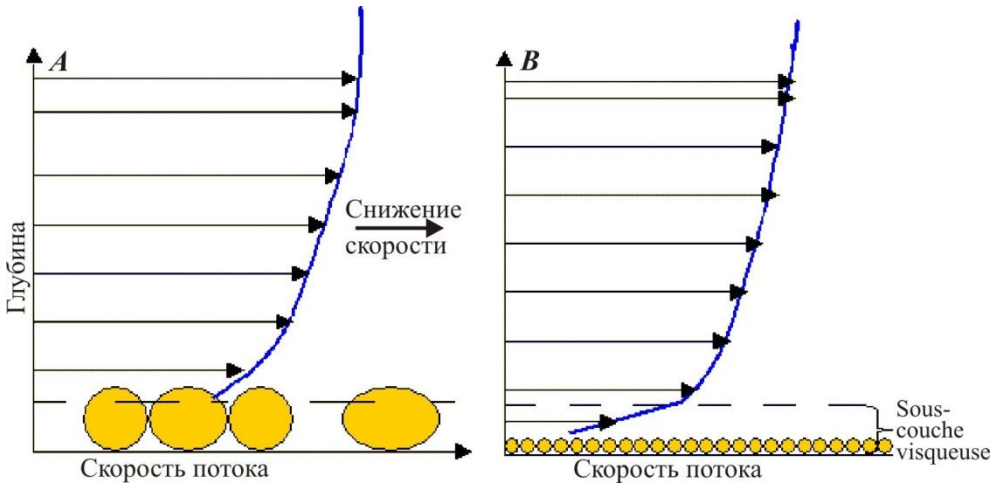


Рис. III.9.2. Формирование «вязкого слоя» (фр. souscouche visqueuse) и осаждение частиц при снижении силы потока от значительной (***A***) до относительно невысокой (***B***)

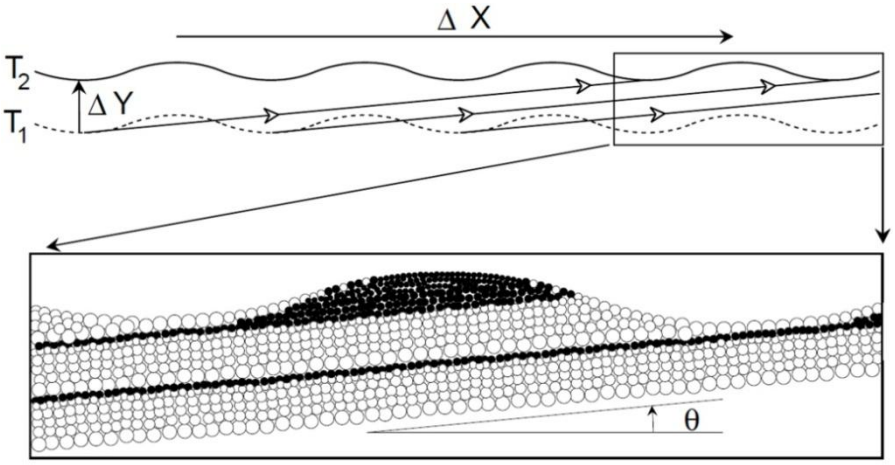


Рис. III.9.3. Схематическая модель, иллюстрирующая процесс формирования косой слоистости (B. J. Cheel, 2005, p. 100):

вверху – миграция синфазных волн (по стрелкам) по поверхностям наслоения ΔY, с миграцией волн вниз по течению (ΔX);

внизу – увеличенный фрагмент, иллюстрирующий характер сортировки и распределения тяжелых минералов на гребне синфазной волны и в слойках, формирующихся вследствие миграции. $\Theta = tg^{-1} (\Delta Y/\Delta X)$. Вертикальный масштаб увеличен в 25 раз

Важнейшей характеристикой процесса осаждения частиц является его скорость, почти всегда обозначаемая индексом V (англ. velocity) и отражающая быстроту изменения какой-либо величины в зависимости от другой. Чаще всего при этом оцениваются изменения во времени, то есть $V = r / t$, где r – некоторый параметр, а t – время. При оценке линейной скорости для геологических процессов (rate of sedimentation), обычно измеряемых для длительных промежутков времени, часто используется 1 Бубнов (Б; англ. Bubnoff unit – B), равный 1 м за 1 млн лет, или 1 мм за 1000 лет, или 1 мкм за год. Единица названа так в честь известного немецкого геолога Сержа (Сергея Николаевича) фон Бубнова (Serge von Bubnoff, 1888-1957), многие работы которого были посвящены именно изучению скоростей геологических процессов (A. Fisher, 1969).

Использование линейного параметра по сути дезавуирует широко употребляемый в геологии термин **мощность** применительно к скорости. Действительно, таковое понятие относится к физической величине, характеризующей изменение **энергии** системы. В более узком смысле она равна отношению работы (A), выполняемой за некоторый промежуток времени, к этому промежутку времени (t), или $W = dA/dt$. Таким образом, более правильным применительно к линейным размерам геологических тел (по меньшей мере, вертикальным характеристикам слоев) выглядит употребление наименования **«толщина»** (англ. thickness; нем. dicke; фр. épaisseur). Это присуще англоязычной геологической литературе; характерно для многих отечественных работ по нефтегазовой тематике.

III.9.2. Скорости современной и древней седиментации

Основные сведения по скоростям осадконакопления свидетельствуют о различиях в современных и «древних» (геологических) отложениях примерно в 100 раз (рис. III.9.4).

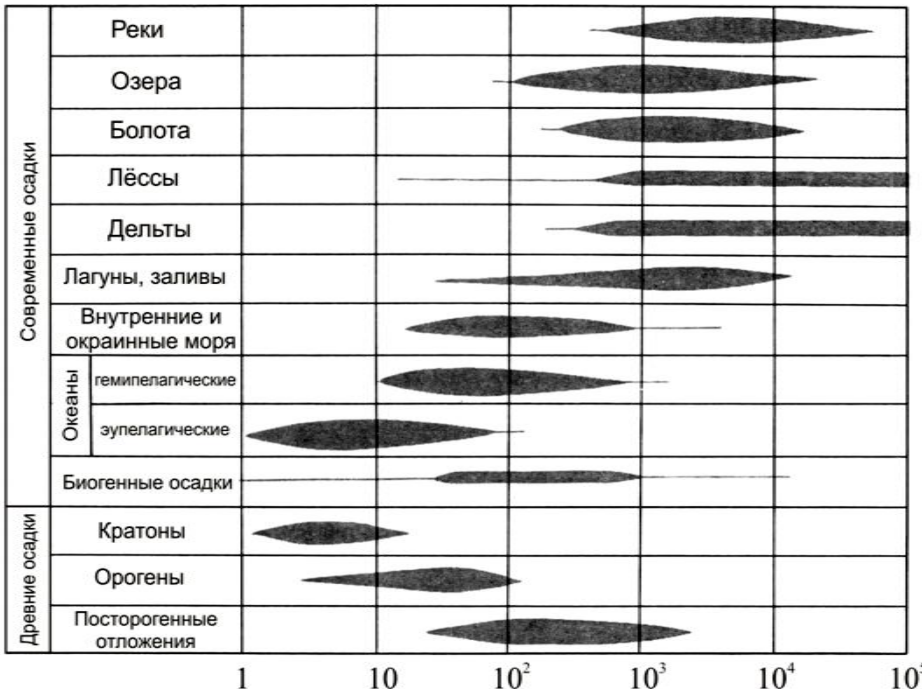


Рис. III.9.4. Скорость седиментации в разных средах (современные осадки) и геотектонических условиях (древние осадки). Вертикальный масштаб соответствует наиболее характерным значениям (Зд. Кукал, 1987, с. 113)

(мм/тыс. лет =

Причины этих различий: 1) уплотнение осадков при их погружении на глубину; 2) возрастание скорости осадконакопления в истории геологического развития Земли (рис. III.9.5); 3) неполнота геологической летописи.

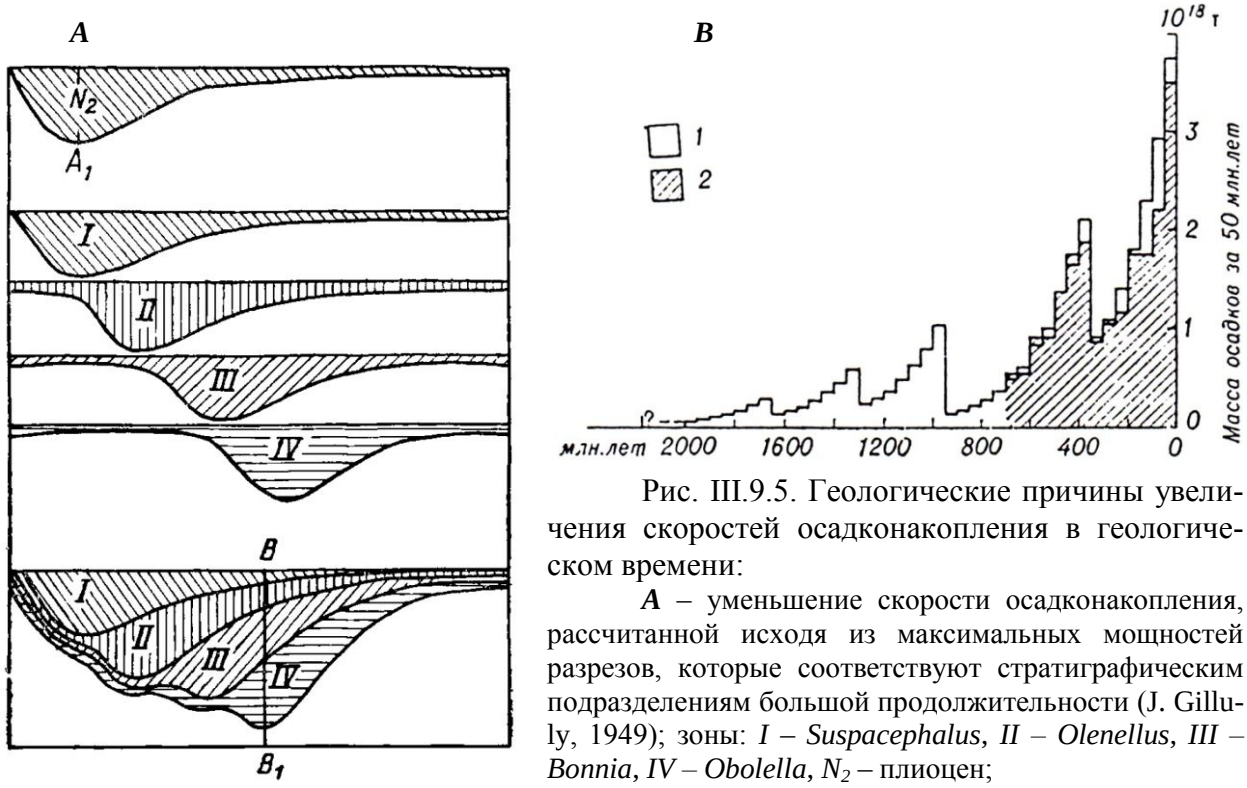


Рис. III.9.5. Геологические причины увеличения скоростей осадконакопления в геологическом времени:

A – уменьшение скорости осадконакопления, рассчитанной исходя из максимальных мощностей разрезов, которые соответствуют стратиграфическим подразделениям большой продолжительности (J. Gilluly, 1949); зоны: *I – Suspacephalus, II – Olenellus, III – Bonnia, IV – Obolella, N_2* – плиоцен;

B – распределение сохранившихся в разрезе земной коры масс осадочных пород как функция геологического возраста: *1* – согласно модели; *2* – на основании прямых измерений по картам (Р. Гаррелс, Ф. Маккензи, 1974)

Основной причиной несоответствия современных и древних скоростей осадконакопления является **неполнота геологической летописи**. Для формулы $V = r/t$, в геологии r – это толщина накопившихся (наблюдаемых – !) отложений, а t – геологическое (!) время. Изменения r для первых двух причин из указанных выше могут составлять «разы», что никак не обеспечивает изменения скоростей на два порядка (см. рис. III.9.4). В *уменьшении* же значения t, отводимого на *закрепление* в геологическом разрезе осадков, по сути может скрываться любое «требуемое» значение. «Геологическое» время ($t_{геол}$), по сути, стремится к бесконечности, в то время как конкретное время формирования осадков ($t_{ос}$) может быть и довольно небольшим ($t_{геол} \rightarrow \infty$ при $t_{ос} \rightarrow 0$). Такой подход использован С. И. Романовским, предложившим общую формулу, согласно которой следует оценивать скорости осадконакопления (Романовский, 1988):

$$v = H / (T - T^*)\, pk,$$

где k – коэффициент, учитывающий сокращение первоначально образующихся мощностей слоев; это своего рода осредненная мера уплотнения осадочной толщи; H – максимальная мощность отложений в пределах выделенного стратиграфического подразделения; T – продолжительность этого подразделения; T^* – суммарное время перерывов в осадконакоплении; p – мера, учитывающая интенсивность межслоевых размывов в процессе формирования слоистой толщи.

Сводный график, иллюстрирующий зависимость скорости осадконакопления от времени наблюдений приведен на рис. III.9.6. На нем отчетливо выделяется интервал значений в $10^2 – 10^4$ Б или в среднем 1-3 мм/год, характерный как для современных процессов, так и для древних осадков.

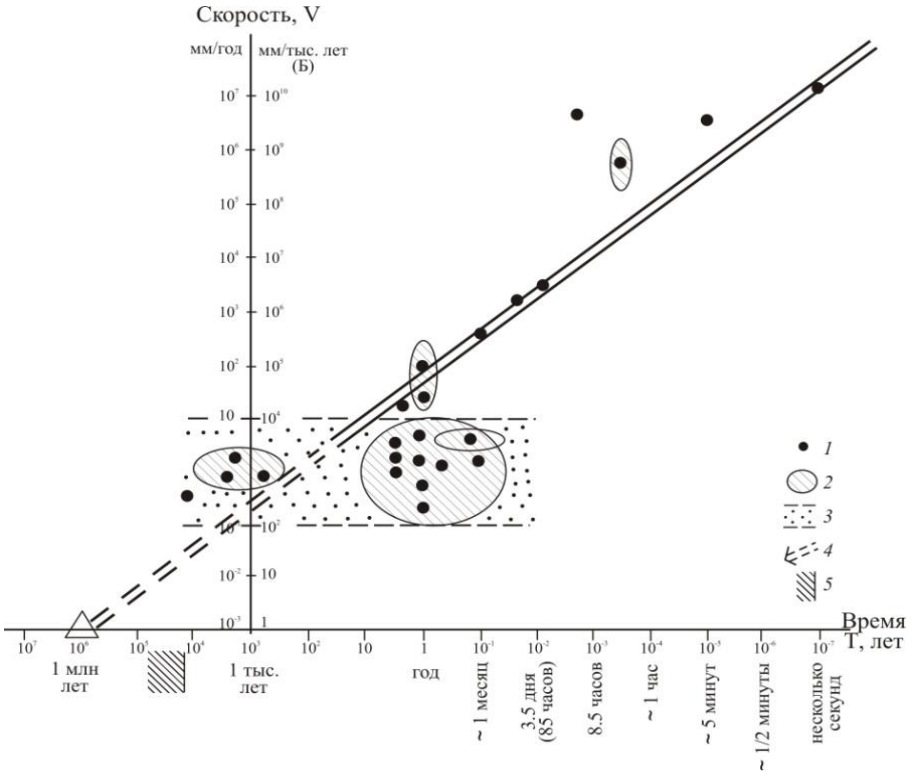


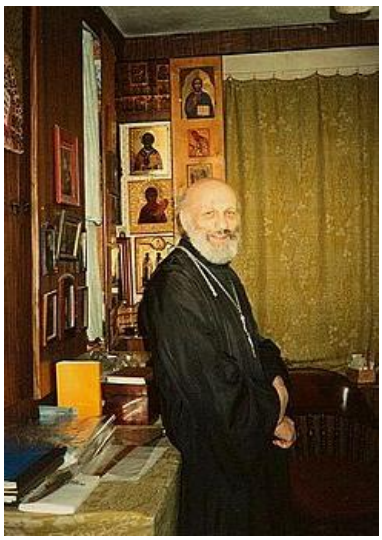
Рис. III.9.6. Соотношение между скоростью седиментации V и временем наблюдения T (В. П. Алексеев, Э. О. Амон, 2017, с. 89; с сокращениями):

1 – наблюдаемые параметры; *2* – поля близких значений; *3* – диапазон постоянных значений; *4* – вектор прямой зависимости, с продолжением до пересечения с осью времени; *5* – зона «потери» прямой связи увеличения скорости осадконакопления со временем

Иллюстрацией к изложенному служит образец, показанный на рис. III.9.7.

Рис. III.9.7. Параллельная ламинарная слоистость в слабометаморфизованном силиците (Ю. Г. Волошин, 2012, с. 306): допуская, что каждая пара углеродистого (черное) и кремневого (белое) слойков представляет годичный варв, время накопления 2-сантиметрового породослоя оценивается в пределах 72-100 лет, а средняя скорость его отложения – около 0,3 мм/год (300 Б), или в состоянии неуплотненного водонасыщенного ила – около 3 мм/год (3000 Б). Среднее течение р. Анюй (средний триас)

Вопросу о скорости осадконакопления уделяют значительное внимание сторонники «младоземельного креационизма» (англ. Young Earth creationism). Принимая в буквальном толковании Ветхий Завет, они полагают возраст Земли и Вселенной равным приблизительно 6 или 7,5 тыс. лет, что сопоставляется с Шестодневом (С. В. Шубин, 2001). Такой подход наиболее ярко прослеживается в *геологических* работах А. В. Лаломова по сверхбыстрым скоростям осадконакопления, в которых подчеркивается катастрофичность многих процессов осадкообразования (Лаломов, www.shestodnev.ru; www.creatio.ortodoxy.ru). По сути, таких же представлений придерживался известный литолог-нефтяник Г. А. Каледа.



Глеб Алекса́ндрович КАЛЕДА́ (2 декабря 1921, Петроград, РСФСР – 1 ноября 1994, Москва, Россия) – доктор геолого-минералогических наук, профессор, священник Русской Церкви, протоиерей; церковный писатель.

С декабря 1941 г. до конца войны находился в действующих частях, радистом дивизиона гвардейских минометов «катюш». В 1945 г. поступил в МГРИ, закончив его с отличием в 1951 г. Крупный специалист в области литологии, в основном – нефтегазоносных толщ. В 1972 г. тайно рукоположен во диаконы, в 1990 г. стал священником Московской епархии. Первый московский священник, служивший в тюрьме (создатель Бутырского храма, 1992 г.). (Материал из Википедии.)

«Способов познания мира не так уж много: научный, религиозный и на уровне здравого смысла. Научный и религиозный способы познания мира весьма схожи – оба производят удвоение реальности, оба основаны на вере. Просто наука претендует на верифицируемость своих заявлений и зиждется на вере в созданные ею самой концепции мира, а религия так вопрос вообще не ставит» (Е. А. Островская, 2014).

III.9.3. Лавинная седиментация

А. П. Лисицыным в 1982 г. было введено понятие *лавинной седиментации*: процесса очень быстрого, лавинного накопления осадочного материала на дне водоема. Он имеет важное тектоническое следствие: *изостатическое* прогибание коры под влиянием огромных нагрузок с возникновением линзообразных образований, имеющих депоцентр, отвечающий главной области осаждения материала. В качестве граничного значения для выделения областей ЛС предложены скорости более 100 Б, или 0,1 мм/год. А. П. Лисицыным выделены три уровня лавинной седиментации: I – устья рек (50-70 % отложившегося материала взвешенного речного стока на площади 2 % от поверхности Земли); II – основание континентального (материкового) склона (20-40 %) и III – глубоководные впадины (7-8 % стока). Эти уровни были показаны на рис. II.2.6; детальная характеристика приведена на рис. III.9.8. По-видимому, следует говорить и еще об одном, собственно континентальном уровне лавинной седиментации – подножий горных систем, который не столь часто переходит в ископаемое состояние, но хорошо изучен для достаточно молодых горных систем. Он безусловно играл значительную роль в геологической истории в качестве «транзитной пересадки» для дренируемого материала.

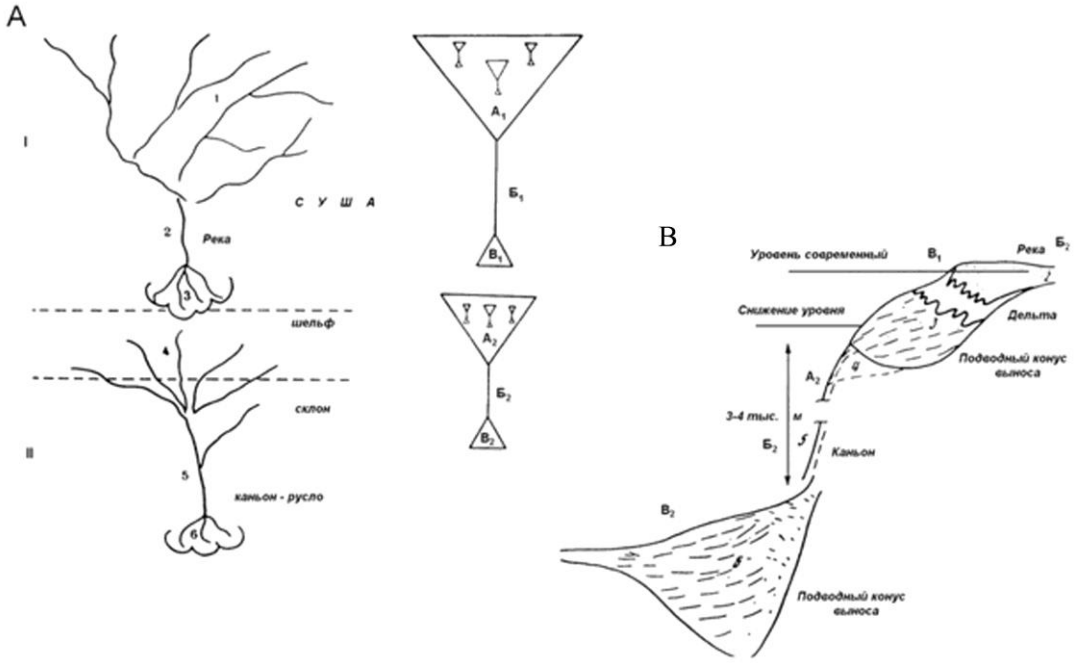


Рис. III.9.8. Схема взаимосвязанных по вертикали осадочных систем Земли в плане (А) и в разрезе (В) (А. П. Лисицын, 1984):

А: I – осадочная система первого глобального уровня: водосборный бассейн (1), транспортное русло (2), дельта (надводная и подводная части) (3). II – продолжающая ее по вертикали осадочная система второго глобального уровня субаквальная (океанская), осадкосборный конус (подводные долины и каньоны) (4), транспортное русло (5), подводный конус выноса (б).

Справа – схематическое изображение осадочных систем глобального уровня и мелких региональных и местных. Каждая система состоит из осадкосборного треугольника (А – первый уровень – 1; второй – 2) транспортного русла (Б, те же уровни) и треугольника аккумуляции (В, те же условия). Общая направленность процесса: сбор осадочного материала с больших площадей и его концентрация на небольших участках осадочно-породных бассейнов (ОПБ) – на схеме аккумулирующие треугольники. Передача осадочного материала по этажам порциями при изменении уровня или накоплении критической массы.

В – вертикальный разрез для схемы А. Показаны осадочно-породные бассейны (ОПБ) первого и второго уровней лавинной седиментации. Снижение уровня океана ведет к массовому перемещению вещества с верхнего уровня на нижний

III.10. ПЕРЕРЫВЫ В ОСАДКОНАКОПЛЕНИИ

III.10.1. Несогласия и значение перерывов

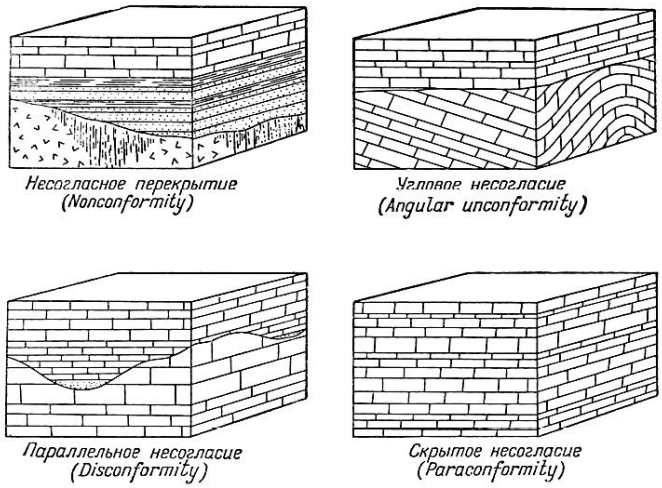


Рис. III.10.1. Четыре типа несогласий (К. Данбар, Дж. Роджерс, 1962, с. 130)

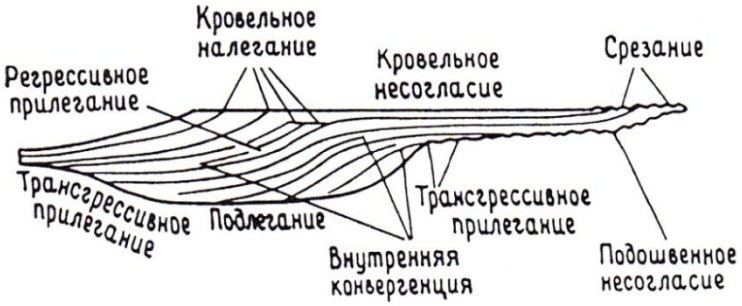


Рис. III.10.2. Схематическое изображение сейсмического комплекса и различных видов прекращения прослеживания отражений в его пределах (Сейсмическая …, 1982)

Кровельные несогласия включают эрозионный срез и кровельное налегание (toplap). Кровельное налегание представляет собой окончания отражающих горизонтов, интерпретируемые как слои, примыкающие к подошве вышележащих отложений в результате отсутствия накопления осадков и слабой эрозии. Менее выраженные границы такого налегания обычно включаются в последовательность отложений. Подошвенные несогласия или подошвенное налегание (baselap) включают трансгрессивное прилегание (onlap) и подлегание (downlap), которые трудно различимы при наличии последующих деформаций.

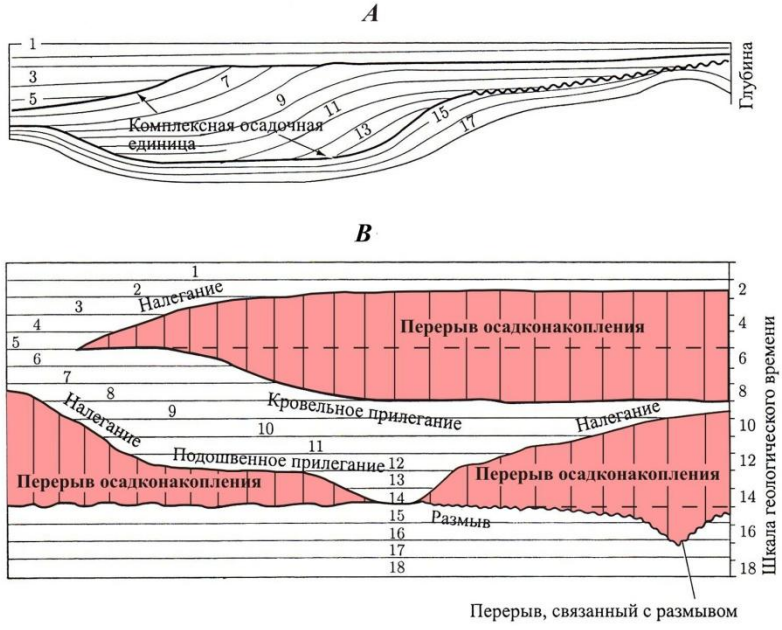


Рис. III.10.3. Осадочный сейсмокомплекс: ***A*** – схематический геологический разрез; ***B*** – хроностратиграфический разрез (по материалам ENSPM, 1986) (Б. Бижу-Дюваль, 2012, с. 417)

Опираясь на установленный факт о накоплении единичного цикла турбидита за считанные часы, С. И. Романовский для конкретного объекта (Северная Атлантика) определил следующее: «Пусть интересующая нас свита соотносится с 2/3 геологического века, что для мелового периода соответствует приблизительно 3-3,5 млн лет. Свита включает 1000 элементарных циклов турбидита (их мощность в данном случае роли не играет). Если на образование одного цикла уходит 20-30 часов, то вся свита формируется за 30-40 месяцев (считая лишь время чистой седиментации), что составляет только 0,0001 % стратиграфического времени ее образования. Отсюда следует, что вся свита возникла геологически мгновенно» (С. И. Романовский, 1988, с. 24). Более того, им выдвинуто и достаточно экстравагантное положение: «… справедливым будет следующее парадоксальное (на первый взгляд) утверждение: *вся свита, сложенная турбидитами, образовалась в течение перерыва в осадконакоплении*» (Там же; курсив автора). Близкие результаты приведены Р. Доттом (табл. III.10.1).

Таблица III.10.1

Формирование турбидитов (частота проявления и аккумуляция): кембрийско-ордовикские песчаники Мэдисона (R. H. Dott, 1983)

Исходные данные	Сиквенс состоит из 100 пачек или циклитов (couplets), каждый из которых представлен собственно турбидитовой частью средней мощностью 10 см и «нормальной» пелагической частью средней мощностью 5 см. Общая мощность составляет (10 + 5) × 100 = 1 500 см
Допущения	1. Средняя продолжительность формирования глин = 5 см/1000 лет 2. Турбидиты формируются мгновенно (в геологическом аспекте)
Следствие	1. Общее время формирования 100 циклитов: 500 см глин ÷ 5 см/1000 лет = 100 000 лет 2. 100 000 лет ÷ 100 турбидитов = 1 000 лет между событиями
Выводы	1. Две трети сиквенса было осаждено в результате мгновенных событий, которые происходили в среднем один раз в тысячелетие. 2. За 10 миллионов лет 10 000 произошедших событий могут сформировать толщу мощностью 1 500 м

Приведенные сведения подтверждают представления, изложенные в теме III.9 «Скорость осадконакопления», и позволяют установить время реализации основных геологических событий, решая тем самым «обратную» задачу геологических реконструкций (табл. III.10.2; рис. III.10.4).

Таблица III.10.2

Временна́я шкала некоторых геологических событий
(R. H. Dott, 1983; с дополнениями)

Время	События
Секунды	Пляжевая слоистость
Минуты	Бугорчатая (штормовая) косослоистость
Часы	Турбидитовый конус выноса
Недели	Выравнивание поверхности (scablands)
1 год	Сезонные слои (варвы)
10^3 лет	1 см пелагической седиментации
10^7 лет	Большой терригенный комплекс – клин (clastic wedge)
10^8 лет	Трансгрессивно-регрессивные сиквенсы

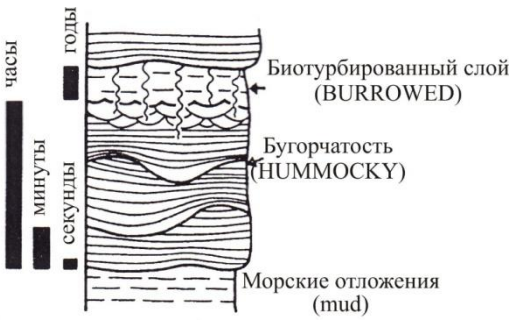


Рис. III.10.4. Длительность формирования основных типов пород приберегового мелководья (приливно-отливная зона) и штормового мелководья (R. H. Dott, 1983; с изменениями)

III.10.2. Перерывы стратиграфические (гиатусы) и седиментологические (диастемы)

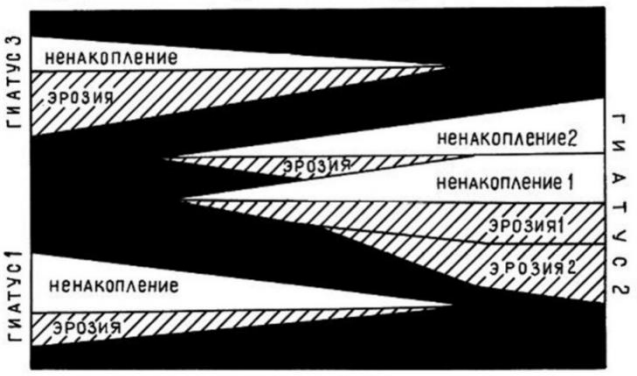


Рис. III.10.5. Принципиальная схема образования гиатусов (Д. П. Найдин, 2001):

ненакопление – синседиментационная составляющая, образующаяся в результате устранения *осадка* из процесса осадконакопления; *эрозия* – постседиментационная составляющая, формирующаяся в результате удаления отложений при их разрушении (размыве)

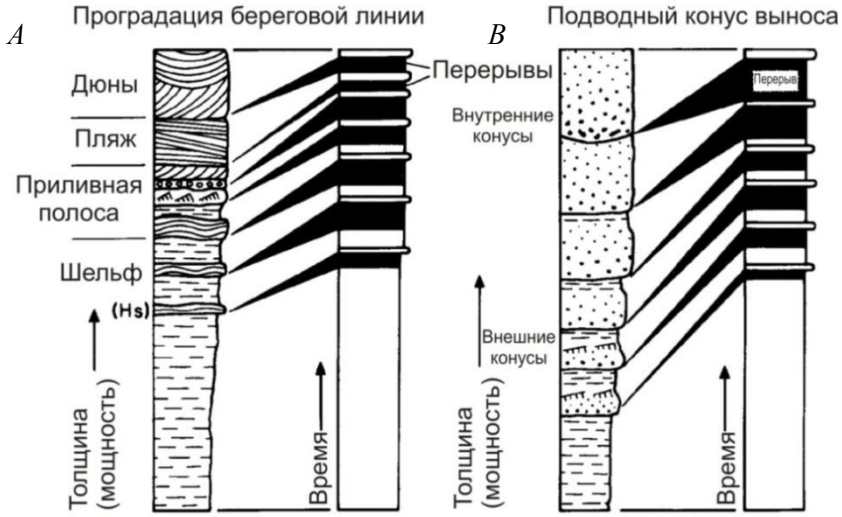


Рис. III.10.6. Две фациальные модели, подчеркивающие различия перерывов для различных типов чередования слоев. В верхней части разреза перерывы занимают больше времени, чем собственно осадконакопление (H_S – бугорчатая слоистость) (R. H. Dott, 1983; с изменениями)

«Термином "несоответствие" (disconformity) обозначают определенные более значительные перерывы, существенно обязанные своим происхождением диастрофизму, выражающемуся в поднятии суши и опускании уровня океана. Четкое выделение двух классов перерывов, вызванных значительными климатическими изменениями, служит достаточным основанием для установления нового термина. Удобным названием является термин *диастема* (*diastem*) – слово, обозначающее перерыв в пространстве или во времени. Раньше оно употреблялось в музыке и означало интервал. Латинское слово *diastema* теперь употребляется в зоологии со специальным значением полости или промежутка между зубами в челюсти.

Несоответствие, или дисконформное залегание, соответствует периоду времени, когда отложение некоторой формации произошло в каком-либо другом районе. Диастема – это перерыв, когда в других районах, часто внутри той же самой формации, произошло отложение какого-либо пласта или свиты пластов. Хотя каждый из классов и характеризуется своими специфическими особенностями, однако они способны постепенно переходить один в другой. Отнесение перерыва к той или другой категории должно быть основано не на каких-нибудь условно допускаемых признаках, а на проверенных полевых доказательствах. Поэтому различие должно устанавливаться: для несоответствий – по значительности различий встречающейся флоры и фауны, для диастем – по перерывам в непрерывности отложений на меньших площадях, более частых и отличающихся большим постоянством фауны и флоры» (J. Barrell, 1917; цит. по Р. Шрок, 1950, с. 54-55; с большими сокращениями).

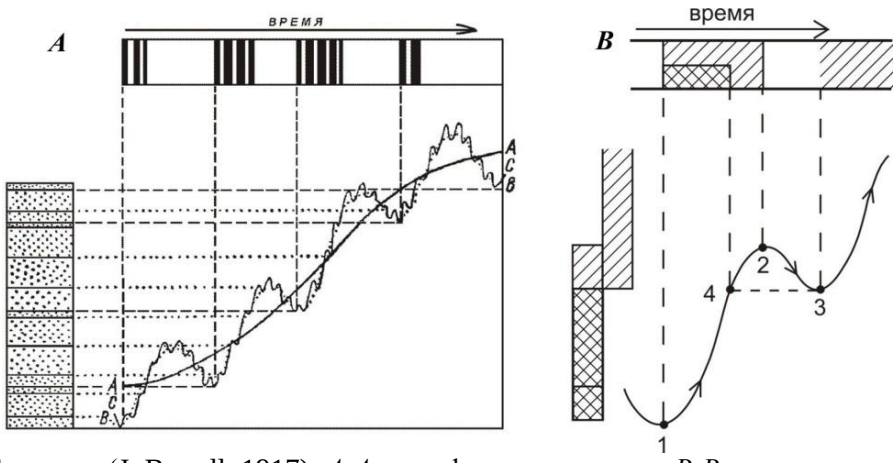


Рис. III.10.7. Схема, показывающая отражение в осадочном разрезе гармонических колебаний уровня накопления (аградации) для колонок слева и относительную продолжительность времени отложения и перерывов (вверху):

A – диаграмма Дж. Баррелла (J. Barrell, 1917): *A*-*A* – профиль равновесия; *B*-*B* – осцилляционная кривая, отражающая колебательные движения (эвстатические колебания и т. п.); *C*-*C* – мелкая ритмичность, в т. ч. климатической природы;

B – дополнения, иллюстрирующие соотношение сохранившихся осадков и соответствующих промежутков времени, показанные на гипотетической кривой. Осадконакопление, начавшееся в точке 1, продолжается до точки 2. Соответствующие осадки – косая штриховка в колонке (слева) и на шкале времени (вверху). Прекращение осадконакопления (обычно подъем территории) приводит к перемыву (эрозии) сформировавшихся осадков (отрезок кривой 2-3). Это находит выражение в прямом сокращении их толщины (на разрезе остаются только те, что показаны двойной штриховкой: отрезок кривой 1-4) и соответственном уменьшении времени (та же двойная штриховка на верхней шкале)

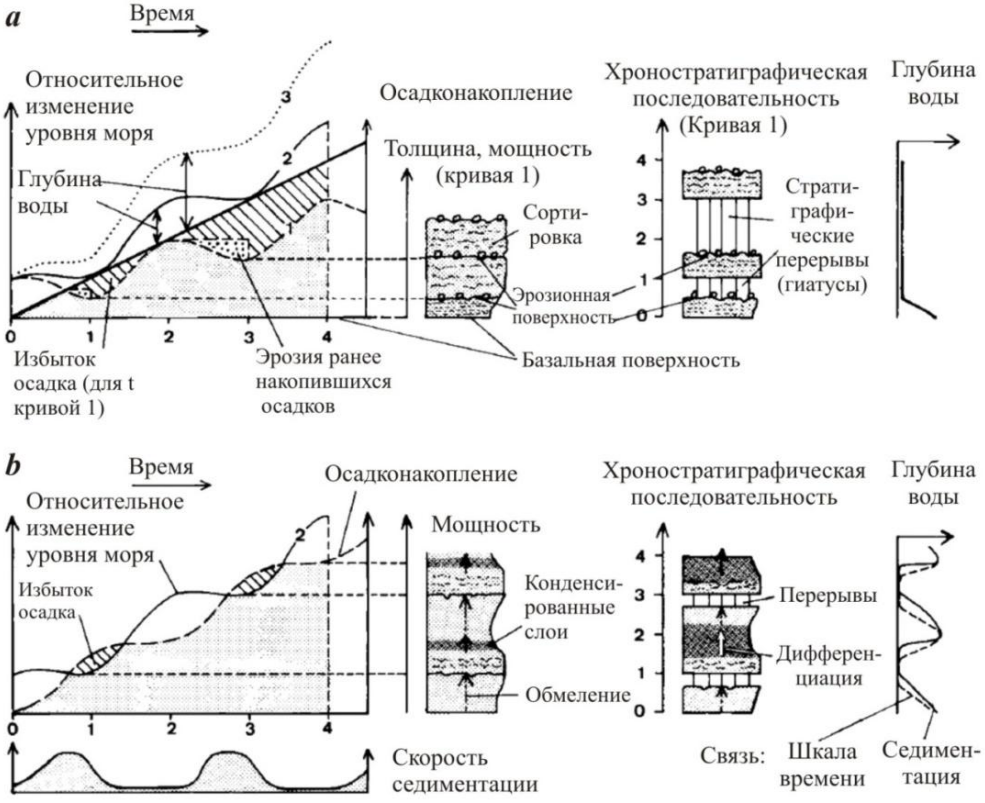


Рис. III.10.8. Отношения между относительным изменением уровня моря и осадконакоплением в течение времени (G. Einsele, 1992, p. 291; с изменениями]: ***a*** – постоянное поступление осадка, соответствующее кривой 1; ***b*** – меняющееся поступление осадка с формированием последовательностей, соответствующих изменению уровня моря по кривой 2

III.10.3. Конденсированные разрезы и раннедиагенетические перерывы

Отдельного и особого внимания при изучении перерывов заслуживают **конденсированные разрезы** (КР), которые по сути представляют сумму спрессованных во времени перерывов. Термин «стратиграфическая конденсация» впервые предложен А. Хеймом в 1934 г. и в довольно узком, именно стратиграфическом смысле сформулирован Дж. Вендтом (J. Wendt, 1970) следующим образом: «…конденсированный слой – это маломощный пласт осадочной породы, в котором элементы разновозрастной фауны находятся вместе и неотделимы один от другого» (Циклическая…, 1985, с. 277).

Классическим выражением конденсированного разреза является легко распознаваемая в разрезе Западно-Сибирского осадочного мегабассейна (по глаукониту, обилию белемнитов, специфической текстуре и пр.) георгиевская свита. Она на огромной площади имеет толщину около 2-10 м и в целом примерно соответствует кимериджскому ярусу, то есть имеет длительность формирования около 5 млн лет (Решение…, 2004). Таким образом, скорость закрепления отложений в разрезе составляла приблизительно 1 Б, что является сверхмалым показателем (ultracondensation) (Е. Ю. Барабошкин, 2009 и др.).

В последнее время широкое развитие получило изучение **син-** и **раннедиагенетических перерывов**. Оно особенно эффективно при исследовании карбонатных и терригенно-карбонатных отложений и связывается с определением **типов дна** (рис. III.10.9 – III.10.11; см. рис. I.2.16).

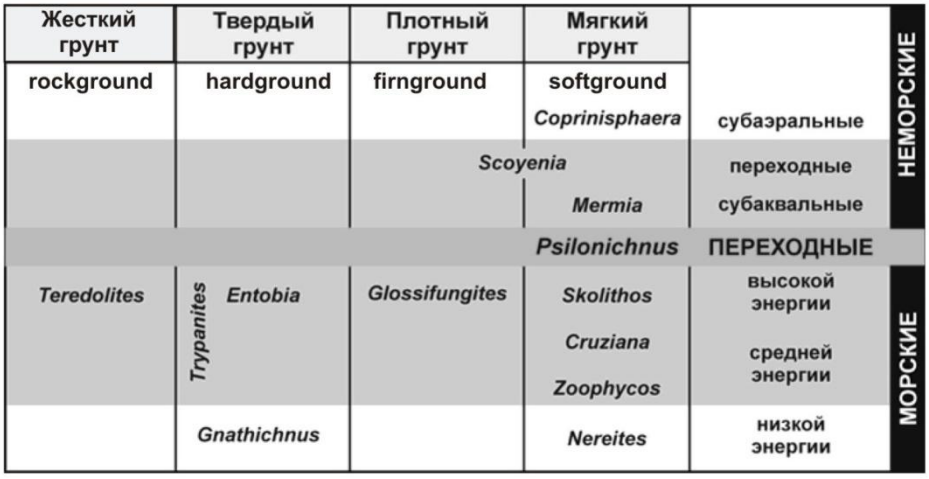


Рис. III.10.9. Распределение основных ихнофаций в зависимости от характера грунта, положения относительно уровня моря и гидродинамической энергии среды (Р. Микулаш, А. Дронов, 2006, с. 46)

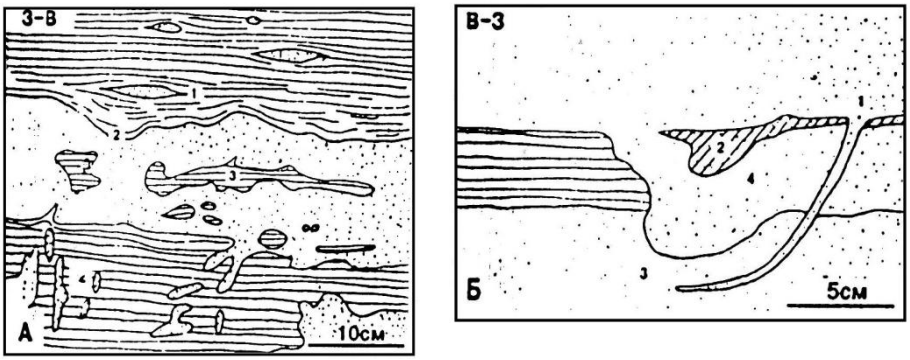


Рис. III.10.10. Поверхности мягкого дна в глауконит-кварцевых песках нижнего альба разреза р. Еза (Владимирская область) (Изучение …, 2002):

А – контрастно выраженные МД на границе песков и глин:

1 – поперечный срез деформированных (расплющенных) нор, выполненных песками; *2* – эрозионная поверхность; *3* – слабодеформированные ходы, выполненные глинами; *4* – продольный и поперечный срезы вертикальных ходов *Scolithos*?, выполненных песками; *Б* – МД в однородных песках (*3, 4*): угадывающееся по небольшому ходу (*1*), пересекающему реликт ожелезненного глинистого прослоя (косая штриховка, *2*), сохранившийся после биотурбации

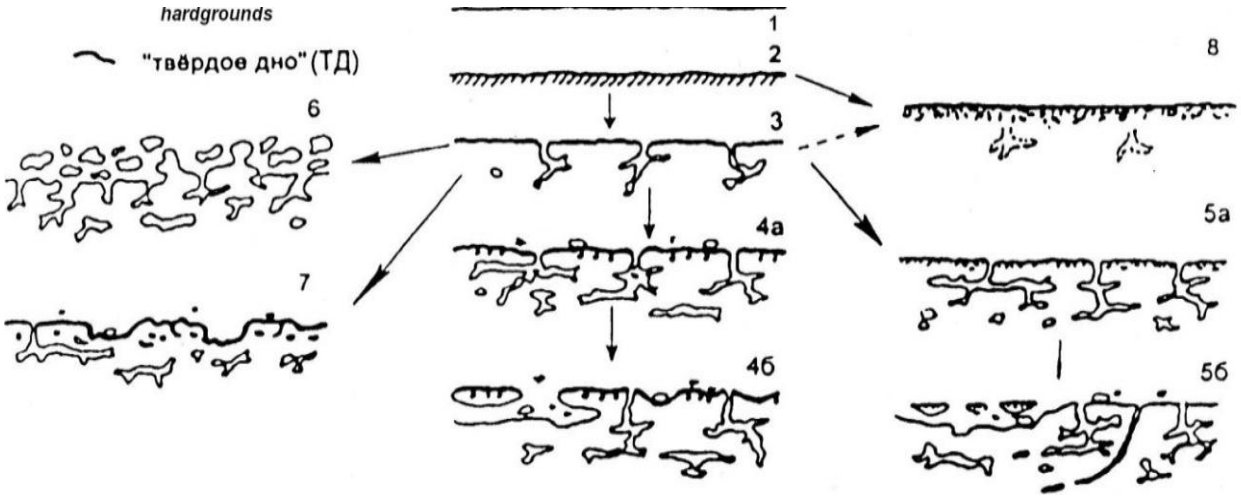


Рис. III.10.11. Стадии развития «твердого дна» (Д. П. Найдин, 1987):

1 – поверхность ненакопления; *2* – начальная стадия развития ТД, незначительная литификация, часто с ожелезнением (на последующих рисунках не показано); *3* – появление нор талассиноидных раков (Г); *4а* – дальнейшая литификация ТД и развитие нор, появление сверлений камнеточцев на поверхности ТД; в осадках над поверхностью ТД – редкие окатанные иссверленные и несколько фосфатизированные обломки нижележащих пород и фосфориты; *4б* – частичный размыв ТД (показан слева); *5а* – дальнейшая литификация ТД и развитие нор; камнеточцы в кровле ТД, *5б* – частичный размыв ТД (левая половина рисунка); норы неизвестных организмов; *6* – предполагаемый размыв ТД с образованием псевдобрекчии; *7* – развитие неровной поверхности ТД с ее частичной фосфатизацией; мелкие норы, либо Т, либо неизвестных организмов; в покрывающих осадках – фосфориты и слабоокатанные и иссверленные обломки нижележащих пород; *8* – кровля ТД на глубину 5–7 см пронизана ходами мелких организмов (червей?)

Таблица III.10.3

Группа синседиментационных и раннедиагенетических перерывов
(Е. Ю. Барабошкин, 2009)

<table>
<tr><th colspan="2">Перерывы</th><th colspan="2" rowspan="3">Основной процесс</th><th colspan="3">Тип осадконакопления</th></tr>
<tr><th rowspan="2">Тип</th><th rowspan="2">Вид</th><th colspan="2">карбонатный</th><th>терригенный</th></tr>
<tr><th>мелководный</th><th>глубоководный</th><th>мелководный</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Ненакопления</td><td>Ненакопления</td><td rowspan="2">Ненакопление (s. s.)</td><td>Длительное</td><td colspan="3" rowspan="2">Отсутствие осадка</td></tr>
<tr><td>Диастемы</td><td>Кратковременное</td></tr>
<tr><td>Эрозионный</td><td>Эрозионный</td><td>Эрозия осадка</td><td>Полная</td><td colspan="3">Эрозионные поверхности</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Субаквальный</td><td rowspan="2">Элювиально-диагенетический (твердое дно (ТД), конкреции, узловатый мел)</td><td rowspan="2">Неполная</td><td colspan="3">Конгломераты (остаточные отложения), интракласты</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Комплекс синседиментационных и раннедиагенетических факторов</td><td>Бичрок, ТД, узловатый мел</td><td rowspan="2">Железомарганцевые корки и конкреции</td><td>Фосфоритовые корки</td></tr>
<tr><td>Фосфоритовые и карбонатные плиты</td><td>Фосфоритовые, сидеритовые и др.плиты</td></tr>
<tr><td>Мягкое дно</td><td colspan="2">Биоэлювий</td><td>Мягкое дно</td><td>Мягкое дно (редко)</td><td>Мягкое дно</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Гальмиролититы</td><td colspan="2">Хемоэлювий</td><td>Глауконит</td><td>Бентониты</td><td>Глауконит</td></tr>
<tr><td colspan="2">Перемещение КГК</td><td rowspan="2">Глинистые прослои</td><td rowspan="2">Красные океанические глины</td><td rowspan="2">–</td></tr>
<tr><td colspan="2">Похолодание / снижение биопродукции</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Субаэральный</td><td>Экспозиции</td><td rowspan="2" colspan="2">Разные синседиментационные и раннедиагенетические</td><td colspan="3" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Почвы (палеопочвы)</td></tr>
</table>

III.10.4. Классификация перерывов и «формации-фантомы»

Таблица III.10.4

Внутри- и межслоевые перерывы и их основные диагностические признаки

Порядок (уровень) скрытого перерыва – пробела (П)		Критерии распознавания в слоистых толщах	Кодированная запись	Причины возникновения	Режим седиментогенеза (С. И. Романовский, 1985, 1988)	Механизм реализации
Первый ($П^{I}$)	Диастемальный внутрислоевой (d_1)	Поверхности наслоения ясные, ровные, обычно соответствуют серийным швам. Внутри слоя *а* (см. рис. I.2.15)	d_1 d_1 d_1 } *а*	Прерывистый характер поступления материала; короткопериодические изменения погодно-климатических условий	Гранулоседиментогенез	Сальтационность s.str.: перемещение песчаных частиц и формируемых ими слойков, серий слойков
	Диастемальный межслоевой (d_2)	Поверхности напластования обычно четкие, отделяющие один породный слой (*а*) от другого (*б*)	*а* – d_2 – б – d_2 …	Практически те же, но имеющие большую длительность и более четкий характер в морфологии наслоения	Стратоседиментогенез	Режим прерывистого равновесия (балансирование на грани «кромки хаоса»)
Второй ($П^{II}$) «ритмитовый»		Поверхности контактов обычно резкие, прямые, иногда извилистые. Между простыми породнослоевыми ассоциациями (*аб* или *абв*)	*аб* –$П^{II}$ – *абв* – $П^{II}$ – …	Изменения климата и тектонические пульсации	Циклоседиментогенез	Гиатусы, несогласия; часто – эрозионные срезы и врезы
Третий ($П^{III}$) «циклитовый»		Контакты чаще резкие, неровные; в том числе с размывом комплексов подстилающих слоев – литоциклов (ЛЦ)	ЛЦ – $П^{III}$ – ЛЦ – $П^{III}$ – …	Колебательные тектонические движения субстрата бассейна осадконакопления		

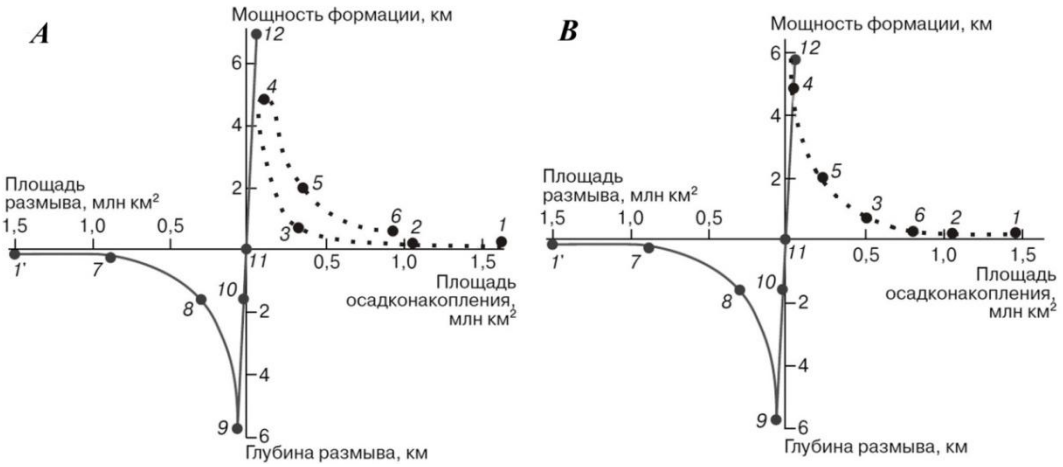


Рис. III.10.12. Схема соотношения пространства-времени формаций породных и «формаций-фантомов» (фр. fantome – призрак): ***А*** – по (П. В. Флоренский, 1987), с небольшими изменениями; ***В*** – та же схема, с уточнениями Е. Ю. Барабошкина (Е. Ю. Барабошкин, 2001). По оси пространства (абсцисс) приведены площади размыва / осадконакопления, а по оси времени (ординат) – соответственно глубины размыва / толщины накопившихся осадков. В правом верхнем квадрате, соответственно, показаны наблюдаемые породные формации, а в левом нижнем – формации-фантомы. Точечными линиями показаны формации породные: *1* – океанических платформ, *2* - океанического склона, *3* – континентального склона, *4* – впадин платформ и геосинклиналей, *5* – предгорных прогибов, *6* – континентальных платформ; сплошными линиями показаны формации-фантомы: *1′* – океанических платформ, *7* – равнинных континентальных платформ, *8* – всхолмленных равнин континентальных платформ, *9* – воздымающихся гор, *10* – зон сжатия, *11* – зон сжатия, компенсируемых эрозией, *12* – зон сжатия надвигов и формирования олистостромовых формаций

III.11. УПЛОТНЕНИЕ ПОРОД

Вопросы, связанные с погружением накопившихся осадков на глубину, рассматривались в темах I.7 «Стадиальный анализ» и I.11 «Фильтрационно-емкостные свойства», а также в разделе III.2.1, применительно к процессу изостазии. Теперь остановимся на них более детально.

III.11.1. Процесс и результаты уплотнения пород

В продолжение рис. I.11.7, на рис. III.11.1 приводится более детальная характеристика зависимости главного показателя уплотнения породы – ее пористости, от глубины погружения.

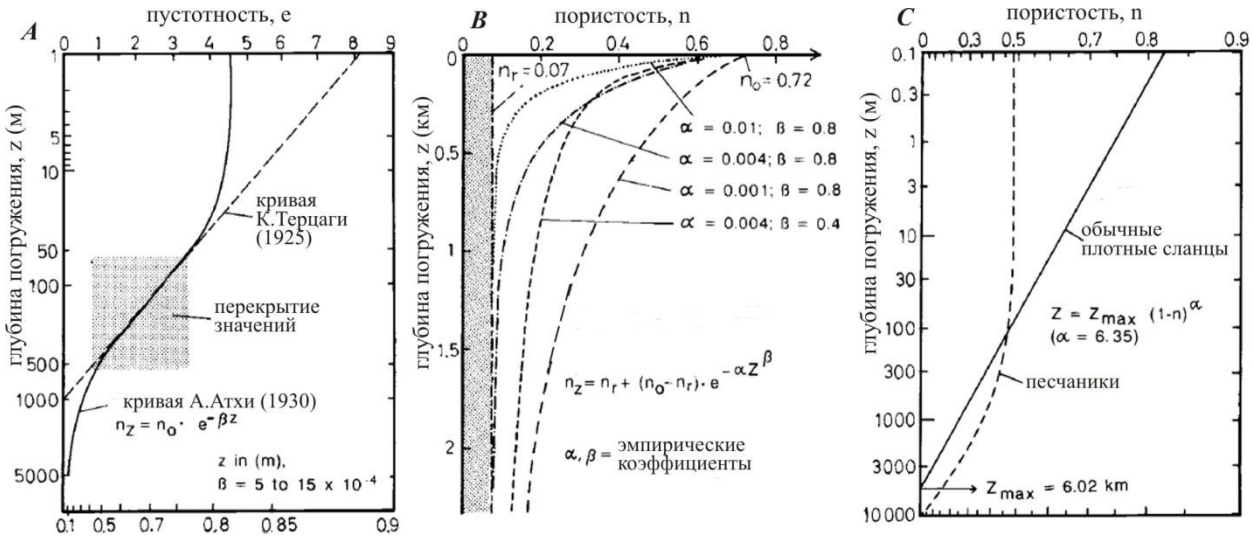


Рис. III.11.1. Изменения пористости с погружением осадков на глубину (G. Einsele, 1992, p. 517; с изменениями):

A – сравнение сводных кривых разного типа: для механики грунтов (тип К. Терцаги) и осадочных бассейнов (тип Л. Атхи), с перекрытием их значений для интервала глубин 50-500 м;

B – разные графики зависимости в интервале между фиксированными значениями n_0 и n_r. Форма кривых контролируется эмпирически установленными коэффициентами α и β, зависящими от глубины z;

C – сводная кривая зависимости пористости от глубины в двойном логарифмическом масштабе, проецирующая минимальную пористость сланцев на глубине около 6 км

Исходя из этих линейных зависимостей, можно реконструировать первичные толщины накапливавшихся слоев, что показано на рис. III.11.2.

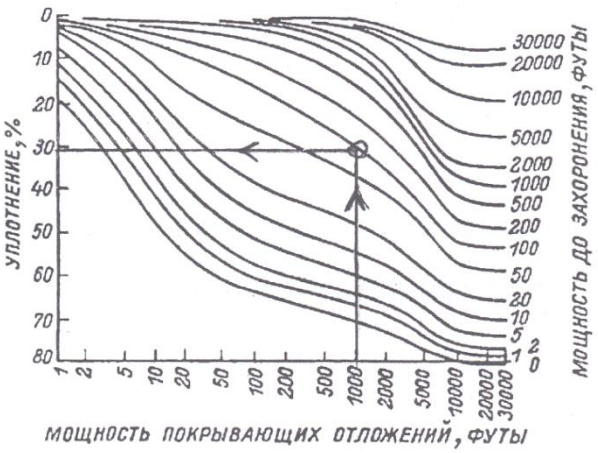


Рис. III.11.2. Номограмма для определения уплотнения глин в зависимости от толщины перекрывающих отложений (Дж. Уэллер, 1961):

исходные данные: пласт толщиной 100 футов (30,5 м) перекрыт толщей в 100 футов. Двигаясь по стрелкам, определяем величину его сокращения при погружении на 31 %

Однако в конкретных ситуациях линейные зависимости в изменении физических свойств пород в зависимости от глубины их погружения нарушаются, с формированием зон разуплотнения и вторичной пористости (см. рис. I.11.8). Механизм их образования для песчаников проиллюстрирован на рис. III.11.3, а для алевролитов – на рис. III.11.4.

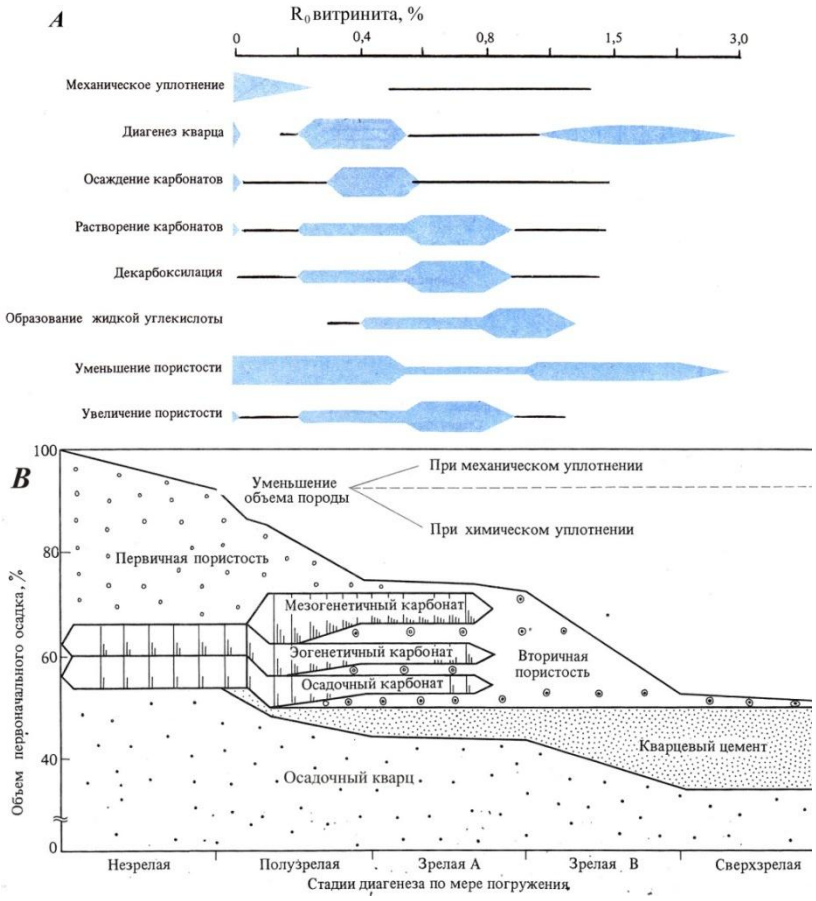


Рис. III.11.3. Формирование вторичной пористости в песчаниках (V. Schmidt, D. A. Mac-Donald, 1979); из (М. Лидер, 1986, с. 348-350):

A – различные механизмы диагенеза, происходящего при погружении песчаников (величина R_0 отражает интенсификацию диагенеза: см. п. I.7.2);

B – диаграмма, показывающая связь между стадиями диагенеза, происходящего при захоронении кварцевого аренита, и вторичной пористостью, создаваемой за счет выщелачивания первичных карбонатов и вторичного карбонатного цемента. (Эогенез – процессы, происходящие в период воздействия на осадок поверхностных и приповерхностных агентов: примерно соответствует диагенезу)

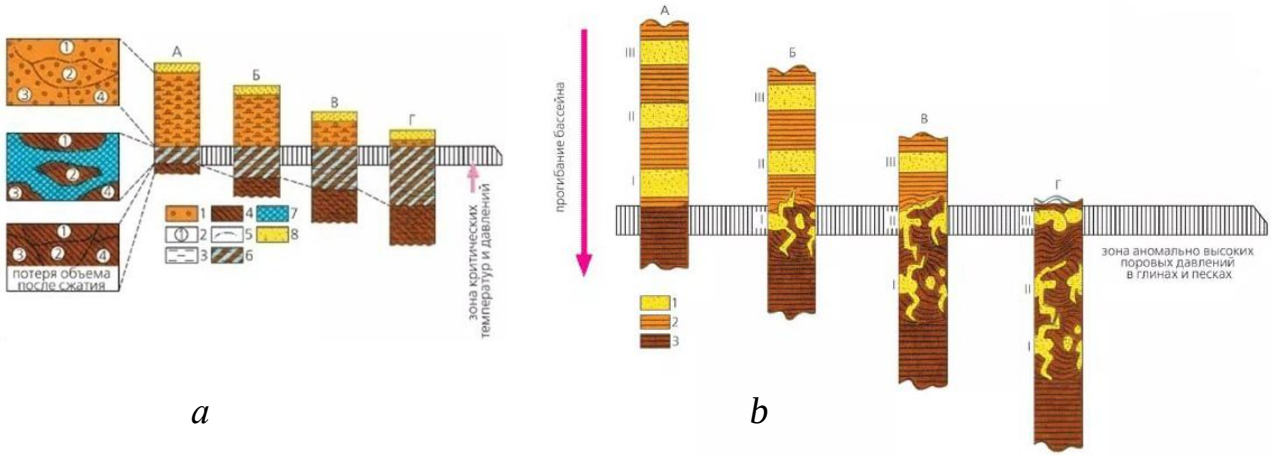


Рис. III.11.4. Модель, иллюстрирующая элизионные (лат. elisio – выжимание, выталкивание) процессы в осадочных толщах (В. Н. Холодов, 2012):

a – схема образования зон разуплотнения и АВПД в глинах: *1* – монтмориллонитовая глина, *2* – гидрослюдистая глина, *3* – кристаллизационная вода в порах зоны разуплотнения, *4* – микроблоки глинистого материала, *5* – границы микроблоков, *6* – песчаник, *7* – глина, *8* – формирующаяся зона разуплотнения и СВПД;

b – схема образования текстур песчаного диапиризма (кластических даек и горизонтов с включениями): *1* – песчаники, *2* – глины: *а* – нормально залегающие, *б* – деформированные; I, II, III – пласты песчаников в глинах. А, Б, В, Г – положение разреза по отношению к зоне гидрослюдизации, разуплотнения и АВПД (АВПД – аномально высокое и СВПД – сверхвысокое пластовое давление)

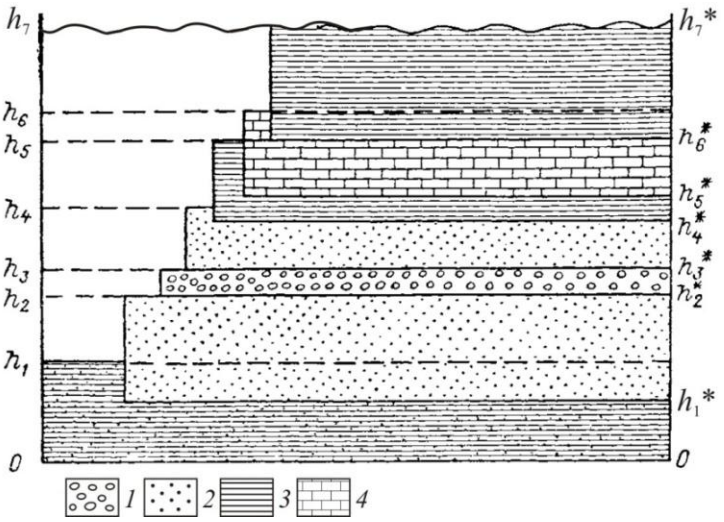
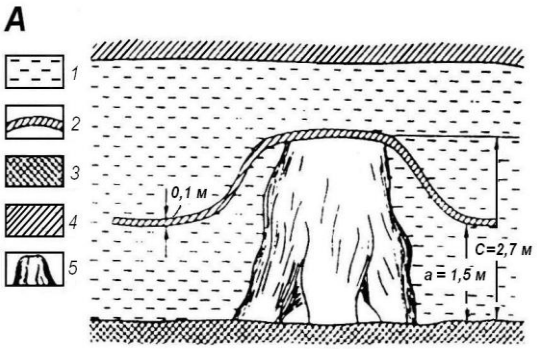


Рис. III.11.5. Уплотнение толщин слоев под действием гравитационного уплотнения в процессе формирования прибрежно-морских отложений (С. И. Романовский, 1977, с. 329; с дополнениями):

1 – галечник, *2* – песок, *3* – ил, *4* – известковый ил

При общем H*=H, сумма первичных толщин Σh в 1.5 раза превышает наблюдаемую Σh*. Коэффициент уплотнения $К=\frac{\Sigma h-\Sigma h^*}{\Sigma h}$ =0.3

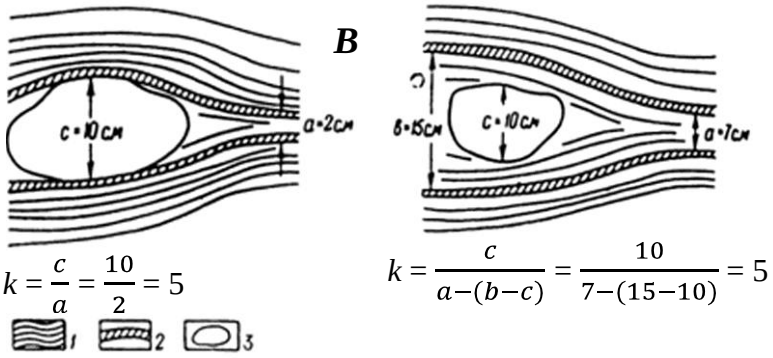


k – степень сокращения мощности пласта; *c* – мощность неуплотненной части разреза пласта между почвой и глинистым прослоем (отвечает высоте пня); *a* – мощность той же части разреза пласта после уплотнения.

1 – бурый уголь; *2* – глинистый прослой; *3* – почва; *4* – кровля; *5* – ископаемый пень

$$k = \frac{c}{a} = \frac{2.7}{1.5} = 1.8$$

k – степень сокращения мощности пласта, *a* – мощность исследуемой части разреза пласта, сложенной углем; *в* – мощность той же (синхронной) части разреза пласта, сложенной углем и включающей конкрецию; *c* – мощность конкреционного тела; *1* – уголь; *2* – маркирующий синхронный слой; *3* – конкреция



$$k = \frac{c}{a} = \frac{10}{2} = 5$$

$$k = \frac{c}{a-(b-c)} = \frac{10}{7-(15-10)} = 5$$

Рис. III.11.6. Прямые измерения различий в усадке пород: *A* – по ископаемым пням; *B* – по конкрециям, по Ф. Глокнеру, О. Штутцеру, Р. Тайхмюллеру, П. В. Зарицкому; из (В. Н. Волков, 1973, с. 20-21)

Таблица III.11.1

Классификация пород по возможной степени уплотнения

(С. И. Романовский, 1977, с. 322)

Коэффициент уплотнения К	Уплотняемость пород	Породы
< 0,1	Практически не уплотняющиеся	Крупно-, грубозернистые песчаники, гравелиты
0,1-0,3	Слабая	Мелкозернистые песчаники
0,3-0,5	Умеренная	Крупно- и среднезернистые алевролиты
0,5-0,7	Сильная	Мелкозернистые алевролиты, аргиллиты
> 0,7	Очень сильная	Углистые аргиллиты, торф

При реконструкциях следует различать накопление отложений в результате «прямого» тектонического погружения с одной стороны, и «продавливания» ложа осадконакопления под весом накапливавшихся осадков, т. е. в результате изостазии – с другой. В глобальном виде это было показано в п. III.2.1, а в принципиальной модели для региональных структур изображено на рис. III.11.7.

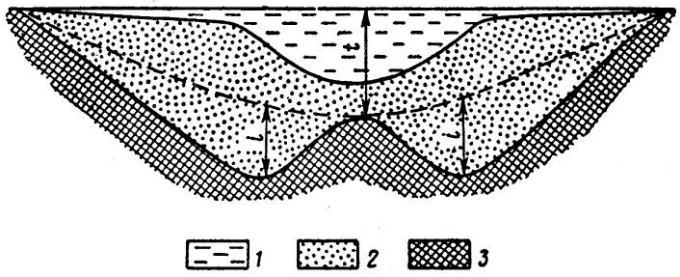


Рис. III.11.7. Принципиальная схема соотношения изостатического и тектонического прогибания в глубоководном бассейне (В. Е. Хаин, 1973, с. 126):

1 – вода; *2* – осадки; *3* – субстрат; *t* – размер тектонического погружения; *l* – размер изостатического погружения

На рис. III.11.8 и III.11.9 в последовательном укрупнении масштабов показаны результаты реконструкции исходных, синседиментационных толщин накапливавшихся контрастных осадков, с учетом их различного уплотнения при постдиагенетических процессах (см. табл. III.11.1).

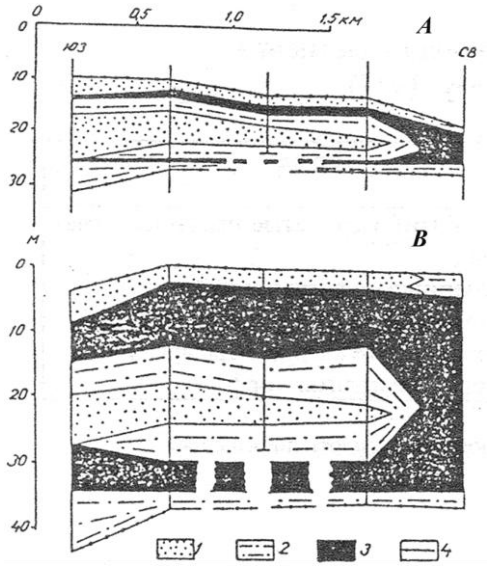


Рис. III.11.8. Реконструкция горизонта, включающего расщепляющийся угольный пласт (марка Ж):

A – наблюдаемый разрез;

B – разрез, построенный с учетом увеличения толщин песчаников в 1.1; алевролитов и аргиллитов – в 2.5 и углей в 5 раз. Получено, что исходная (генетическая) толщина горизонта была постоянной, и расщепление угольного пласта вызвано не тектоническими движениями, а изменениями палеогеографической обстановки

породы: *1* – песчаные, *2* – алевроаргиллитовые, *3* – уголь; *4* – границы горизонта

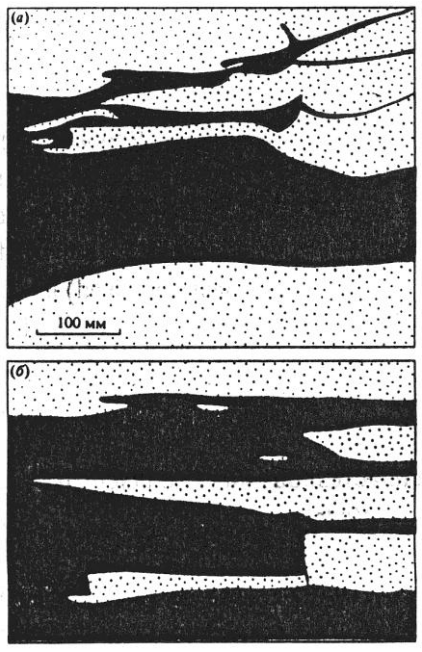


Рис. III.11.9. Воздействие уплотнения на форму слоистости и мощность:

а – современная геометрия; *б* – геометрия до уплотнения (B. Baldwin, 1971), из (М. Лидер, 1986, с. 327)

ОСАДОЧНЫЕ ФОРМАЦИИ И ОСАДОЧНЫЕ БАССЕЙНЫ

III.12. ВЫДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ

III.12.1. Границы и внешние характеристики осадочных формаций

Форма геологического тела определена А. В. Македоновым третьей конститутивной характеристикой геологических тел (А. В. Македонов, 1985; см. преамбулу к п. I.2). Она входит в общую структуру познания объектов, определяемую как *морфология*. Выделение осадочных формаций, как правило, не вызывает затруднений при резкостных границах, что иллюстрирует рис. III.12.1 (см. также рис. III.10.3). Это характерно для групп формаций, обозначенных цифрами от 1 до 4.

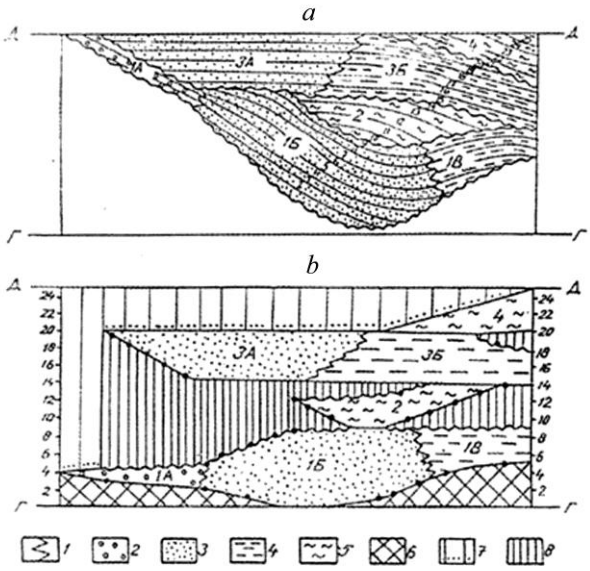


Рис. III.12.1. Геологический разрез (*a*) и хроностратиграфическая схема (*b*) осадочного бассейна:

Д-Д – дневная поверхность, Г-Г – глубина исследований, 1-25 – слои; *1* – замещения комплексов отложений: *2* – грубозернистых потоковых, *3* – песчаных прибереговых, *4* – глинистых морских, *5* – карбонатных морских и прибереговых; *6* – породы фундамента; *7* – современный срез; *8* – перерывы в осадконакоплении

Сложнее выглядит задача выделения формаций при латеральном изменении их состава (буквы *А, Б, В* на рис. III.12.1). Варианты ее решения приведены на рис. III.12.2.

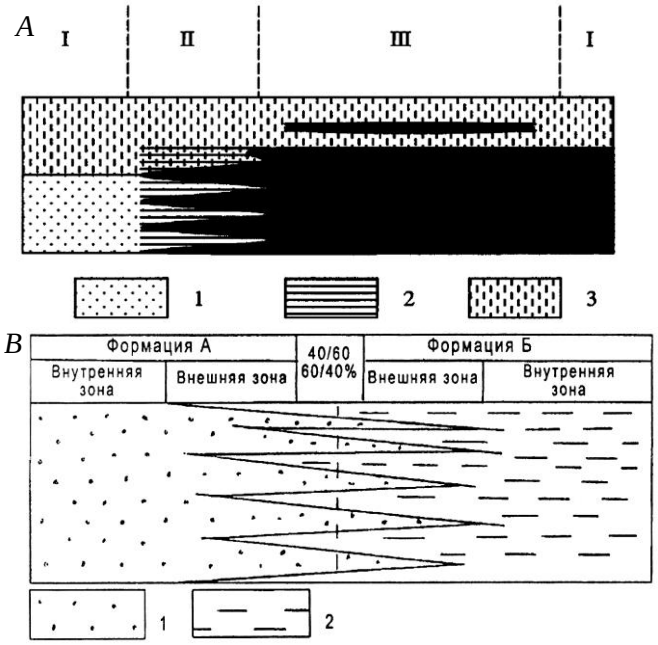


Рис. III.12.2. Выделение формаций:

А – смена парагенераций в латеральном и вертикальном направлениях (В. И. Драгунов и др., 1974): *1-3* – парагенерации различных видов. Зоны расположения разрезов: I – наиболее благоприятные для выделения парагенераций; II – с латеральным замещением парагенераций; III – со сменой парагенераций по вертикали;

В – вариант ограничения тела формации при постепенном переходе в пространстве (В. М. Цейслер, 2012, с. 54):

1 – формация А; *2* – формация Б

Представления о формах геологических тел приведены на рис. III.12.3; III.12.4.

1. Плоское

2. Линзовидно-уплощенное

3. Линзовидно-выпуклое

4. Линзовидно-вогнутое

5. Овальное

6. Треугольное

7. Клиновидное

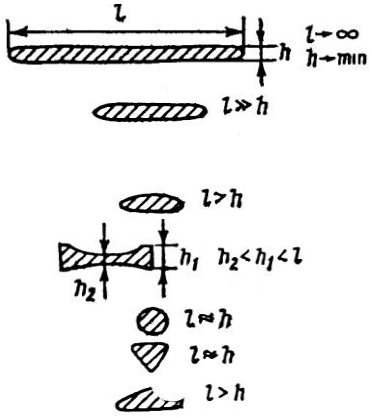
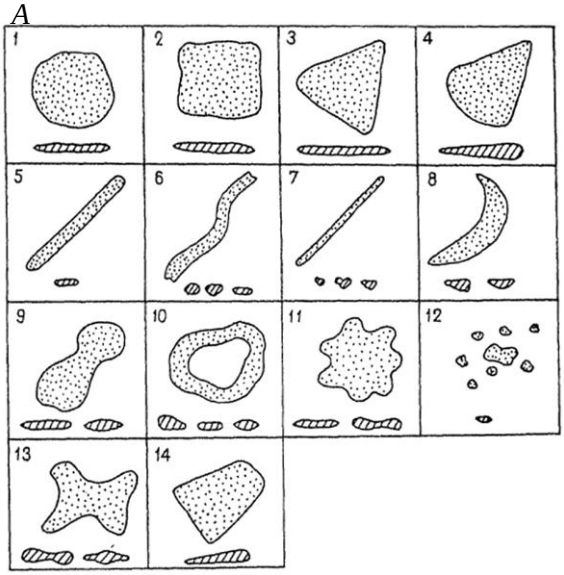


Рис. III.12.3. Типы сечений формационных залежей (В. М. Цейслер, 1979)

A



B

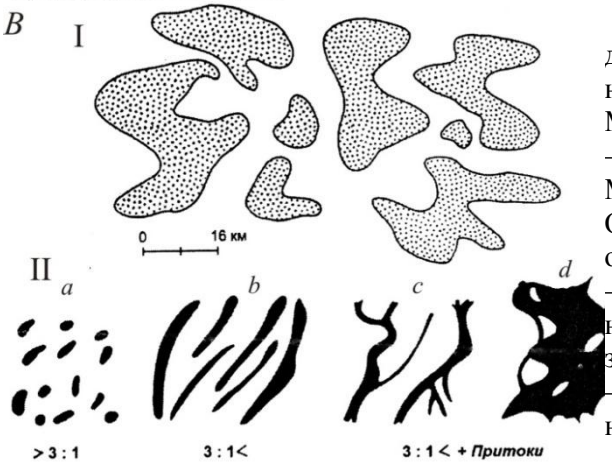


Рис. III.12.4. Осадочные геологические тела в плане:

A – осадочные и осадочно-вулканогенные формации (В. М. Цейслер, 1992, с. 60; 2012, с. 31): 1 – дисковидная, 2 – покрывалообразная, 3 – косынковидная, 4 – веерообразная, 5 – лентовидная, 6 – шнуровидная, 7 – рукавообразная, 8 – серповидная, 9 – четковидная, 10 – баранкообразная, 11 – амебовидная, 12 – кляксовидная, 13 – седловидная, 14 – клиновидная;

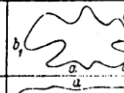
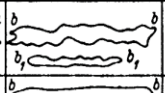
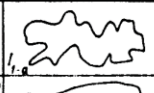
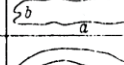
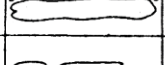
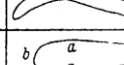
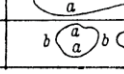
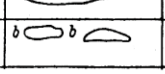
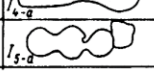
B – формы песчаных тел (Ф. Петтиджон и др., 1976, с. 399):

I – пласты или покровы; II – удлиненные: *a* – линзовидные, *b* – лентовидные, *c* – дендроидные, *d* – пояса;

C – фрагмент классификации морфогенетических типов осадочных тел (А. В. Македонов, 1985, с. 102-103):

a–a, a_1–a_1 – короткий диаметр и b–b b_1–b_1 – длинный диаметр геологического тела; д/ш – отношение длины к ширине; фации: М – морские, МПМ – малоподвижное морское мелководье, ПМ – подвижное мелководье, МПл – морской пляж, МО – морской опресненный бассейн, О – озеро, ОПМ – озерное подвижное мелководье, ОПл – озерный пляж, ОЦ – озеро, центральная часть, ОЛ – лагуна-озеро, Л – лагуна, ЛЦ – лагуна, центральная часть, ЛПл – лагунный пляж, Пл – пляж, ЗЛ – зарастающая лагуна, ЗВ – зарастающий водоем, Т – торфяники, ЭД – эоловые дюны, ЭП – элювиально-почвенные

C

	Тип геологического тела и его индекс	В плане	Поперечный профиль	Продольный профиль	Комбинации однотипных форм (в плане)	Фации
I. Покровные (плитообразные)	I Неправильные I_1 д/ш – неопределенное					М, О, ЗД, ЭП, Т, ОЦ, ЛЦ
	I Полосовидные I_2 д/ш > 3					М, МПМ, ПМ, О, ОП, ОПМ, ЗВ, Т, Пл
	I_3 Изогнуто-лентовидные					ОПл, ЛПл, реже МПл
	I_4 Субовальные д/ш 1,2–3					М, О, ОЦ, Л, ЛЦ, ЗЛ, ОЛ, ЗВ, Т
	I_5 Изометрические (субокруглые) д/ш 1–1,2					О, ОЦ, ЛЦ, реже МО, ЗВ, Т

III.12.2. Классификации и распространение осадочных формаций

Известно большое количество классификаций осадочных формаций. В табл. III.12.1 показаны две из них, иллюстрирующие существенные различия даже для, казалось бы, весьма изученных объектов; в табл. III.12.2 – подробная классификация на генетической основе.

Таблица III.12.1

Сравнение классификаций осадочных формаций, основанных на составе слагающих их пород

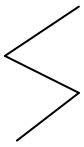
В. М. Цейслер (2002)		Различия в принципах выделения	Осадочные формации (1984)
класс	отряд (подкласс)		группа
Алюмосиликатные	Грубообломочные (псефитовые) Мелкообломочные (песчаниковые и песчаниково-алевритовые) Глинистые Смешанные песчаниково-глинистые		Сероцветные терригенные гумидных областей Красноцветные (пестроцветные) аридных областей
Карбонатные	Известняковые Доломитовые Смешанные		Карбонатные
Сульфатно-хлоридные			Галогенные
Силицитовые			Кремнистые
Смешанные			Углеродистые

Таблица III.12.2

Систематика геологических формаций (В. Т. Фролов, 1995, с. 315-317)

Класс (ряд)	Род (группа)	Вид (тип)	Подвид (подтип)	Обстановка
1	2	3	4	5
А. КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ				
I. Элювиальные	Гумидная Аридная	Латеритная Панцирная		Равнины, плато, горы низкие
II. Механогенные	Коллювиальные	Ледниково-аллювиально-коллювиальные	Гумидный, аридный, вулканический	Горы, вулканические пояса
	Флювиальные	Молассы сероцветные красноцветные Озерно-аллювиальные	Угленосные Соленосные Угленосные	Подножие горное Равнины
	Эолово-озерные	Озерные гумидные Эоловые	Угленосные, сапропеленосные Соленосные	Крупные озера Пустыни
	Ледниковые	Покровного оледенения		Равнины, плоскогорья
	Побережные	Шлировые серо- и красноцветные	Угленосные, соленосные, нефтегазоносные	Активные питание и прогибание
	Неритовые	Терригенные гумидные, аридные, ледовые	Фосфоритоносные Россыпеносные Нефтегазоносные	Пассивные питание и прогнбание
	Батиальные	Флишевые терригенные, известняковые и др.		Активные питание и прогибание
III. Хемогенные	Аридные	Эвапоритовые Карбонатные		Моря внутриматериковые
IV. Биогенные	Болотно-озерные	Угольные		Равнины
	Морские	Меловые Диатомито-трепельно-опоковые Рифовая береговая		Моря материковые, окраинные и островных цепей

Окончание табл. III.12.2

Класс (ряд)	Род (группа)	Вид (тип)	Подвид (подтип)	Обстановка
		Рифовая шельфовая		
V. Атмогенная	Ледовая			Материки, острова приполярные
VI. Вулканоосадочные	Наземные платформенные	Базальтовые (трапповые) Щелочных базальтоидов Кимберлитовые	Угленосные Алмазоносные	Равнины, плато, водоемы
	Орогенные	Толеитово-базальтовые Базальт-риолитовые Базальт-андезит-дацит-риолитовые Щелочных базальтоидов Риолитовые, игнимбритовые		Плато, горы То же
	Морские геосинклинальные	Толеитово-базальтовые Базальт-дацитовые Базальт-риолитовые Андезитобазальтовые Базальт-андезит-дацит-риолитовые	Меденосные	Моря котловинные То же
Б. ОКЕАНСКИЕ				
I. Вулканоосадочные	Существенно эффузивные	Толеито-базальтовые Субщелочных базальтов Базанитов	Известковые Кремневые	Рифты, хребты, вулканические цепи
II. Биогенные	Карбонатные Кремневые	Планктоногенные Рифовые атолловые Радиоляриевые, диатомитовые тропические и холодных вод	Нефтегазоносные	Хребты, горы. плато, дно котловин Котловины
III. Механогенные	Гравитационно-турбидитные Нефелоидные Припайно-айсберговые	Флишевые Глинистые (аспидные) Айсберговые Припайные	Нефтегазоносные	Подножия глубоководные Приантарктика Арктика
IV. Элювиальные	Наземные	Латеритная	Железорудные бокситовые	Острова тропиков
	Подводные	Биотурбитовая меловая Пелагическая красная глина	С железо-марганцевыми конкрециями	Дно выше и ниже критической глубины

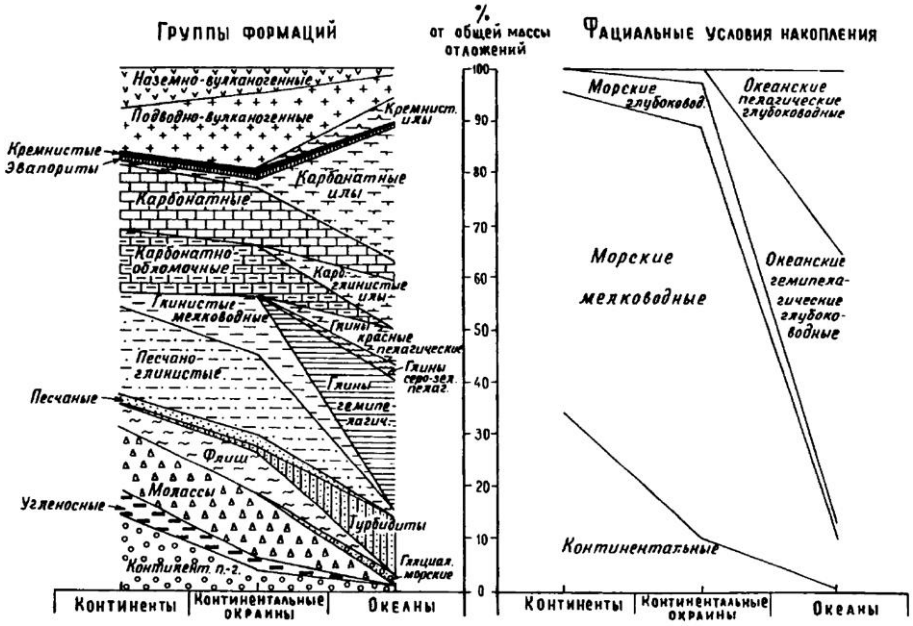


Рис. III.12.5. Средняя распространенность важнейших типов формаций верхнего мезозоя и кайнозоя и фациальных условий их накопления в пределах континентов, их окраин и океанов (А. Б. Ронов, 1993, с. 43)

III.12.3. Осадочные формации и полезные ископаемые

Из сведений, приведенных в табл. III.12.2, отчетливо следует связь многих полезных ископаемых с определенными типами осадочных формаций. В целом это полностью соответствует целевому, или минерагеническому подходу (см. табл. III.1.1). Детальное изображение таких взглядов приведено на рис. III.12.6, III.12.7.

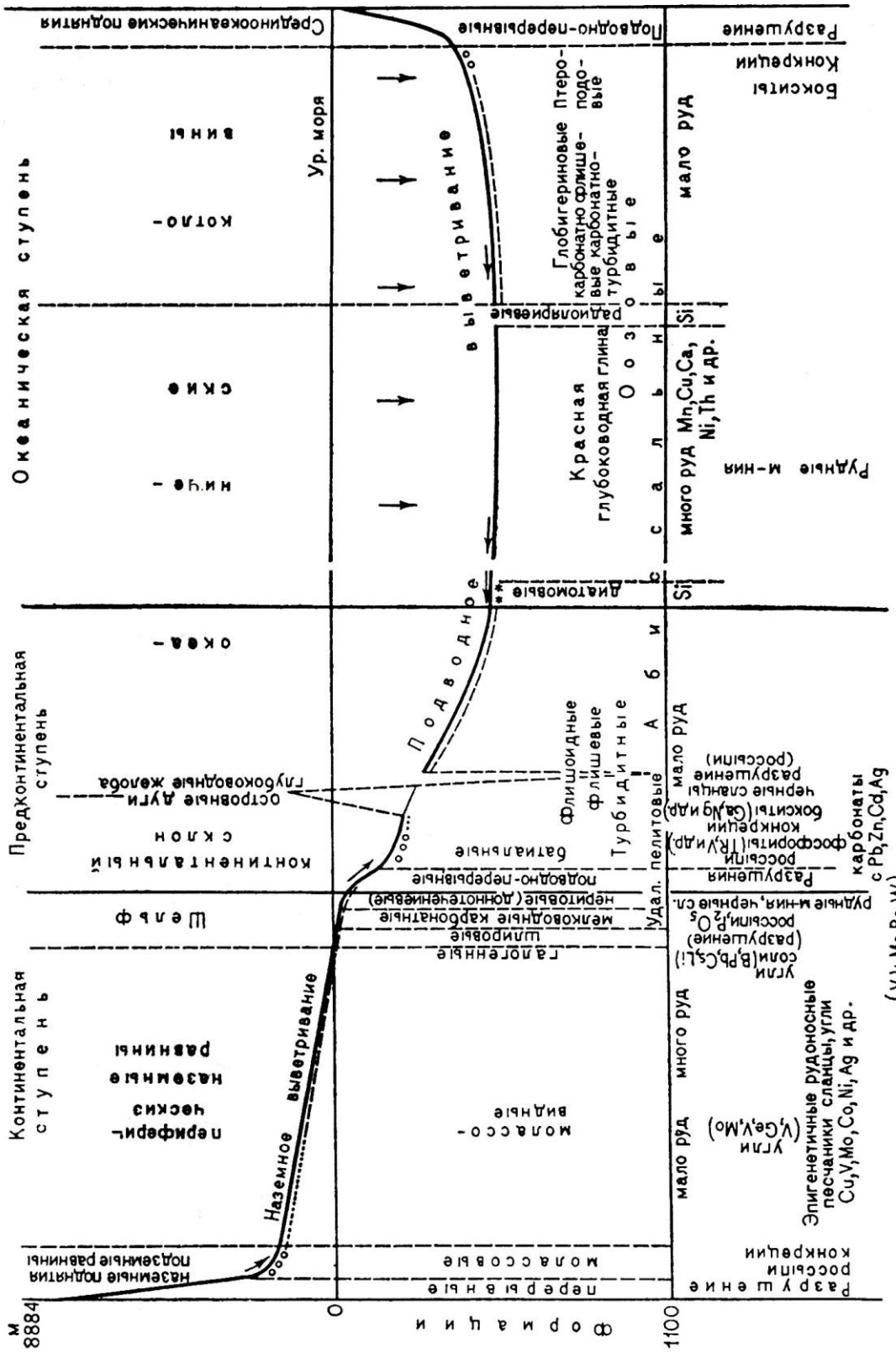


Рис. III.12.6. Главные ступени рельефа поверхности Земли и некоторые связанные с ними осадочные формации и полезные ископаемые (В. И. Попов, В. Ю. Запрометов, 1985, с. 210-211)

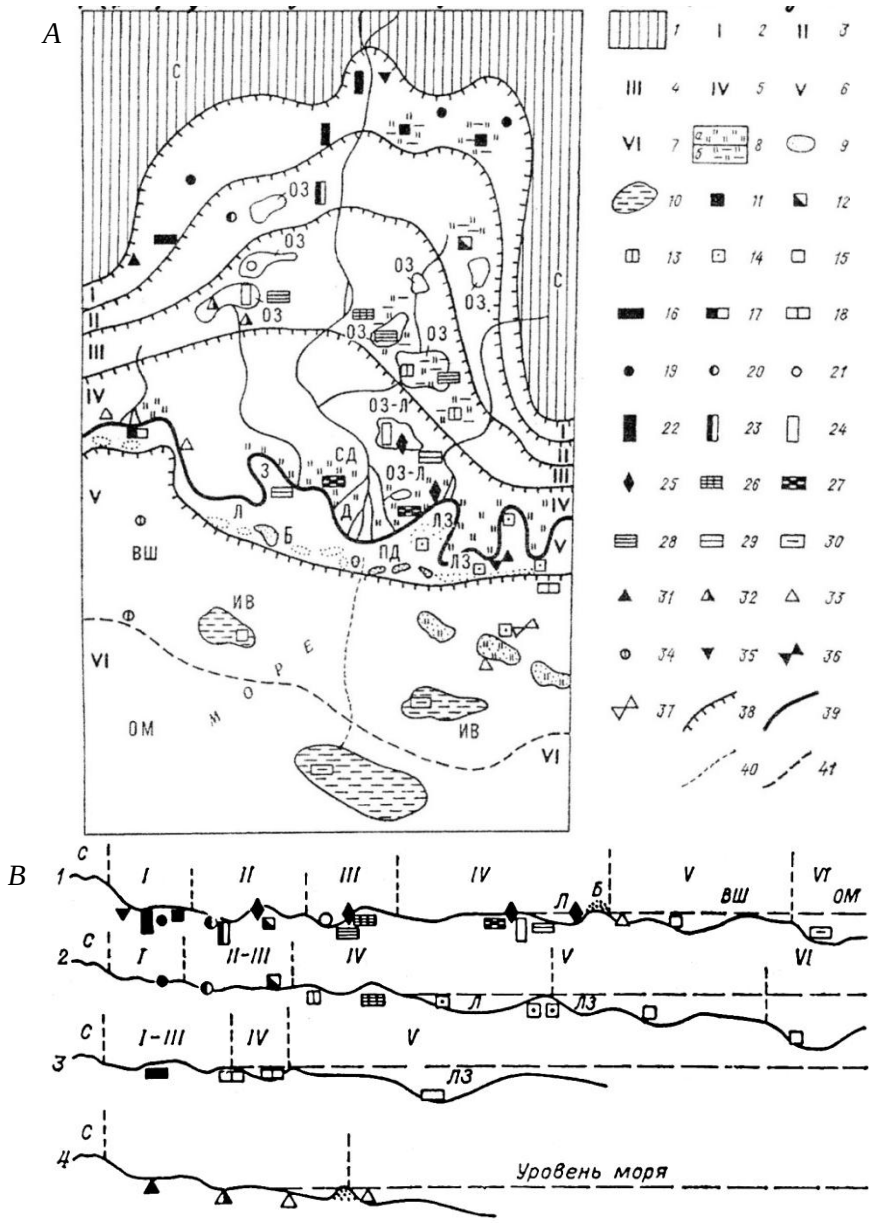


Рис. III.12.7. Зональное размещение типов формаций и полезных ископаемых (Осадочные …, 1984, с. 25-26): *А* – в плане; *В* – профили: *1* – угленосный, *2* – железорудный, *3* – марганценосный, *4* – россыпной

1-7 – зоны: *1* – размыва и сноса, *2* – кор выветривания и остаточных месторождений (с формациями семейства *I*), *3* – сидеролитовая, остаточно-осадочных месторождений (с формациями семейства *II*), *4* – лимно-потамическая и лимническая, аллювиальных и озерных осадков и руд (с формациями семейства *III*), *5* – паралическая, лагунно-дельтовых, прибрежно-континентальных и прибрежно-морских осадков и руд (с формациями семейства *IV*), *6* – прибрежно-морского мелководья. Осадков и руд в заливах и внутренних морях (с формациями семейства *V*), *7* – открытого шельфа. Осадков и руд иловых впадин (с формациями семейства *VI*); *8* – болота: *а* – сплошные, *б* – прерывистые и локальные; *9* – песчаные острова и гряды; *10* – отложения иловых впадин; *11-15* – руды железа: *11* – остаточные, *12* – остаточно-осадочные, *13-15* – осадочные (*13* – озерно-болотные, *14* – лагунно-морские, *15* – морские); *16-18* – руды марганца: *16* – остаточные, *17* – подводно-дельтовые и лагунно-озерные, *18* – лагунно-заливные и прибрежно-морские; *19-21* – бокситы: *19* – остаточные, *20* – остаточно-осадочные, *21* – осадочные; *22-24* – каолиновые глины: *22* – остаточные, *23* – остаточно-осадочные, *24* – осадочные; *25* – месторождения кварцевых песков и песчаников; *26-27* – угли: *26* – лимнические, *27* – пародические; *28-30* – горючие сланцы: *28* – озерные, *29* – лагунные, *30* – иловых впадин; *31-33* – россыпи: *31* – элювиальные, *32* – аллювиальные и озерные, *33* – морские (пляжевые и баровые); *34* – фосфориты; *35* – силикатно-никелевые руды; *36-37* – бары и банки: *36* – надводные, *37* – подводные; *38* – границы геоморфологических подразделений и зон; *39* – линия берега; *40* – типичное положение подводного каньона; *41* – линия раздела внутреннего и внешнего шельфа.

ОЗ – озера; Л – лагуны; ОЗ-Л – остаточные озера, лагуны; Б – бары; З – заливы; ЛЗ – лагуна-залив; Д – наземная дельта; ПД – подводная дельта; СД – старая дельта (брошенная на берегу лагуны); С – область сноса; ВШ – внутренний шельф; ОМ – внешний шельф (открытое море); ИВ – иловые впадины.

Типы руд, дающие промышленные месторождения: *11, 14, 18, 19, 20-24, 26-28, 30*

III.12.4. Этажность строения и моделирование угленосных толщ

В ряде случаев даже однородные «внешне» (или извне) осадочные толщи характеризуются закономерностями во внутренней неоднородности, что рассмотрено в разделе, посвященном строению осадочных толщ (см. рис. III.8.8, табл. III.8.1). Особенно детально это изучено для угленосных формаций, с их хорошим геологическим «репером» в виде угольных пластов. Общие примеры таких закономерностей в виде «этажей» приведены на рис. III.12.8 и III.12.9, а детальная расшифровка (на примере раннемезозойских угленосных формаций) – на рис. III.12.10-III.12.12.

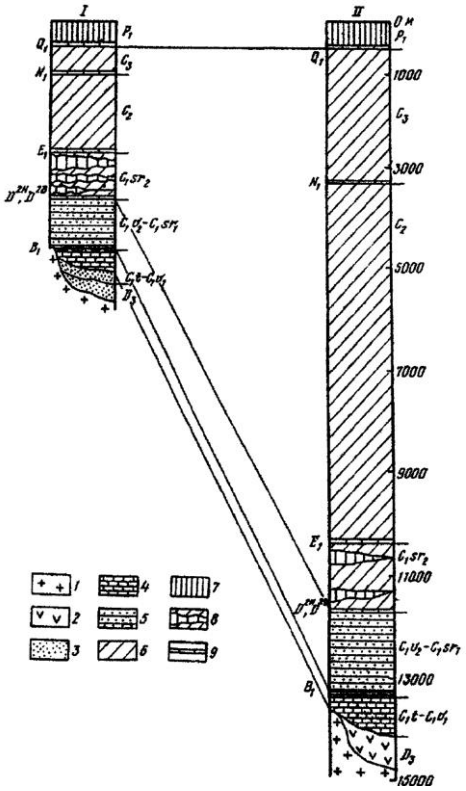


Рис. III.12.8. Осадочные формации Донбасса (В. Ф. Шульга, 1981, с. 10):

1 – докембрийские кристаллические породы; 2-7 – осадочные формации: *2* – эффузивно-осадочная, *3* – обломочная, *4* – карбонатная (известняковая), *5* – угленосная нижнекаменноугольная, *6* – угленосная средне-верхнекаменноугольная, *7* – обломочная красноцветная, *8* – верхнесерпуховские угленосные отложения с перерывами в осадконакоплении; *9* – известняк.

I – Западный Донбасс; *II* – Южный Донбасс.

Слева от колонок – индексы пластов известняка, справа – индексы стратиграфических подразделений

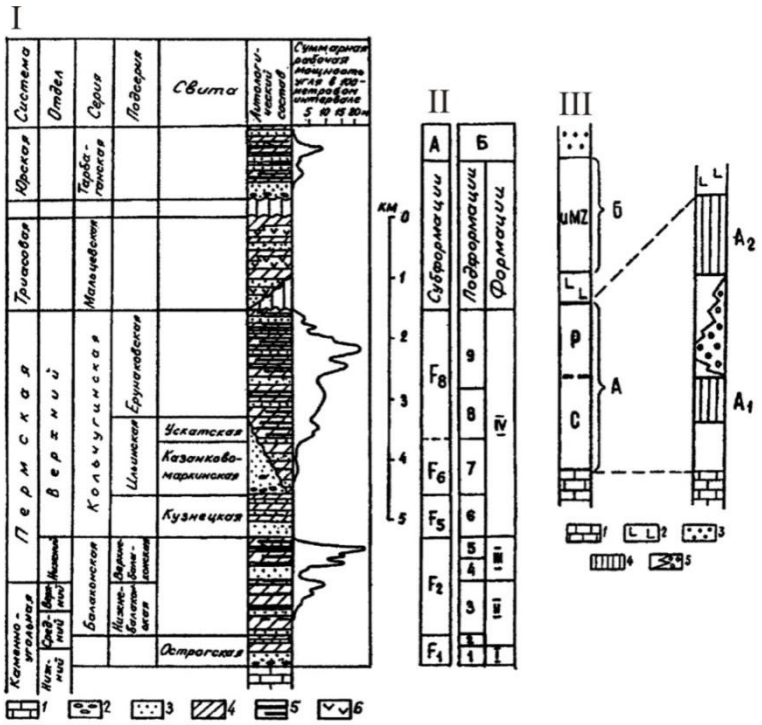


Рис. III.12.9. Строение угленосных отложений Кузнецкого бассейна:

I – сводная колонка: *1* – подстилающие морские терригенно-карбонатные породы; *2* – конгломераты, гравелиты; *3* – песчаники; *4* – алевролиты, аргиллиты; *5* – угли; *6* – туфогенные и изверженные породы;

II – формационное расчленение: А – по А.З. Юзвицкому (1993); Б – по П.П. Тимофееву (1983);

III – сводная модель строения: отложения: *1* – подстилающие, *2* – мальцевской серии, *3* – перекрывающие, *4* – наиболее продуктивные; *5* – кузнецкой свиты.

Эпохи угленакопления: С – каменноугольная, Р – пермская, MZ – раннемезозойская, А, Б – этажи; A_1, A_2 – подэтажи

Рис. III.12.10. Сводный (полный) разрез раннемезозойской угленосной формации (Внутриконтинентальные …, 1990, с. 57): *1* – конгломераты и гравелиты, *2* – песчаники, *3* – алевролиты и аргиллиты, *4* – пестроокрашенные породы, *5* – внутриформационные перерывы и несогласия. Справа 1-3 – подформации

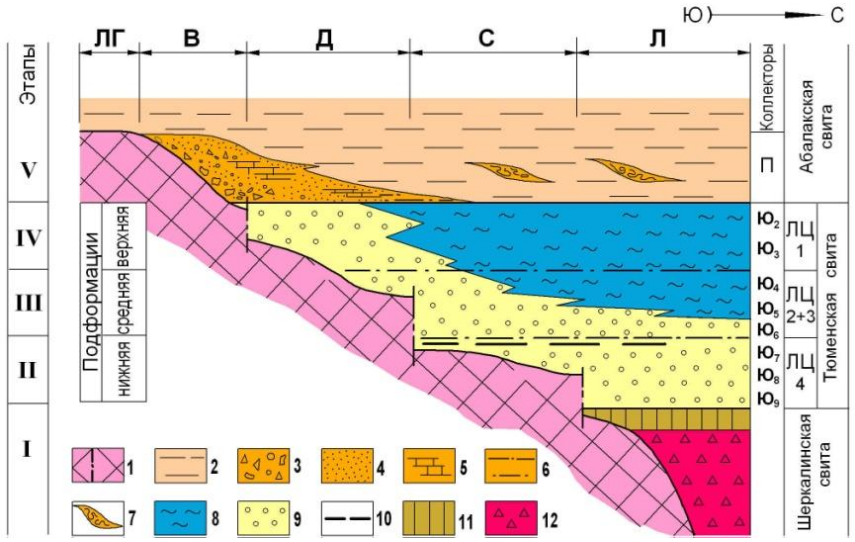


Рис. III.12.11. Генерализованная модель истории геологического развития Шаимского НГР в раннемезозойскую эпоху (Угленасыщенность …, 2006, с. 15): *1* – доюрский фундамент, расчлененный на отдельные блоки; *2* – перекрывающие нижнеплитный этаж морские келловей-верхнеюрские отложения; *3-7* – породы вогулкинской толщи: *3* – гравелиты, конгломераты; *4* – песчаники, *5* – известняки, *6* – алевролиты, *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: ЛГ – «лысых гор», В – вогулкинский, Д – даниловский, С – сыморьяхский, Л – ловинский

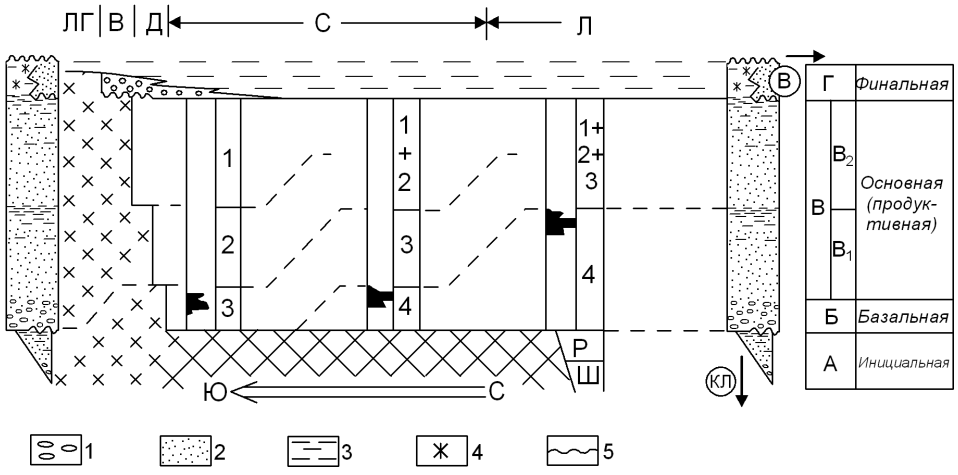


Рис. III.12.12. Модель, отражающая постоянство строения тюменской свиты (Угленасыщенность …, 2006, с. 131): Слева и справа – сводный (полный) разрез раннемезозойской угленосной формации (см. рис. III.12.7): *1* – конгломераты и гравелиты, *2* – песчаники, *3* – алевролиты и аргиллиты, *4* – пестроокрашенные породы, *5* – внутриформационные перерывы и несогласия. Вверху – буквенные обозначения типов разрезов: ЛГ – “лысых гор”, В – вогулкинский, Д – даниловский, С – сыморьяхский, Л – ловинский. Справа от колонок, помещенных в центре – номера литоциклов II порядка. Буквы в кружках: В – направление, показывающее на принципиальное замещение морских отложений континентальной угленосной толщей васюганской свиты; КЛ – приращение нижней части отложений за счет шеркалинской свиты Красноленинского района

III.13. ОСАДОЧНЫЕ ФОРМАЦИИ В РАМКАХ ФИКСИЗМА

III.13.1. Геосинклинальная концепция

Фиксизм (от лат. fixus – твёрдый, неизменный закреплённый) – научное направление в геологии, концепция, исходящая из представлений о фиксированном, незыблемом положении континентов на земной поверхности. Согласно концепции фиксизма, решающая роль в развитии земной коры отводится вертикальным движениям. Наибольшее развитие эти представления получили в 30-60-е годы XX века (рис. III.13.1).

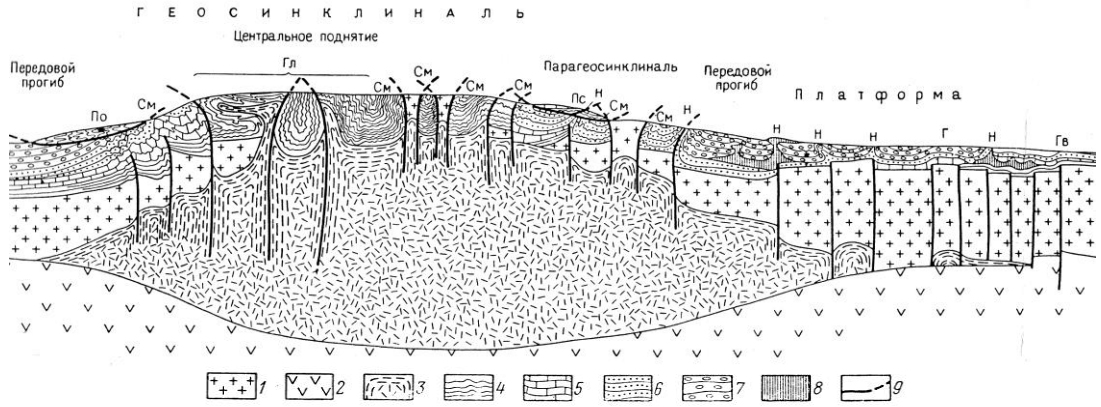


Рис. III.13.1. Общая схема складчатости (В. В. Белоусов, 1975, с. 77):

1 – древний складчатый фундамент; *2* – «базальтовый» слой земной коры; *3* – молодые граниты и мигматиты; формации: *4* – нижнетерригенная, *5* – известняковая, *6* – верхнетерригенная, *7* – молассовая и лагунная, *8* – соль; *9* – тектонический разрыв.

По – тектонический покров оплывания; Пс – тектонический покров скольжения; Н – складчатость нагнетания; Г – глыбовая складчатость; Гв – вал глыбового происхождения; Гл – глубинная складчатость, гранито-гнейсовые купола, тектонические покровы пеннинского типа; См – складчатость общего смятия

Пример использования геосинклинальной концепции при оценке конкретного типа осадочных формаций (угленосных) приведен на рис. III.13.2.

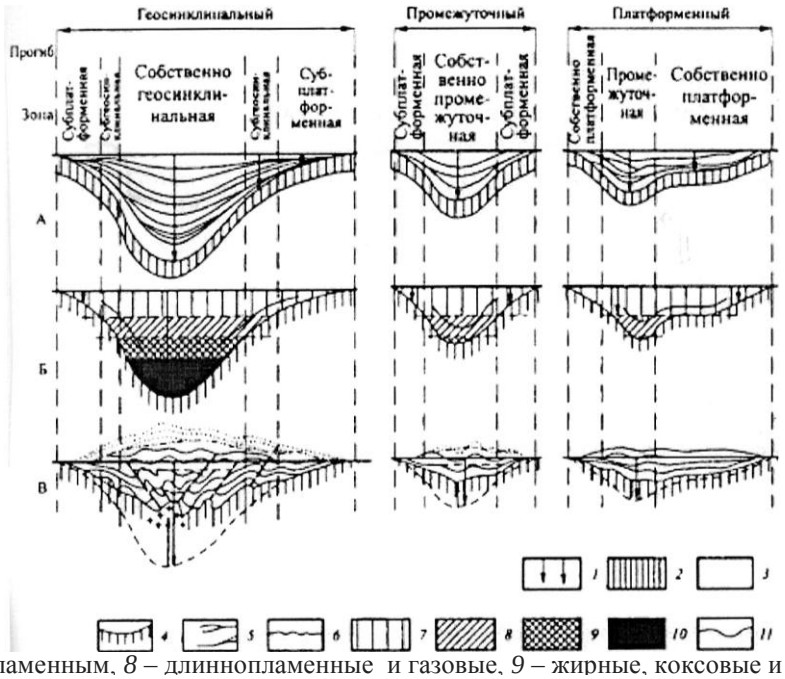


Рис. III.13.2. Схема образования и изменения угленосных формаций в основных типах волновых прогибов (по Г. А. Иванову): А – основные типы волновых прогибов, их зоны и образующиеся в них угленосные формации; Б – зональность регионального метаморфизма угля в различных типах угленосных формаций (вертикальные зоны метаморфизма углей и соответствующие им зоны эпигенеза пород); В – зональность тектоники и разрушение (размыв) угленосных формаций;

1 – амплитуда прогибания; *2* – границы между зонами; *3* – угленосные формации; *4* – подстилающие их образования; *5* – пласты угля; *6* – внутриформационные размывы (стратиграфические перерывы); *7–10* – угли: *7* – бурые и переходные к длиннопламенным, *8* – длиннопламенные и газовые, *9* – жирные, коксовые и отощенно-спекающиеся, *10* – тощие и антрациты, *11* – один из пластов угля в каждом типе прогибов, по которому видна горизонтальная зональность метаморфизма

Таблица III.13.1

Сопоставление производных признаков геосинклинальных областей (по А. Д. Архангельскому) с определяющими их «базисными» признаками

(Ю. А. Косыгин, 1983, с. 314-315)

Производные признаки	Базисные признаки
1. Относительно большие скорости и амплитуды вертикальных движений; движения глыб с различной быстротой и иногда в различных направлениях	Большие мощности по сравнению с синхронными формациями платформ. Резкие различия мощностей одноименных стратиграфических подразделений на смежных блоках, разделенных разломами, а также выпадение из разрезов в некоторых блоках тех же подразделений с размывом нижележащих горизонтов
2. Резко выраженный рельеф	То же и наличие грубообломочных толщ (конгломератов из местного материала), граувакковых толщ, дислокаций, подводно-оползневый генезис которых предполагается, и т. д.
3. Движения, обусловливающие возникновение складчатости	Складчатая структура слоистых толщ. Искажение мощностей и перераспределение вещества в складках, позволяющее предполагать, что образование складок связано с механическими воздействиями и что они не являются складками облекания или уплотнения
4. Широкое развитие вулканизма, проявляющееся как в эффузивной, так и в интрузивной формах	Широкое по сравнению с платформами распространение вулканогенных толщ, а также интрузивных магматических тел
5. Утрата подвижности после складкообразования и превращения в платформу	Наличие, по крайней мере, двух структурных этажей – нижнего со складчатой структурой и геосинклинальным типом формаций и верхнего, представляющего собой пологозалегающий чехол, состоящий из слабометаморфизованных осадочных толщ
6. Имеет место обратный переход платформы в геосинклинальные области	В основании геосинклинального ряда осадочных формаций обнаруживаются формации, не отличимые (или сходные) от одноименных формаций платформенной области
7. Развитие геосинклинали обнаруживает цикличность	Вертикальные ряды геосинклиналей обнаруживают общее сходство и не содержат повторяющихся формаций
8. Первая половина цикла характеризуется опусканиями …	Нижняя половина формационного ряда представлена осадочными и осадочно-вулканогенными формациями преимущественно морского происхождения и большой мощности
9. … распространяющимися от геосинклинали к платформе	Краевые прогибы, занимающие окраины смежных платформ, представлены мощными, но значительно более молодыми формациями, чем формации нижней части формационного вертикального ряда геосинклинали
10. …а вторая половина сменой опусканий поднятиями	Верхняя половина вертикального формационного ряда представлена формациями, не обладающими сплошным распространением, в которых кверху возрастает роль грубообломочного материала (моласса)
11. …которые начинаются в центральной части геосинклинальной области и распространяются к платформе	Формирование отложений, выполняющих краевые прогибы, заканчивается позднее, чем формирование отложений, образующих складчатые сооружения внутренних частей геосинклинальной области

III.13.2. Осадочные формации с «вертикалистских» позиций

Приоритет тектонического подхода к оценке осадочных формаций отчетливо прослеживается в классификации, приведенной в табл. III.13.2. Однако существенная роль в ней отведена и климатическим изменениям. Это сближает сугубо тектонический подход с парагенетическим или структурно-вещественным (см. табл. III.1.1).

Таблица III.13.2

Тектоно-климатическая классификация осадочных формаций
(В. Е. Хаин, 1980; Справочник ..., 1983, с. 434-435; с сокращениями)

Стадия развития	Осадочные формации						
	эпиконтинентальных бассейнов (платформенного чехла)		пассивных окраин континентов		активных окраин континентов		океанических бассейнов
	гумидная зона	аридная зона	перикратонные опускания (миогеосинклинали)		континентальный склон-подножье-окраинные моря (мезогеосинклинали, позже передовые прогибы)	окраинные моря-островные дуги-желоба (эвгеосинклинали, позже передовые прогибы)	
			гумидная зона	аридная зона			
Конечная (эмерсивная)	Озерно-аллювиальная сероцветная с каолинитом, углями; красноцветная с бокситами	Пустынно-озерная красно- или пестроцветная с карбонатами и сульфатами			Верхняя, континентальная, грубая моласса	Верхняя, континентальная грубая моласса и вулканиты	
Поздняя (регрессивная)	Паралическая угленосная (прибрежных равнин)	Красноцветная эвапоритовая лагунная			Нижняя, морская моласса	Нижняя. морская тонкая моласса	
	Песчано-глинистая или кварцево-песчаная, с глауконитом	Карбонатно-терригенная с сероцветной фацией черных глин			Терригенный флиш	Терригенный флиш	Гемипелагическая терригенно-глинистая
Зрелая (инундационная)	Карбонатная (известково-мергельная)	Карбонатная (известняково-доломитовая)	Неритическая кремнисто-глинистая фосфоритоносная	Неритическая карбонатная с фацией барьерных рифов	Карбонатный флиш	Карбонатный флиш	Пелагическая глинистая и кремнисто-глинистая (абиссальных котловин)
Ранняя (трансгрессивная	Песчано-глинистая или кварцево-песчаная с глауконитом	Карбонатно-терригенная с фацией черных глин	Пестроцветная глинистая с магнезиальными силикатами	Битуминозная песчано-глинистая с фацией черных глин и терригенно-карбонатная	Терригенный флиш	Терригенный флиш	Пелагических известняков и известковых турбидитов срединных хребтов и поднятий
	Паралическая угленосная (прибрежных равнин)	Красноцветная – эвапоритовая лагунная	Паралическая угленосная (зрелого рифта)	Эвапоритовая (зрелого рифта)	Сланцево-граувакковая (аспидная)		Рифтовых зон (в том числе эксгаляционная)
Начальная (эмерсивная)	Озерно-аллювиальная сероцветная с каолинитом, углями; красноцветная с бокситами	Пустынно-озерная красно- или пестроцветная с карбонатами и сульфатами	Континентальная обломочная (молодых рифтовых зон)				

Понятие **парагенеза** как «естественного комплекса (сообщества, ассоциации) горных пород» введено в 1939 г. видным тектонистом Н. С. Шатским.

Никола́й Серге́евич ША́ТСКИЙ (16 (28) августа 1895, Москва – 1 августа 1960, Москва) – советский геолог-тектонист. Академик АН СССР. Лауреат Ленинской премии.

В 1929 г. окончил Московскую горную академию; с 1934 г. работал в системе АН СССР, в том числе в 1956-1960 гг. – директором Геологического института РАН.

В 1982 г. АН СССР учредила премию имени Н. С. Шатского за выдающиеся работы в области геологии и тектоники.

Среди многочисленных работ Н. С. Шатского по самым разным направлениям геологической науки (включая биографические: см. очерк об А. Грессли в п. II.1.1), одно из ведущих мест занимали разработки по геологическим формациям.

Представления о парагенетических соотношениях осадочных формаций дает рис. III.13.3, впервые приведенный в первом издании капитальной работы Л. Б. Рухина «Основы литологии» (1953). Схемы «А» и «В» впоследствии дополнены схемой «С», составленной И. А. Вылцаном.

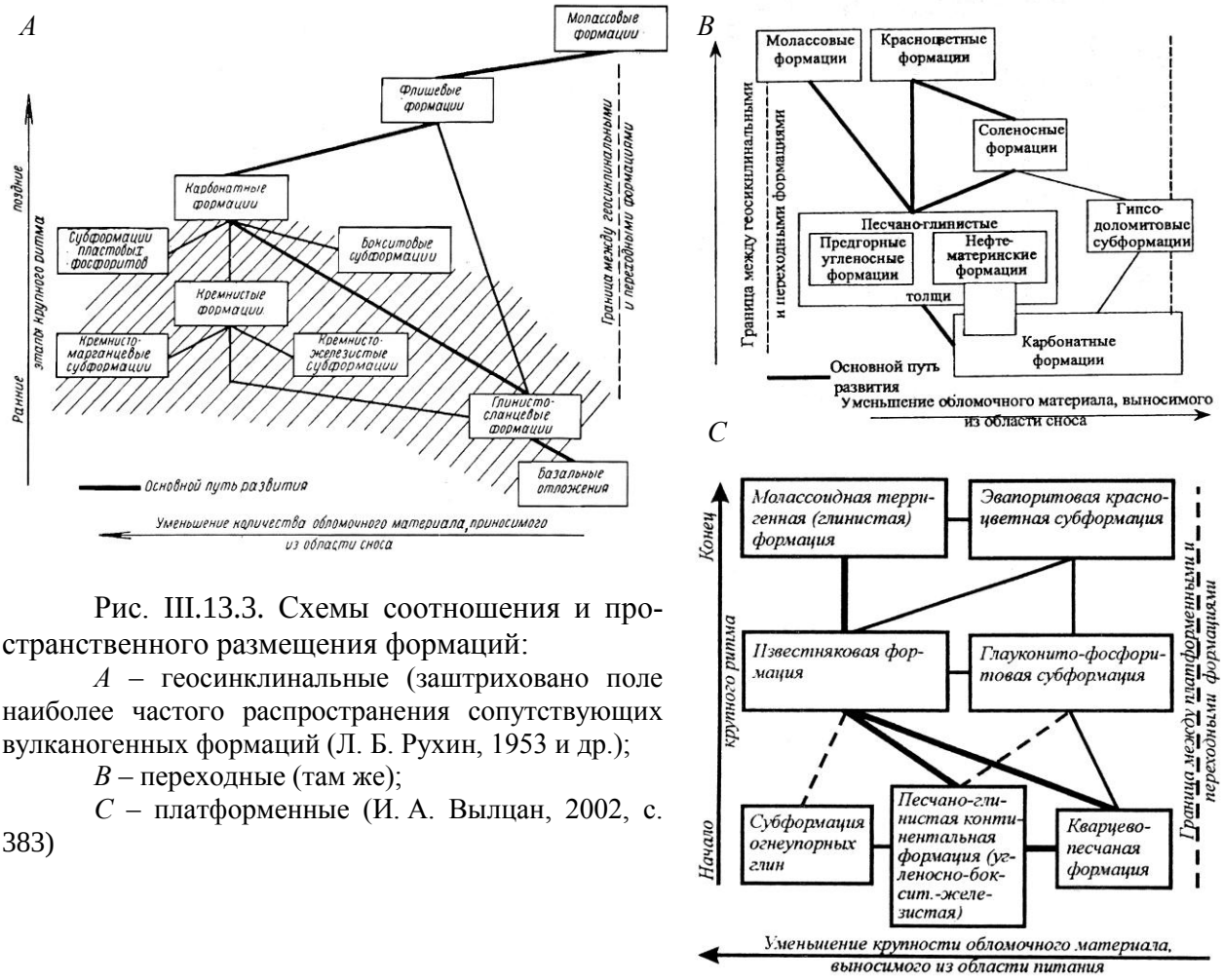


Рис. III.13.3. Схемы соотношения и пространственного размещения формаций:

A – геосинклинальные (заштриховано поле наиболее частого распространения сопутствующих вулканогенных формаций (Л. Б. Рухин, 1953 и др.);

B – переходные (там же);

C – платформенные (И. А. Вылцан, 2002, с. 383)

Лев Бори́сович РУХИН (16.10.1912, Москва – 8.9.1959, Ленинград), советский геолог, доктор геолого-минералогических наук (1944), профессор Ленинградского университета (с 1945). После окончания Ленинградского университета (1933) работал там же. Основные труды посвящены литологии и палеогеографии.

Работа Л. Б. Рухина «Основы литологии» (1953; 2-е изд. 1959; 3-е изд. 1969), кроме традиционных разделов – собственно петрографии, основ теории литогенеза, описания фаций и фациального анализа, содержала принципиально новую для того времени часть – «Осадочные формации». Здесь впервые в мировой литературе изложены основы учения о геологических формациях, даны их классификации по составу и геологической позиции и описаны основные виды. Книга Л. Б. Рухина получила широкую известность, чему способствовали 4 переиздания на русском, немецком и китайском языках.

III.14. ПЛЕЙТ-ТЕКТОНИКА И ЛИТОГЕОДИНАМИКА

В конце 1960-х гг. сформировался принципиально новый взгляд на процессы формирования земной коры, отражающий приоритет горизонтальных перемещений блоков литосферы или мобилизма (лат. mobilis – подвижный) и подтверждающий гипотезу дрейфа материков А. Вегенера (1912).

III.14.1. Тектоника литосферных плит

Концепция тектоники литосферных плит (ТЛП) или плейт-тектоника (англ. plate-tectonics, где plate – плита или тонкая относительно своей толщины пластина, табличка, чешуйка) включает следующие основные допущения: а) *литосфера* представляет собой относительно жесткую и хрупкую оболочку, подстилаемую более пластичной, менее вязкой *астеносферой*; б) литосфера разделена разломами на ограниченное число внутренне монолитных плит, границы которых совпадают с поясами высокой сейсмической активности; в) плиты вдоль этих границ испытывают относительные горизонтальные смещения по поверхности астеносферы; эти смещения подчиняются теореме Эйлера и описываются вращением относительно некоторых виртуальных полюсов; г) взаимные смещения литосферных плит бывают троякого рода: дивергентные, т. е. расходящиеся – раздвиговые, с образованием *срединно-океанических хребтов*, обычно осложненных рифтовыми долинами; конвергентные (сходящиеся), с погружением и поддвигом одной литосферной плиты под другой; трансформные (со скольжением по горизонтали одной плиты относительно другой, т. е. с горизонтальным сдвигом вдоль вертикального разлома) (материал из Википедии). Базовые представления ТЛП показаны на рис. III.14.1 – III.14.3.

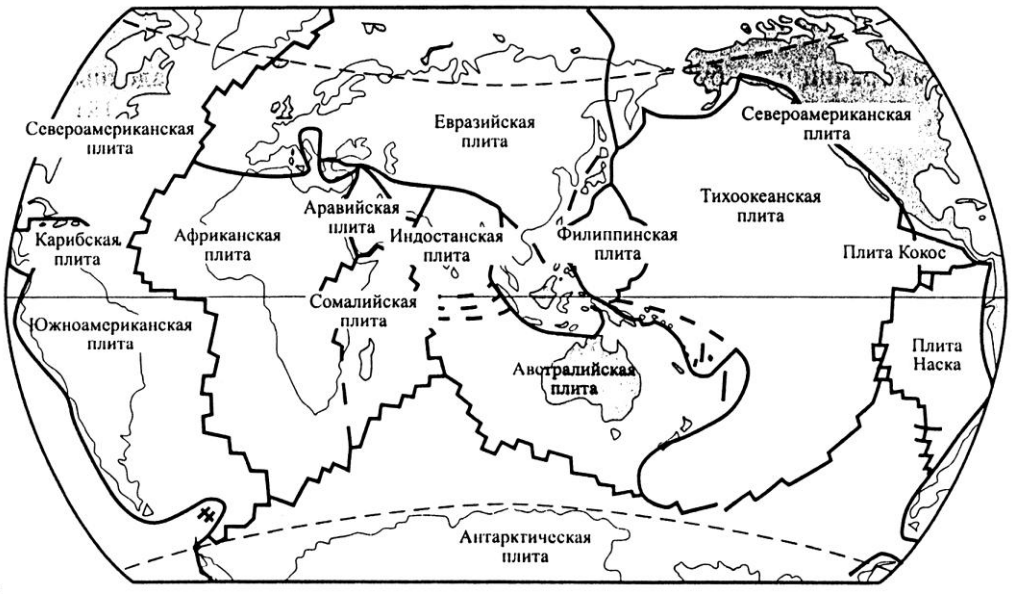


Рис. III.14.1. Литосферные плиты. Некоторые плиты являются исключительно океаническими (например, Тихоокеанская, Филиппинская, Кокос, Наска), тогда как другие имеют сугубо континентальную структуру (Аравийская). Однако типичные плиты включают в себя как океанический, так и континентальный типы земной коры, что соответствует строению суперконтинента Гондвана, который распался на части примерно 180 млн лет назад. Это привело к образованию нескольких зон «раскрытия новых океанов»: Американские плиты, Африка, Евразия, Антарктика, Индо-Австралия. Существуют и еще более сложные системы: остатки ранее существовавших плит (Средиземноморье), новые плиты (Индонезия) и микроплиты в Тихом океане (Галапагоссы, о. Пасхи, архипелаг Хуана Фернандеса)

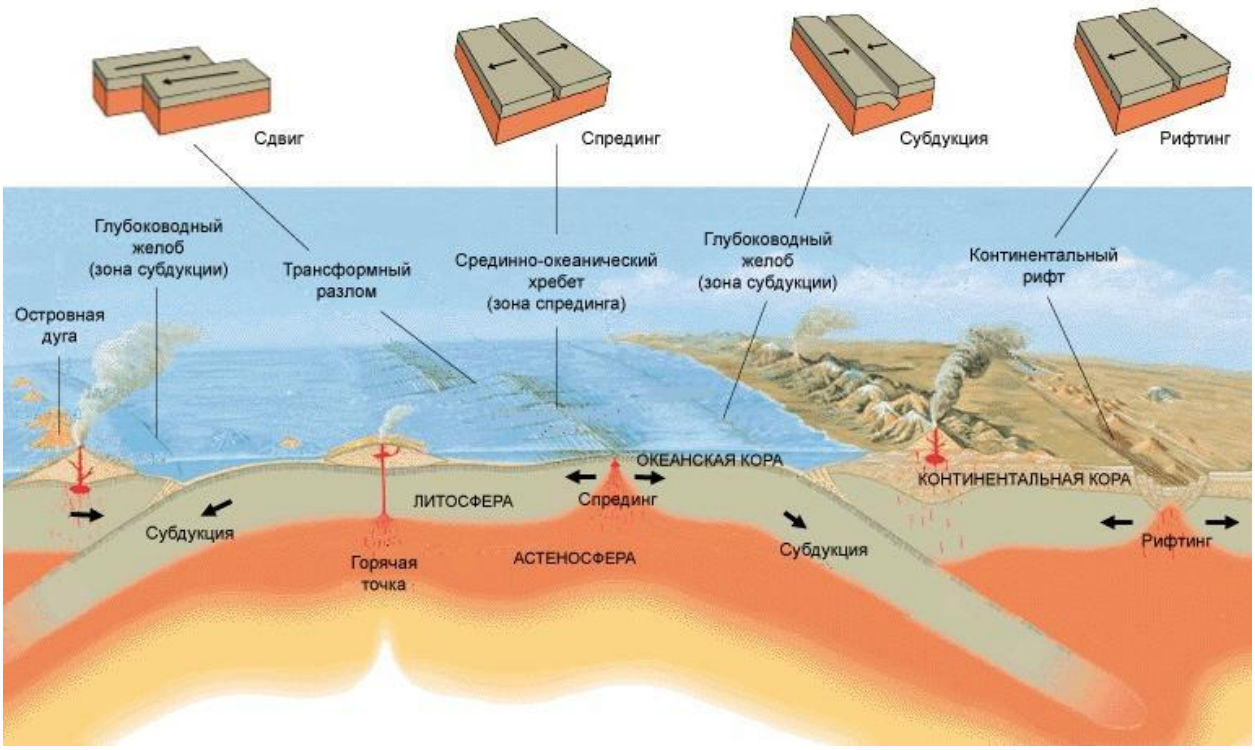


Рис. III.14.2. Классификация геотектонических процессов согласно концепции тектоники плит (Википедия: тектоника плит)

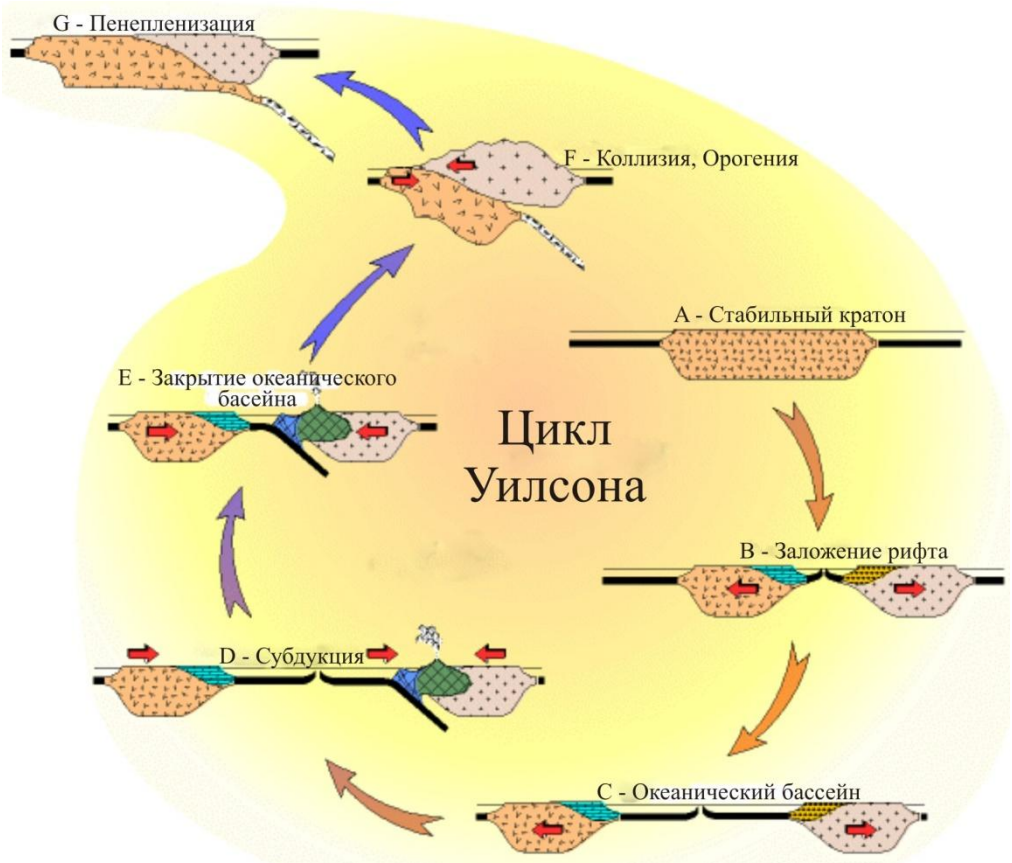


Рис. III.14.3. Цикл Уилсона (Cycle Wilson): от раскола континента и раскрытия океана до закрытия такового с континентальной коллизией и складчатостью в горных цепях. В истории Земли насчитывают четыре цикла Уилсона с длительностью около 650 млн лет. См. также рис. Вв.5, иллюстрирующий формирование осадочных отложений

III.14.2. Осадочные бассейны

Под осадочным бассейном (ОБ) (англ. sedimentary basin) понимается «... стратифицированное осадочно-породное тело, выполняющее депрессионную палеоструктуру и сформировавшееся в конкретной геодинамической обстановке. ... Элементами, слагающими осадочный бассейн, являются осадочные формации, а сами ОБ составляют ячейки более крупных геоструктурных подразделений – осадочных мегабассейнов. Реконструкция ОБ проводится с *помощью бассейнового анализа*» (Геологический..., 2011, с. 354).

В другом определении под термином ОБ понимается «... выраженная в современной структуре впадина ... на коре любого типа, заполненная недифференцированным или умеренно дифференцированным осадочным чехлом мощностью в депоцентре не менее 0,5 км, а теоретически характеризующаяся (объединенная) единой флюидогидродинамической системой» (Осадочные..., 2004, с. 17).

Следует различать ОБ и *бассейны седиментации*, о которых шла речь во второй части пособия. Первое в результате тектонических перестроек и эрозии всегда (и часто весьма значительно) меньше по размерам.

На рис. III.14.4 приведена модель формирования ОБ, а на рис. III.14.5 – последовательность его выделения и изучения.

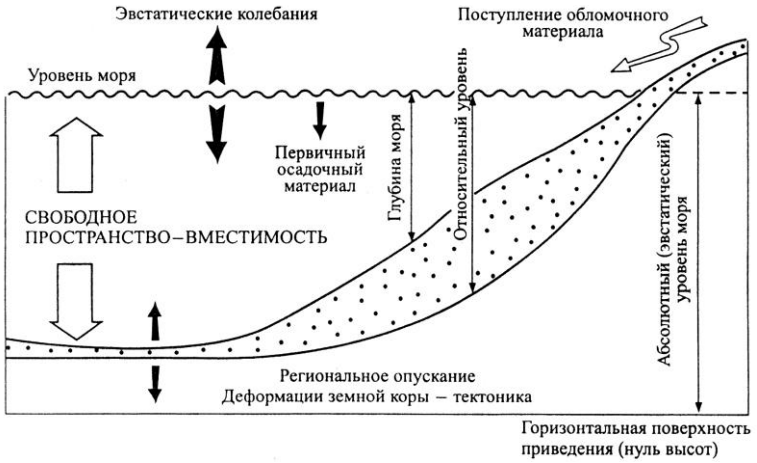


Рис. III.14.4. Свободное пространство или вместимость бассейна (Б. Бижу-Дюваль, 2012, с. 422). Вместимость бассейна можно определить как совокупный результат эвстатических колебаний и тектоники (погружения или воздымания) с точки зрения возможности накопления осадков (объем сносимого первичного осадочного материала и потоков детрита). Колебания относительного уровня моря определяют наличие свободного пространства, доступного для заполнения осадками

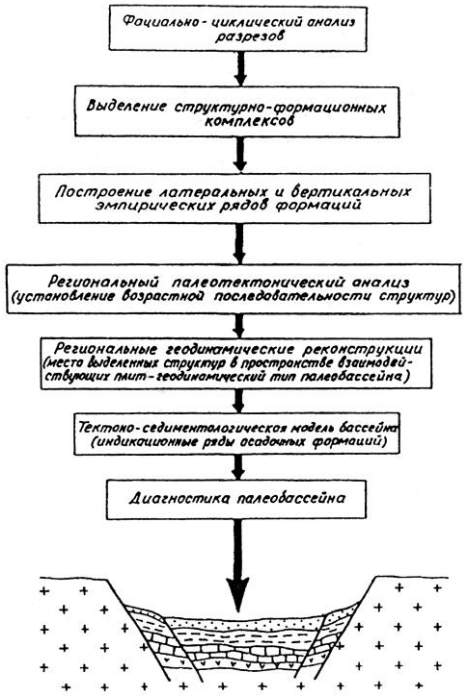


Рис. III.14.5. Операционная схема выделения осадочного палеобассейна (Литогеодинамика..., 1998, с. 16)

Современные осадочные бассейны характеризуются большим разнообразием, что иллюстрирует рис. III.14.6. Упрощенная схема классификации древних ОБ в соответствии с концепцией ТЛП показана на рис. III.14.7.

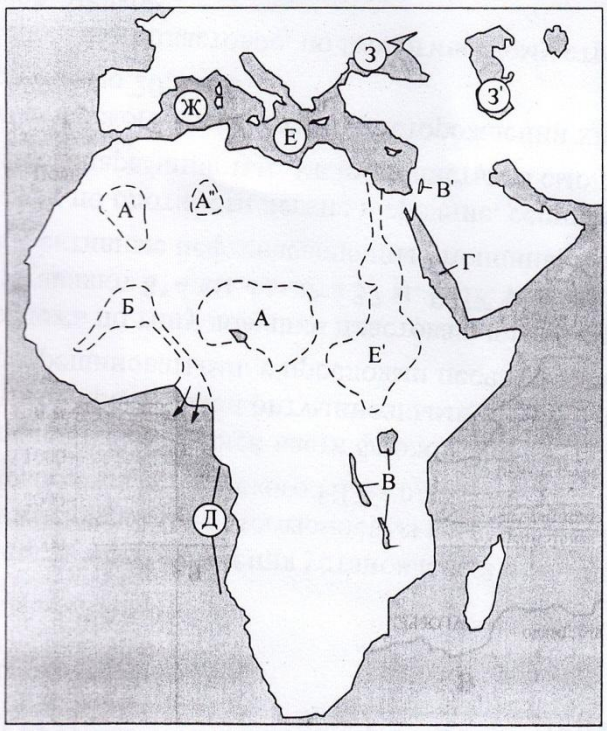


Рис. III.14.6. Примеры разнообразия ныне действующих осадочных бассейнов (Б. Бижу-Дюваль, 2012, с. 65. Подрисуночная подпись дана со значительными сокращениями):

А. Бассейн оз. Чад: современная платформенная впадина с широкой сетью водосбора, небольшой площадью, покрытой открытой водной поверхностью со значительным испарением; **А'**. Бассейн Саура: современный внутриконтинентальный бассейн внутреннего стока, полностью лишенный воды; А". Большой Восточный Эрг: впадина, покрытая сетью барханов, которые превращают первоначально чашеобразный рельеф в поднятие. **Б**. Внутренняя впадина бассейна р. Нигер: слегка погруженный континентальный бассейн с дельтой и внешним стоком, позволяющим осуществляться выносу осадков в океан. **В**. Великие Восточно-Африканские рифтовые озера: глубокие впадины, ограниченные тектоническими нарушениями, расположенные вдоль современной зоны разлома земной коры. **В'**. Мертвое море, долина р. Иордан: открытая впадина вдоль крупной зоны сдвиговых дислокаций. **Г.** Красное море: новый океан, возникший при отделении Аравийской литосферной плиты от Африки в результате рифтогенеза, начавшегося 30 млн лет назад (в третичное время). **Д**. Атлантическая окраина Африки: глубоководные бассейны являются бывшей окраиной (140-100 млн лет назад, мезозой) с мощными осадочными клиньями в устьях рек, нормальной океанической соленостью воды и специфическими течениями. **Е**. Восточно-Средиземноморский глубоководный бассейн, заложившийся от 200 до 400 млн лет назад (начало мезозоя), частично заполненный современными осадками Нила и сократившийся в результате сближения с Европой; характерна повышенная соленость и отсутствие приливно-отливной деятельности. **Ж**. Западно-Средиземноморский бассейн, Тирренский бассейн, Эгейский бассейн: глубоководные бассейны, соединившиеся при образовании Альпийского орогенного пояса; высокая соленость, приливно-отливная деятельность отсутствует. **З**. Черное море: закрытый бассейн, изолированный от соленого океана, с весьма обширной водосборной сетью, обильным поступлением осадков, в значительной степени замкнутый и испытавший погружение сравнительно недавно (50 млн лет назад); **З'**. Южно-Каспийский бассейн: реликт океана между коллизионными Альпийскими горными цепями

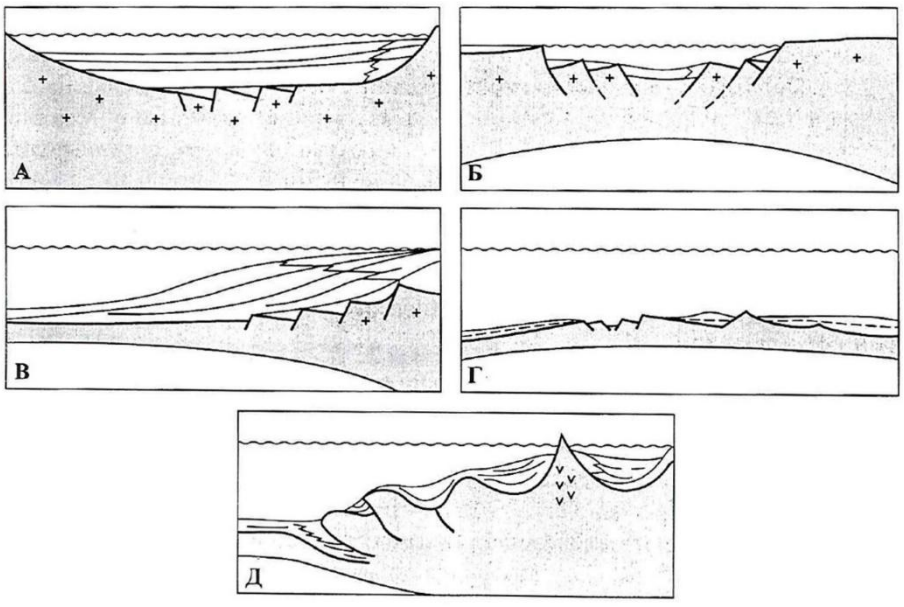


Рис. III.14.7. Классификация осадочных бассейнов (Б. Бижу-Дюваль, 2012, с. 71):

А. Внутриконтинентальный бассейн. **Б**. Рифтовый бассейн. **В**. Континентальная окраина. **Г**. Глубоководный океанический бассейн. **Д**. Бассейны горноскладчатых областей

III.14.3. Литогеодинамика

Достижения ТЛП, без преувеличения, можно считать революционным прорывом не только в геотектонике, но и в геологии в целом. При этом, как обычно и бывает, на сам процесс реализации принципиально новых представлений имеется два альтернативных взгляда. Применительно к литологии они могут быть представлены в следующем виде.

pro (за)	**contra (против)**
«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» (А. П. Лисицын, 2001)	«ТЛП актуалистична, слишком актуалистична. Современная обстановка излишне откровенно переносится на всю или почти на всю историю Земли, включая и архей. Она поэтому мало- или неисторична, ей не дано заметить наступление самого важного качественного перехода в истории Земли – вступление в океанический период, не говоря уже об этапах второго плана в доокеаническом периоде. По современной модели скроенные реконструкции прошлого – неисторические штампы. И домезозойские океаны делаются по образу и подобию современных, тогда как задача геолога-историка – искать отличия. В рамках ТЛП, обрезавшей у себя всю историко-геологическую методику и отбросившей фактическую историю земной коры (как большевики в России до основания разрушили духовный мир прошлого), эта задача не решаема» (В. Т. Фролов, 2004, с. 63)

Пример увязки литологии с мобилистской (доказанной) концепцией, на примере южной части Атлантики, приведен на рис. III.14.8.

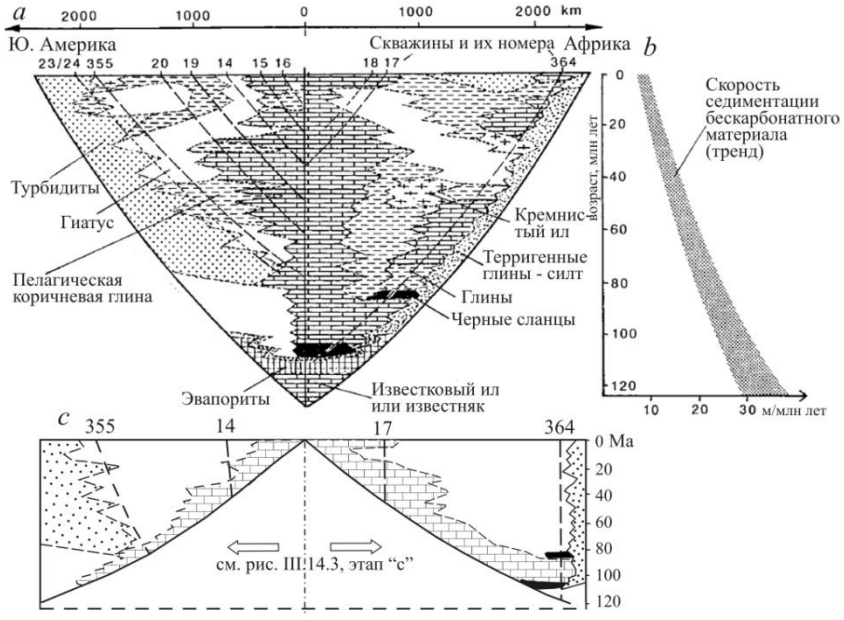


Рис. III.14.8. Расширение Южной Атлантики и обобщенное хроностратиграфическое расчленение отложений между бразильским и ангольским берегами по результатам глубокого бурения (G. Einsele, 1992, p. 421); с изменениями и дополненной фигурой «С»:

a – сводный разрез, иллюстрирующий приуроченность карбонатных осадков к оси рифта, в то время как отложения вдали от него накапливались ниже уровня критической глубины карбонатонакопления или CCD (carbonate compensation depth). Асимметрия распределения осадков обусловлена циркуляционной системой водных масс; *b* – скорость закрепления в геологическом разрезе бескарбонатного материала, уменьшающаяся с раскрытием океана; *c* – упрощенная модель, иллюстрирующая процесс раскола континента и формирования океана (этапы «B» и «C» цикла Уилсона на рис. III.14.3)

Седиментологические аспекты плейт-тектоники или ТЛП впервые детально рассмотрены С. И. Романовским (1988). Им предложено новое направление – **литогеодинамика** (lithogeodinamics) – «наука, изучающая литологические индикаторы геодинамических режимов прошлого. В ее задачу входит разработка седиментологических индикационных моделей процессов, протекающих в различных обстановках» (Геологический..., 2011, с. 143).

В табл. III.14.1 приведены индикационные ряды осадочных формаций (ОФ) для некоторых из геодинамических типов осадочных бассейнов.

Таблица III.14.1

Индикационные ряды осадочных формаций для некоторых геодинамических типов осадочных бассейнов (Г. А. Беленицкая и др., 2001, с. 17-18)

Бассейны	Индикационные ряды осадочных формаций (в скобках – формации, характерные для аридных климатических условий)
Зрелые континентальные рифты	Вертикальный ряд (снизу вверх): кора выветривания, вулканиты, терригенные угленосные (терригенные красноцветы), карбонатно-терригенные, известково-глинистые формации (гипсоносная формация с доломитами, ангидритами, солями) → терригенные песчанисто-глинистые формации, часто угленосные (терригенные красноцветы: сульфатно-карбонатный ряд формаций с эвапоритами), карбонатно-терригенно-соленосная формация → угленосная формация, терригенные формации аллювиальных конусов выноса (алеврито-песчаниково-конгломератовая красноцветная формация), прибрежно-морские терригенно-карбонатные формации (вулкано-терригенная, гипсоносная формация) → глубоководные аргиллиты, терригенная, гипсоносная формация) → глубоководные аргиллиты, терригенная аллювиальная моласса подводящих конусов выноса – фангломераты (красноцветная моласса), рифтовая формация → терригенные алевролито-песчаниковые, карбонатно-терригенные формации (карбонатная сульфатно-глинистая формация)
Надрифтовые впадины	Общие литогеодинамические закономерности определяются не столько региональной геодинамикой, сколько сочетанием глобальных и местных воздействий на денудационно-аккумулятивную систему надрифтовых впадин (эвстатические колебания уровня океана, локальные тектонические подвижки и т. д.). Поэтому индикационные ряды формаций оказываются строго индивидуализированными. Они устанавливаются эмпирически для каждого конкретного бассейна
Подводные конуса выноса полноразвитых пассивных окраин	Латеральный ряд (от мелководья вглубь бассейна): грубозернистые песчаные турбидиты с присутствием оползневых и обвальных накоплений, расслоенные отложения пелагической глины (верхний фен) → проксимальные алевро-глинистые и (или) алевро-песчаные турбидиты, также расслоенные пелагической глиной (канализированные фации среднего фена) → алевро-песчаные и (или) песчано-алевролитовые и (или) существенно песчаные дистальные турбидиты, расслоенные пелагической глиной → контуриты (нижний фен). Примечание. Литологический состав отложений может меняться. В частности, с верхним феном часто связаны мощные пачки карбонатных турбидитов, но остается неизменной фациальная направленность в смене турбидитных формаций
Шельфово-склоновые бассейны пассивных окраин	Вертикальный ряд (снизу вверх): полифациальная терригенная пестроцветная формация субконтинентального происхождения → аргиллитовая (нередко битуминозная) → эвапориты → серия морских терригенно-карбонатных формаций. Примечание. Этот ряд является наиболее обобщенным. Для конкретных шельфово-склоновых бассейнов атлантической континентальной окраины Африки и Америки (и их древних эквивалентов) характеристические ряды формаций могут сильно варьировать

Приведенные в табл. III.14.1 сведения заслуживают их помещения в табл. III.1.1 с названием «литогеодинамическое направление», что позволяет «замкнуть» изложение сведений по формационному анализу осадочных толщ.

* * *

Третья, «формационная», часть пособия имеет свою внутреннюю тернарную структуру. В целом она соответствует уровням организации геологических объектов: порода → комплексы пород (цикличность) → формация. Именно в такой последовательности изложен материал по веществу как первой субстанции осадочных формаций (темы III.2 – III.5), и строению как его второй субстанции (III.6 – III.8). Отдельно рассмотрен ряд индикативных признаков (скорость осадконакопления, перерывы и уплотнение пород: III.9 – III.11). Общие итоги подведены серией из трех глав (III.12 – III.14), констатирующих постепенный и неизбежный переход от формационного анализа к бассейновому (basin analysis).

Существенная «тупиковость» традиционного для отечественной геологии формационного анализа во многом определяется принципиально иным подходом к определению и выделению формаций в работах зарубежных (прежде всего североамериканских) геологов. В них «формация» практически равноценна российской/советской «свите», что, конечно же, остро обозначает принципиальные противоречия по основным позициям геологического знания. Особенно это ощущается для осадочных пород, что отчасти иллюстрируется интересными сведениями, приведенными в табличном виде.

Теоретичность и историчность (спекулятивность) отраслей геологического знания
(В. Т. Фролов, 2004, с. 19; с небольшими изменениями)

Отрасль геологического знания	Теоретичность		Историчность (спекулятивность)	
	балл	%	«антибалл»	%
Кристаллография	9-10	95	0-1	5
Минералогия	8-9	85	1-2	15
Геохимия	7-8	75	2-3	25
Петрология	6-7	65	3-4	35
Литология	5-6	55	4-5	45
Палеонтология	4-5	45	5-6	55
Стратиграфия	3-4	35	6-7	65
Формациология	2-3	25	7-8	75
Тектоника	1-2	15	8-9	85
Геоистория	0-1	5	9-10	95

Примечание. «Перекрытие» значений в баллах подчеркивает приблизительность оценочной шкалы.

Из приведенных данных видно, что виднейший отечественный литолог В. Т. Фролов отвел формациологии хоть и «призовое», третье, место из 10 возможных, но (увы!) с конца. Впрочем, изложенные в III части пособия максимально объективизированные сведения, во многом сосредоточенные на определении *закономерностей* в строении осадочных формаций, позволяют надеяться на то, что в таком виде они могут рассчитывать на оценку 5-6 баллов по предложенной шкале, наряду с литологией. Конечно, такая «апатит-ортоклазовая» (по Моосу) оценка тоже далека от «алмазного» идеала кристаллографии, но все же выглядит вполне пристойно в сравнении с «кальцит-флюоритовой» стратиграфией и тем более «тектоническим гипсом».

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

Маслов А. В., Алексеев В. П. Осадочные формации и осадочные бассейны: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. 203 с.

Цейслер В. М. Формационный анализ: учебник. М.: Изд-во РУДН, 2002. 186 с.

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

Дополнительная

Вылцан И. А. Осадочные формации и их историко-генетические типы: учебное пособие. Томск: Изд-во ТГУ, 2000. 123 с.

Мальцева А. К., Крылов Н. А. Формационный анализ в нефтяной геологии. М.: Недра, 1986. 184 с.

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

Формации осадочных бассейнов. М.: Наука, 1986. 247 с.

Цейслер В. М. Основы учения о геологических формациях: учебно-методическое пособие. М.: Геокарт, ГЕОС, 2012. 166 с.

Янов Э. Н. Осадочные формации подвижных областей СССР. Л.: Недра, 1983. 236 с.

К теме III.1. «Формационный анализ и осадочные формации»

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

Геологические формации: терминологический справочник. М.: Недра, 1982. Т. 1. 353 с., Т. 2. 397 с.

Тимофеев П. П. Юрская угленосная формация Южной Сибири и условия ее образования. М.: Наука, 1970. 208 с. (Труды ГИН АН СССР. Вып. 198).

К теме III.2. «Формирование, классификация и распространение осадочных пород»

Пустовалов Л. В. Петрография осадочных пород. М.-Л.: Гостоптехиздат, 1940. Ч. 1. 476 с.; Ч. 2. 420 с.; Ч. 3. 66 с.

Ронов А. Б. Осадочная оболочка Земли (количественные закономерности строения, состава и эволюции). М.: Наука, 1980. 79 с.

Страхов Н. М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М.: Гостоптехиздат, 1963. 535 с.

К теме III.3. «Основные типы осадочных пород»

Атлас органических остатков в осадочных горных породах. М.: РГУ нефти и газа, 2013. 136 с.

Атлас структурных компонентов карбонатных пород. М.: ВНИГНИ, 2005. 240 с.

Карбонатные породы-коллекторы фанерозоя нефтегазоносных бассейнов России и сопредельных территорий. СПб.: Недра, 2005. Кн. 1. 260 с. Кн. 2. 156 с.

К теме III.4. «Другие осадочные породы»

Беленицкая Г. А. Мертвое море – очаг рассольно-соляной разгрузки недр (геология, происхождение, мифы). СПб.: Филолог. фак-т СПбГУ, 2013. 112 с.

Волохин Ю. Г. Мезозойское и кайнозойское кремненакопление в окраинных бассейнах востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2012. 434 с.

Мейнард Дж. Геохимия осадочных рудных месторождений: пер. с англ.. М.: Мир, 1985. 358 с.

К теме III.5. «Особые типы пород»

Петрология органических веществ в геологии горючих ископаемых. М.: Наука, 1987. 333 с.

Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981. 501 с.

Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимические и минералогические индикаторы вулканогенных продуктов в осадочных толщах. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 412 с.

К теме III.6. «Цикличность: общие представления»

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

Периодические процессы в геологии. Л.: Недра, 1976. 264 с.

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

К теме III.7. «Цикличность "простая" (ритмичность) и "механизированная"»

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

Нефтегазоносные комплексы юры Западной Сибири и их электрофизические модели / ИНГГ СО РАН. Новосибирск, 2014. 171 с.

Северное Приобье Западной Сибири. Геология и нефтегазоносность неокома (системно-литмологический подход) / Ю. Н. Карогодин и др. Новосибирск: Гео, 2000. 200 с.

К теме III.8. «Фациально-циклический анализ»

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

Строение и корреляция отложений тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. 227 с.

Строение и условия накопления основных угленосных свит и угольных пластов среднего карбона Донецкого бассейна. М.: Изд-во АН СССР. Ч. 1, 1959. 331 с. Ч. 2. 1960. 346 с.

К теме III.9. «Скорость осадконакопления»

Байков А. А., Седлецкий В. И. Количественные методы в геологии (скорости седиментации, тектонических движений, роста рифов, соляных структур). Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2005. 272 с.

Кукал З.д. Скорость геологических процессов: пер. с чешск. М.: Мир, 1987. 246 с.

Назаркин Л. А. Влияние темпа седиментации и эрозионных срезов на нефтегазоносность осадочных бассейнов. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1979. 336 с.

К теме III.10. «Перерывы в осадконакоплении»

Изучение стратиграфических перерывов при производстве геологической съемки: методические рекомендации / Е. Ю. Барабошкин, А. Б. Веймарн, Л. Ф. Копаевич, Д. П. Найдин. М.: МГУ, 2002. 169 с.

Шрок Р. Последовательность в свитах слоистых пород: пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит, 1950. 564 с.

Яблоков В. С. Перерывы в морском осадконакоплении и палеореки. М.: Наука, 1973. 216 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 218).

К теме III.11. «Уплотнение пород»

Волков В. Н. Генетические основы морфологии угольных пластов. М.: Недра, 1973. 136 с.

Методы изучения уплотнения терригенных пород при палеогеологических реконструкциях. М.: Наука, 1982. 144 с.

Сергеева Э. И. Эпигенез осадочных пород: учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. 152 с.

К теме III.12. «Выделение и классификация осадочных формаций»

Осадочные формации. Принципы и методы оценки рудоносности геологических формаций / Н. Н. Предтеченский, А. В. Македонов, А. Д. Петровский [и др.]. Л.: Недра, 1984. 228 с.

Основные закономерности строения и образования угленосных формаций и методы прогноза угленосности. Л.: Недра, 1985. 255 с. (Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер. т. 313).

Ронов А. Б. Стратисфера или осадочная оболочка Земли (количественное исследование). М.: Наука, 1993. 144 с.

К теме III.13. «Осадочные формации в рамках фиксизма»

Белоусов В. В. Основы геотектоники. М.: Недра, 1975. 264 с.

Хаин В. Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1973. 510 с.

Шатский Н. С. Геологические формации и осадочные полезные ископаемые. Избр. труды. Т. 3. М.: Наука, 1965. 346 с.

К теме III.14. «Плейт-тектоника и литогеодинамика»

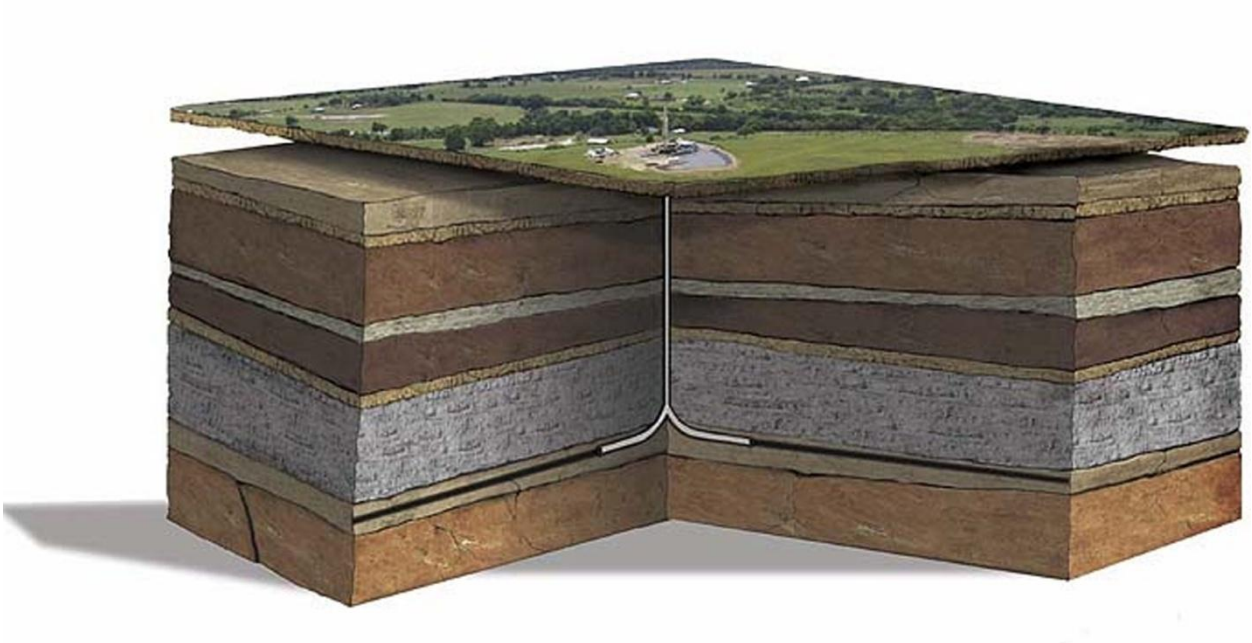
Беленицкая Г. А., Романовский С. И., Феоктистов В. П. Тектоно-седиментологическое моделирование и прогнозно-минерагенический анализ основных геодинамических групп рудоносных осадочных бассейнов России. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. 144 с. (Осадочные бассейны России. Вып. 5).

Рифовые, соленосные и черносланцевые формации России. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2015. 624 с.

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

ЧАСТЬ IV

МЕТОДОЛОГИЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ТОЛЩ



* * *

Представляется очевидным, что более широкий охват материала требует более широких обобщений. Принципиально это положение можно отнести и к уровню организации изучаемых объектов. Так, в первой части пособия были изложены представления о конкретных методах изучения конкретных же объектов (в основном, проб точечного характера вида 0D). Во второй части изложены сведения о фациальном составе отложений, что большей частью соответствует изучению палеоландшафтов (2D). В третьей части информация во многом сконцентрировалась на чередовании слоевых единиц по вертикали (1D), а также на объемном представлении осадочных толщ (3D).

Последний подход в настоящее время принято называть **бассейновым анализом** (basin analysis). Чаще всего он выполняется двумя путями, которые можно решать одновременно и схожими, и довольно различающимися способами. В современной практике геологических работ, которые преимущественно нацелены на обнаружение и изучение углеводородного сырья, *первый* их них – традиционный или собственно литологический (седиментологический), при котором ведущей целью является изучение осадочных бассейнов, вне зависимости от их размеров, строения, содержания тех или иных полезных ископаемых (в т. ч. УВ) и т. п. *Второй* предусматривает характеристику именно нефтегазоносных бассейнов – как обладающих конкретными ресурсами УВ, так и с их потенциальным содержанием.

Такой дуализм нашел полное воплощение в четвертой части пособия, завершающей его основное содержание. Она, с одной стороны, завершает логическую цепочку предыдущих частей, предоставляя объемные сведения об изучаемых объектах и показывая их в общем диапазоне геологических дисциплин, прежде всего в комплексе с тектоникой и стратиграфией. С другой стороны, важной составляющей данной части является «заточенность» на геологию нефти и газа, являющейся весьма специфической отраслью геологического знания.

Определенное внимание уделено современным проблемам, решаемым в настоящее время наукой и обществом и связанным с переходом на новый технологический уклад. Прежде всего, он связан с нанотехнологиями, которые активно используются в нефтегазовой отрасли. Однако собственно геологические исследования явно отстают от указанного процесса, что в полной мере относится к литологической проблематике. В таком положении дел скрыт существенный потенциал как для развития традиционных, так и для разработки/внедрения новых техник и технологий в область нефтегазовой литологии в целом, и в одно из ее направлений – фациальный анализ – в частности.

ОСАДОЧНЫЕ БАССЕЙНЫ: ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Первая половина IV части пособия посвящена развернутой (естественно, в относительном понимании, в условиях сжатого изложения материала) характеристике осадочных бассейнов (ОБ), которые, в отличие от седиментационных бассейнов, часто называют осадочно-породными, или ОПБ. Эти сведения продолжают сжатую характеристику ОПБ, начатую в гл. III.14.

IV.1. ЛИТОГЕОДИНАМИКА ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ

IV.1.1. Иерархические системы

Раздел продолжает рассмотрение иерархичности геологических объектов, в общем виде освещенное в п. I.1.1, более детально – для характеристики ландшафтов (см. табл. II.2.1, II.2.2) и особенно – цикличности (см. п. III.6.3).

В табл. IV.1.1 приведена иерархия геодинамически сопряженных геосфер. Из этих сведений следует, что «…отношение мощности (как в геологическом, так и в энергетическом смысле этого термина) геодинамических систем к длительности геодинамических циклов разного ранга является величиной с весьма узким диапазоном значений – 0,45 ± 0,1 см/год – и поэтому может быть квалифицировано как *внеранговая "геодинамическая константа"*. Ее физическая и геологическая реальность контролируются тем, что на ее основе получены реальные (с точностью до порядка) оценки характерной скорости дрейфа континентов и спрединга» (М. А. Гончаров и др., 2005, с. 425).

Отметим, что значение этой геодинамической константы почти совпадает со скоростью осадконакопления, определенной как 1-3 мм/год (см. п. III.9.2). Это является хорошим поводом для дальнейшего изучения вопросов коэволюции тектонических и седиментационных процессов в геологическом прошлом.

Таблица IV.1.1

Геодинамика иерархически соподчиненных геосфер

(М. А. Гончаров и др., 2005, с. 386-387; фрагменты приведены в табл. III.2.1)

Ранг	Геосфера *h*, км	Ареал	Процессы, структуры	Ранг ГЦ *t*, Ма	*h*/*t*, см/год
ГС-0	Вся Земля 6370	Повсеместно	Западная и северная компоненты дрейфа континентов, связанные с поднятием Антарктиды и опусканием Арктики по «правилу буравчика»	Цикл северного дрейфа 1700	0,37
ГС-1	Вся мантия 2900	Повсеместно	Созидание и распад суперконтинентов	Циклы Вилсона 650	0,45
ГС-2	Верхняя мантия 660-670	Под океанами	Субдукция, коллизия, спрединг	Циклы Бертрана 175-200	0,33-0,38
ГС-3	Астеносфера + литосфера	В зонах повышенного теплопотока (субдукции, коллизии, спрединга)	Двухъярусная конвекция:		
	ГС-3а 300-400		В зонах субдукции и коллизии – мантийные диапиры, впадины над ними, дугообразные желоба и зоны Беньофа или центробежно-вергентные складчато-покровные сооружения на периферии	?	?
	ГС-3б 100-220		В зонах коллизии — системы линейных продольных поднятий с «корнями» и впадин с «антикорнями»	Циклы Штилле 30	0,33-0,73
	ГС-3в 50-100		В зонах спрединга — системы линейных поперечных поднятий с корнями и впадин с антикорнями	?	?
ГС-4	Осадочный чехол 5-15	В зонах коллизии	Термофлюидная конвекция. Региональный метаморфизм. Антиклинории и синклинории, складки	Фазы складчатости 1-3	~0,50

Примечание. ГС – геодинамические системы; ГЦ – геодинамические циклы; циклы Вилсона, Бертрана и Штилле, по (В. Е. Хаин, 2000); *h* – мощность геосферы; *t* – длительность цикла в Ма (млн лет).

В табл. IV.1.2 приведены сводные данные по иерархии основных параметров осадочных бассейнов; в табл. IV.1.3 – их типизация, а на рис. IV.1.1 – основные последовательности выделенных типов.

Таблица IV.1.2

Иерархическая система стратифицированных осадочных образований (ориентировочные соотношения литологических, стратиграфических, тектонических и нефтегазоносных подразделений (Г. А. Беленицкая, 2007)

Ранг		Литологические тела (структурно-вещественные подразделения)[1]: основные	Литологические тела: дополнительные	Нефтегазоносные подразделения	Циклическое строение[2]	Мощность	Местные стратиграфические подразделения	Типы несогласий в подошве подразделений	Тектонические подразделения, сейсмотектонические проявления[3]	Латеральные ряды синфазных одноранговых тел[1]	Основная дисциплина	Литогеодинамическое районирование[4]	Нефтегазовое районирование[5]
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	А	Осадочная оболочка			Н	до >20 км		Структурное	Тектонический мегацикл Вилсона	Стратисфера	Литогеодинамический анализ		
	Б	Платформенный чехол			Н	до 10 (>20)км			Платформенный мегаэтап	Платформенный чехол		ЛгМп	НГМп
II		Вертикальный ряд ОБ; осадочный мегабассейн: ***Вертикальный ряд ЛгМк***		Нефтегазоносный мегакомплекс	Ц	до 10 (20) км		Структурное	Стадия тектонического мегаэтапа	Структурный (***литогеодинамический***) ярус		ЛгП	НГП
III		***Литогеодинамический мегакомплекс /ЛгМк/; вертикальный ряд ЛгК***			Н	1-n (10) км		Структурное	Тектонический цикл Бертрана	Структурный (***литогеодинамический***) этаж		ЛгО	НГО
IV	а	Осадочный бассейн /ОБ/; ***литогеодинамический комплекс /ЛгК/***		Нефтегазоносный комплекс	Н	0,n-n км	Комплекс	Структурное (угловое)	Стадия тектонического цикла	Структурный (***литогеодинамический***) подэтаж	Литогеодинамический анализ — формационный анализ	ЛгЗ	НГР
	б		*Осадочный суббассейн*		Н								
V	а	Формация *(литоформация, осадочная формация)*			Ц	0,n-1 (>2) км	Серия	Угловое (стратиграфическое)	Тектонический цикл Штилле	*Латеральный ряд синфазных формаций*			
	б		*Субформация; макроцикл формациеобразующий*	Природный резервуар, нефтематеринская свита, коллектор, флюидоупор	Н	n10-n100 (>1000) м		Стратиграфическое, эрозионное	Тектоническая фаза				
	в		*Член макроцикла; горизонт*		Ц	n10-n100 (>1000) м	Свита	Стратиграфическое, эрозионное		*Региональный литологический горизонт*	Литологический анализ		
VI		Парагенерация *(литофация, гилеация, элементарная породная ассоциация)*			Ц	n10-n100 м	Подсвита	Стратиграфическое					
VII		*Литома (многослой, элементарная литома, циклома)*			Н	0,0n-n10 м	Пачка	Стратиграфическое	Тектонический импульс				
VIII	а	Слой (*член литомы, цикломы)*			Ц	0,0n-10 (n10) м		Скрытое стратиграфическое, диастема	Сейсмотектоническая пульсация, осцилляция				
	б		*Циклит*		Н	< 0,01-0,n(n) м							
	в		*Член циклита (слоек)*		Н								

Примечание. [1]Курсив – наименования не общепринятые; полужирный курсив – наименования литогеодинамических эквивалентов. [2]Характер сочетания в вертикальном разрезе данного подразделения таксонов предшествующего ранга: Ц – циклическая повторяемость, Н – направленная изменчивость. [3]Мегацикл объединяет два мегаэтапа: океанически-коллизионный и платформенный. Платформенный мегаэтап составляют три стадии: раннеавлакогенная, плитная, активизационная. Наименования циклов разных порядков, по В. Е. Хаину. [4]ЛгЗ, ЛгО, ЛгП, ЛгМп – подразделения литогеодинамического районирования: зона, область, провинция, мегапровинция. [5]НГР, НГО, НГП, НГМп – подразделения нефтегазового районирования: район, область, провинция, мегапровинция (пояс).

IV.1.2. Классификация осадочных бассейнов и их строение

Таблица IV.1.3

Геодинамическая классификация осадочных бассейнов (Г. А. Беленицкая, 2007)

Геодинамические режимы		Классы геодинамических обстановок	Геодинамические виды осадочных бассейнов и их индексы[1]		
1		2	3		
ДЕСТРУКТИВНО-ДИВЕРГЕНТНЫЙ	РИФТОГЕННЫЙ И ПОСТРИФТОГЕННЫЙ	Рифтогенные внутриконтинентальные	Впадины внутриконтинентальных рифтов, авлакогены ранние эпиколлизионные, доплитные		**1**
			То же, поздние (синплитные)		**2**
			Надрифтовые впадины		**3**
			Сдвиговые бассейны в пределах рифтогенных систем		**4**
		Рифтогенные межконтинентальные	Бассейны межконтинентальных рифтов		5
	СПРЕДИН-ГОВЫЙ И ПОСТСПРЕДИН-ГОВЫЙ	Рифтогенные океанические	Бассейны океанических рифтов		16
		Пассивноокраинные	Бассейны пассивных окраин (стабильных)		6
			Бассейны зон активизации пассивных окраин		6А
КОНВЕРГЕНТНЫЙ	СУБДУКЦИОННЫЙ	Активноокраинные (островодужные и окраинноконти-нентальные)	Глубоководные желоба		17
			Преддуговые и междуговые троги		18
			Задуговые бассейны	Вторично-рифтовые бассейны активно-окраинных поясов (бассейны растяжения)	7
				Окраинные бассейны (окраинные моря)	8
				Краевые прогибы активно-окраинных поясов (раннеорогенные)	9
				Внутренние (межгорные) впадины актив-ноокраинных поясов (раннеорогенные)	м9
			Впадины областей перисубдукционной активизации		10
	КОЛЛИЗИОННЫЙ	Коллизионные	Краевые прогибы коллизионных поясов (позднеорогенные)		11
			Внутренние (межгорные) впадины коллизионных поясов (позднеоро-генные)		12
			Остаточные бассейны коллизионных поясов		13
			Впадины позднеколлизионных рифтов (тафрогенные)		14
			Впадины областей периколлизионной активизации (зон торошения)		15
ВНУТРИПЛИТНЫЙ	АКТИВИЗА-ЦИОННЫЙ ВНУТРИ-ПЛИТНЫЙ	Активизации внутриокеанической	Бассейны активизированных частей океанических плит		19
		Активизации внутриконтинентальной	Бассейны активизированных частей континентальных плит		**20**
	СТАЦИО-НАРНЫЙ ВНУТРИ-ПЛИТНЫЙ	Стабильно-океанические	Бассейны стабильных частей океанических плит		21
		Стабильно-континентальные	Бассейны стабильных частей континентальных плит		**22**

Примечание. Индексы без рамок – геодинамические виды осадочных бассейнов, характерные преимущественно либо для чехлов молодых и древних платформ (утолщенные цифры), либо для зон их сочленения со складчатыми поясами (тонкие цифры), индексы в квадратных рамках – характерные для складчатых поясов

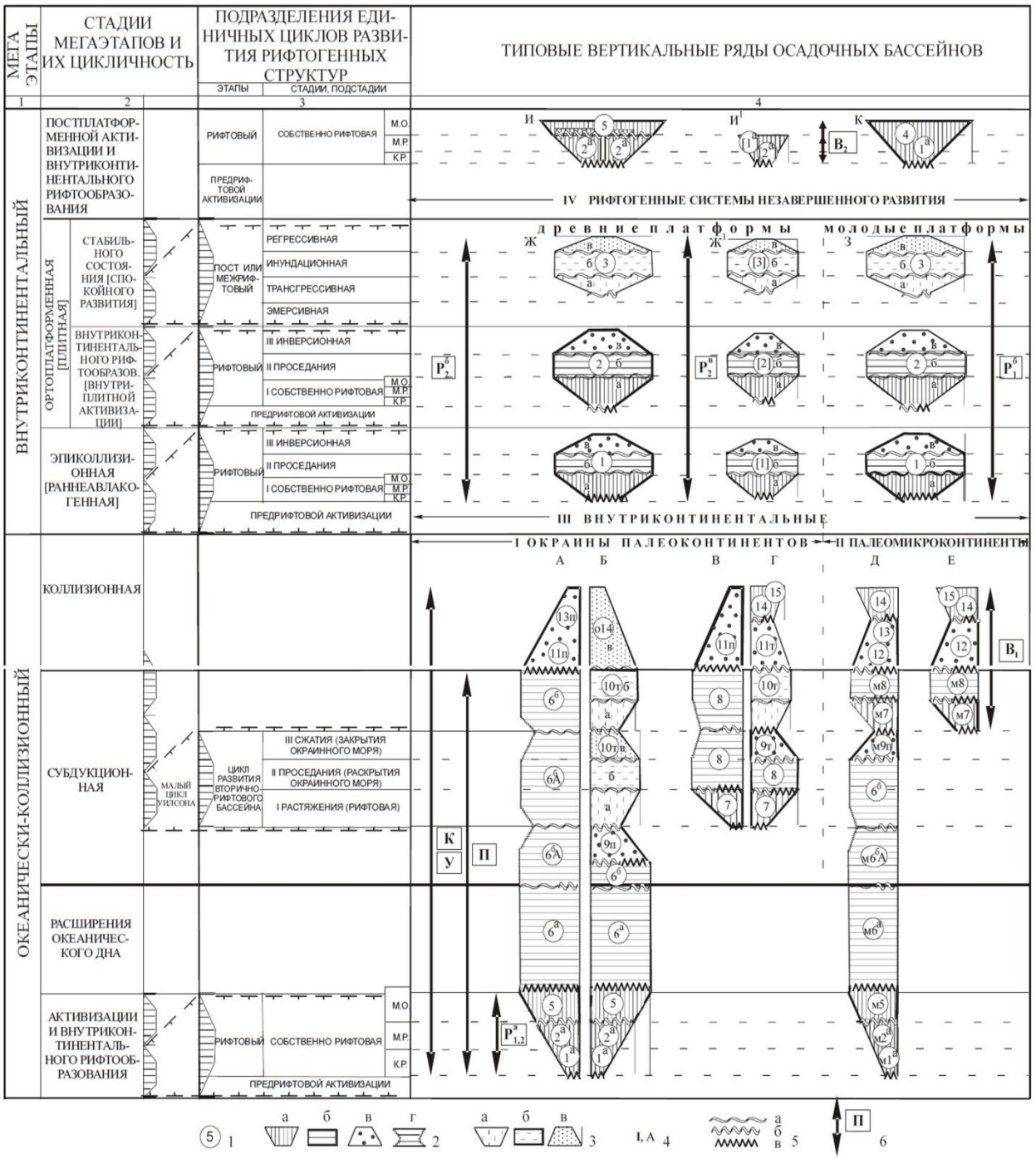


Рис. IV.1.1. Типовые вертикальные ряды осадочных бассейнов разных геодинамических типов (Г. А. Беленицкая , 2007):

1 – индексы геодинамических видов осадочных бассейнов (цифры соответствуют табл. IV.1.3); *2* – осадочные бассейны, развивающиеся на фоне различных геодинамических напряжений: а – растяжения, деструкции, б – проседания, активного прогибания, в – сжатия с локальным растяжением, г – активизации с рассеянной деструкцией и (или) сжатием на фоне прогибания; *3* – то же, на фоне напряжений слабой интенсивности; *4* – группы (I-IV) и типы (А-К) вертикальных рядов осадочных бассейнов: I – окраинноконтинентальные (А – месопотамский, Б – восточносибирский, В – предкарпатский, Г – амударьинский), II – микроконтинентальные (Д – иранский, Е – срединнотяньшанский), III – внутриконтинентальные (Ж – древних платформ, З – молодых платформ), IV – современных внутри- и межконтинентально-рифтовых систем незавершенного развития (И – постплатформенный, К – постколлизионный); *5* – преобладающие типы несогласия в основании осадочных бассейнов: а – стратиграфическое, б – угловое, в – структурное; *6* – палеогеодинамические виды осадочных разрезов (соответствуют табл. IV.1.4)

IV.1.3. Осадочные бассейны России

Таблица IV.1.4

Палеогеодинамическая типизация осадочных разрезов территории России
(Г. А. Беленицкая, 2007)

Классы	Подклассы	Виды	Подвиды		Индексы
1	2	3	4	5	6
ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ (ВНУТРЕННИХ ЧАСТЕЙ ПЛАТФОРМ)	МОЛОДЫХ ПЛАТФОРМ	Рифтогенные ранние (эпиколлизионные, тафрогенные)[1]	Масштаб деструкции континентальной коры	полная (с участками океанической коры)	$P_1^а$
				значительная (внутриконтинентальные рифты)	$P_1^б$
				ограниченная (грабены, рассеянно-рифтовые системы)	$P_1^в$
		Узловые[3]		с участками океанической коры	Σ_1^0
				значительная	Σ_1
		Стабильные (внерифтовые)			C_1
	ДРЕВНИХ ПЛАТФОРМ	Рифтогенные сквозного развития и синплитные[2]	Масштаб деструкции и интенсивность синплитной активизации	значительные	$P_2^б$
				ограниченные	$P_2^в$
		Узловые[3]		значительные	Σ_2
		Стабильные (внерифтовые)			C_2

Классы	Подклассы	Виды	Подвиды		Индексы
1	2	3	4	5	6
ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ (ЗОН СОЧЛЕНЕНИЯ ПЛАТФОРМ СО СКЛАДЧАТЫМИ ОБЛАСТЯМИ)		Краевые			К
		Перикратонные			П
		Угловые (схождения краевых систем)		с участками океанической коры	У°
				с континентальной корой	У
СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ		Впадины синсубдукционные и синколлизионные			B_1
		Впадины активизационные (эпиколлизионные)[4]			B_2

Примечание. 1. Виды и подвиды разрезов выделены и названы по типоморфным палеогеодинамическим обстановкам. 2. Рифтогенные виды включают плечевые (пририфтовые, обычно приподнятые) блоки. 3. Узловыми видами (литогеодинамическими узлами) названы участки латерального сочленения или пересечения рифтогенных систем между собой или с иными линеаментными зонами – трехлучевые, перекрестные и др. 4. Впадины с унаследованным развитием обозначаются индексом $B_{1,2}$.

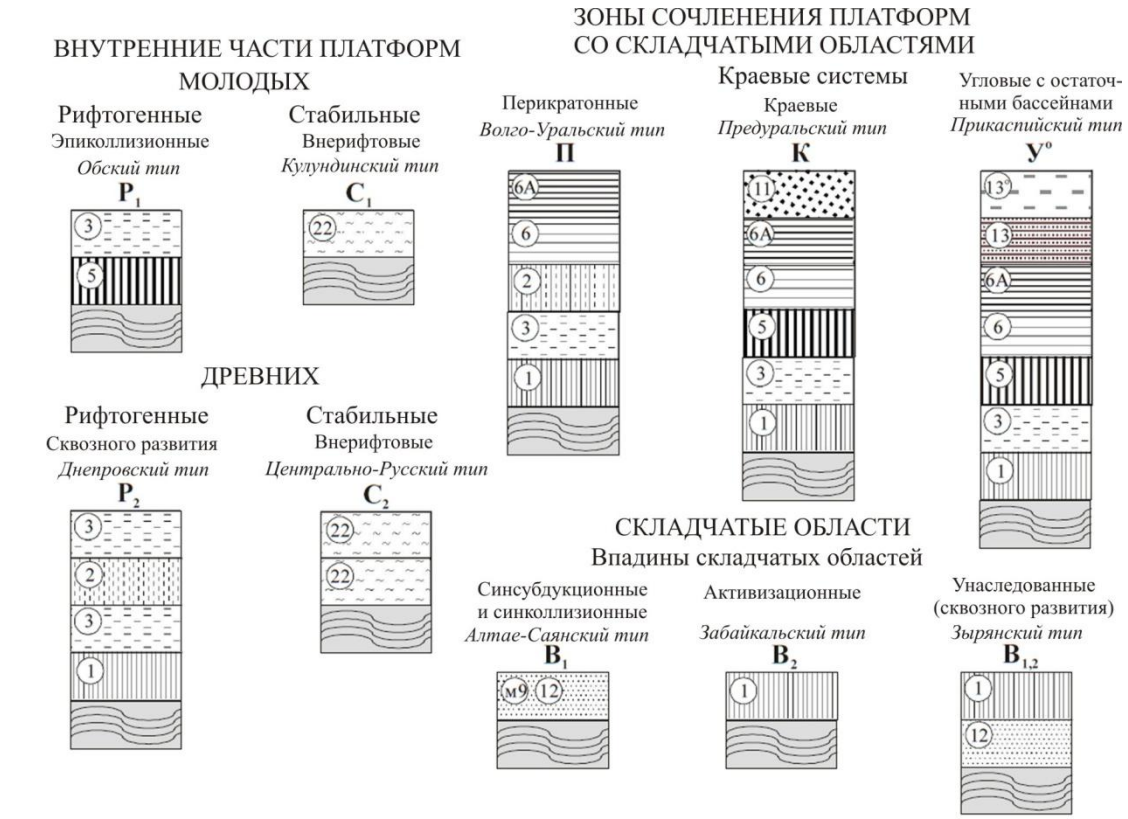


Рис. IV.1.2. Модели основных палеогеодинамических типов осадочных разрезов – вертикальных рядов осадочных бассейнов (Г. А. Беленицкая, 2007):

Индексация разрезов см. в табл. IV.1.4; цифры в кружках – виды осадочных бассейнов (см. табл. IV.1.3); в основании везде складчатый (или складчато-метаморфический) фундамент

IV.2. ТЕКТОНИКА И ЛИТОЛОГИЯ

IV.2.1. Конседиментационная тектоника

Излагаемые сведения являются продолжением примеров, приведенных в п. III.11.2 (см. рис. III.11.7 и др.).

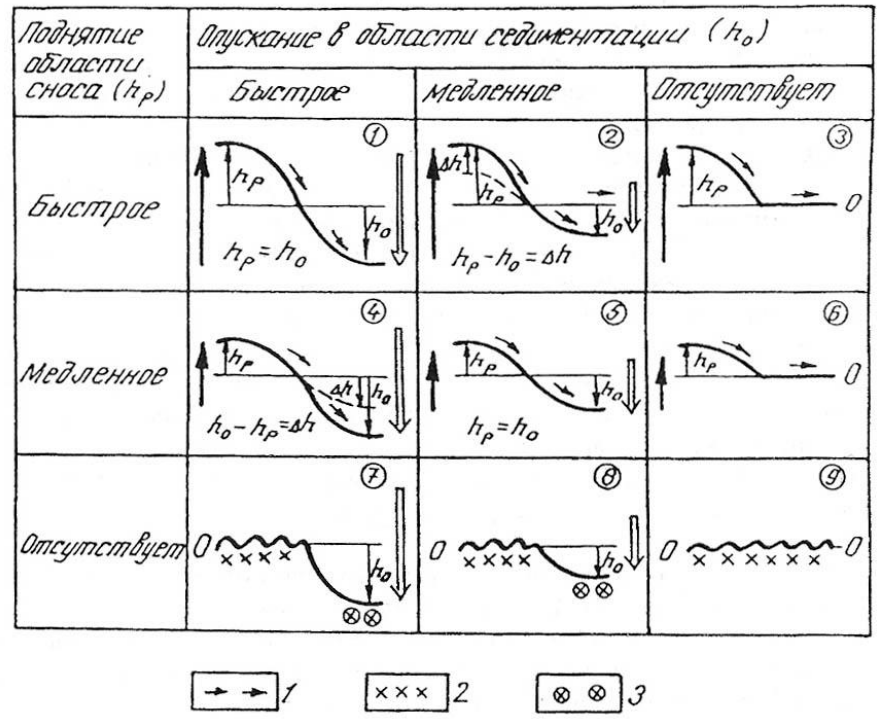


Рис. IV.2.1. Варианты взаимоотношений темпов роста питающей области сноса (h_p) и опускания дна приемного водоема (h_c):

1 – перемещение материала; *2* – наземное выветривание (гипергенез); *3* – подводное выветривание (гальмиролиз)

Области 1, 5 – благоприятны для лавинной седиментации с темпом осадочного породообразования более 100 Б (1 Б = 1 мм/тыс. лет = м/млн. лет)

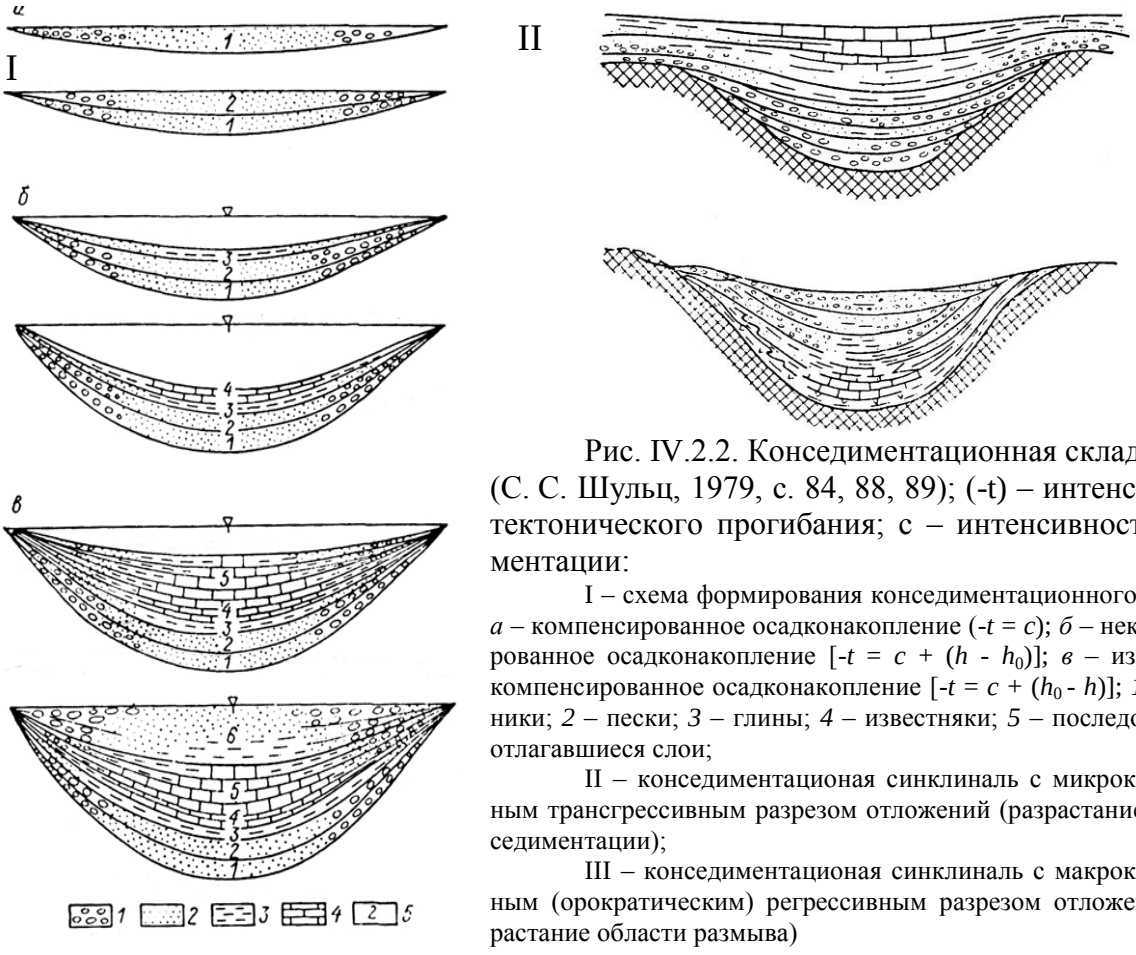


Рис. IV.2.2. Конседиментационная складчатость (С. С. Шульц, 1979, с. 84, 88, 89); (-t) – интенсивность тектонического прогибания; с – интенсивность седиментации:

I – схема формирования конседиментационного прогиба: *а* – компенсированное осадконакопление ($-t = c$); *б* – некомпенсированное осадконакопление [$-t = c + (h - h_0)$]; *в* – избыточное компенсированное осадконакопление [$-t = c + (h_0 - h)$]; *1* – галечники; *2* – пески; *3* – глины; *4* – известняки; *5* – последовательно отлагавшиеся слои;

II – конседиментационая синклиналь с микрокластогенным трансгрессивным разрезом отложений (разрастание области седиментации);

III – конседиментационая синклиналь с макрокластогенным (орократическим) регрессивным разрезом отложений (разрастание области размыва)

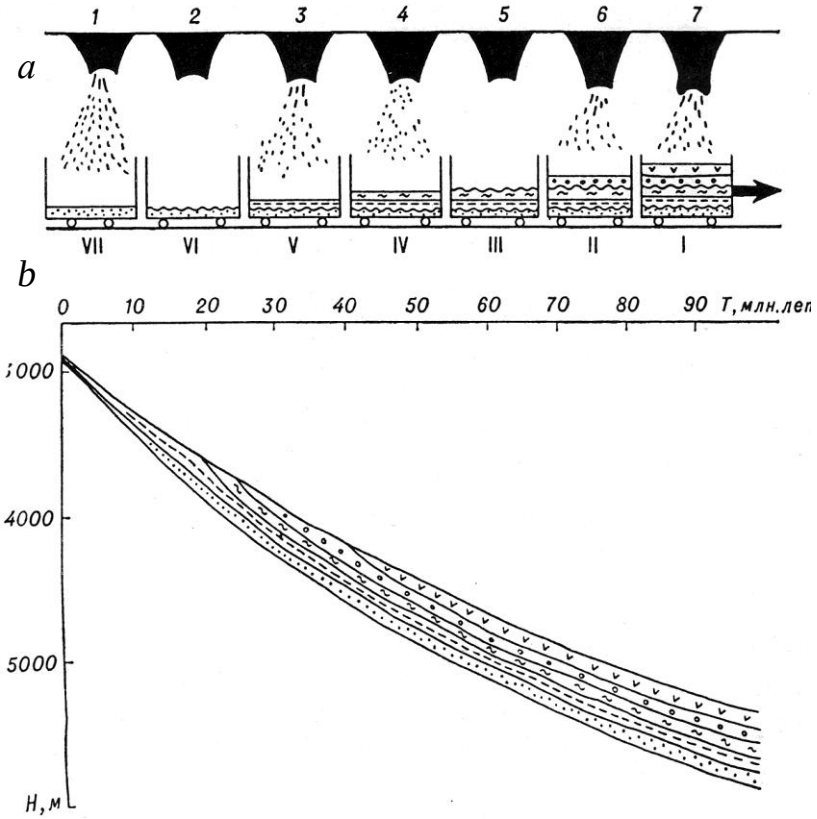


Рис. IV.2.3. Спрединговый осадочный конвейер (*a*) и его отображение на кривую Склейтера (*b*) (С. И. Романовский, 1988, с. 43)

Кривая Склейтера отражает закономерный рост глубин океанического ложа с возрастом, что объясняется утяжелением океанической плиты за счет ее остывания и увеличения толщины (B. Parsons, J. G. Sclater, 1977).

«Платформа» *I* прошла под «бункером» *1* около 80-100 млн лет назад. На ее дне образовался слой осадков мощностью h_1 (фактически это не литологический слой, а стратиграфическая единица разреза, поскольку время пребывания платформы под одним бункером порядка 10 млн лет). Под бункером *2* осадки на платформу не поступали. Это время неотложения осадков, чему в разрезе будет соответствовать стратиграфический перерыв. То же произойдет, когда платформа *I* окажется под бункером *5*. Когда платформа *I* отойдет от бункера *7*, в ней уже будут осадки, возраст которых 80-100 млн лет. В разрезе будет вскрыта полная (с двумя крупными перерывами) последовательность осадочных образований. Если тот же процесс отобразить на кривую Склейтера, то легко представить себе динамику этого спредингового осадочного конвейера.

Итоговый результат изображенного конвейера по сути был приведен на рис. III.14.8, а для Южной Атлантики. Ниже дана его временна́я «развертка», соответствующая рис. III.14.8, с. В дополнение к основной схеме С. И. Романовского показана стабильная приуроченность карбонатных осадков к оси рифта, в то время как на окраинах континентальных блоков накапливались преимущественно терригенные осадки (см. рис. III.14.8).

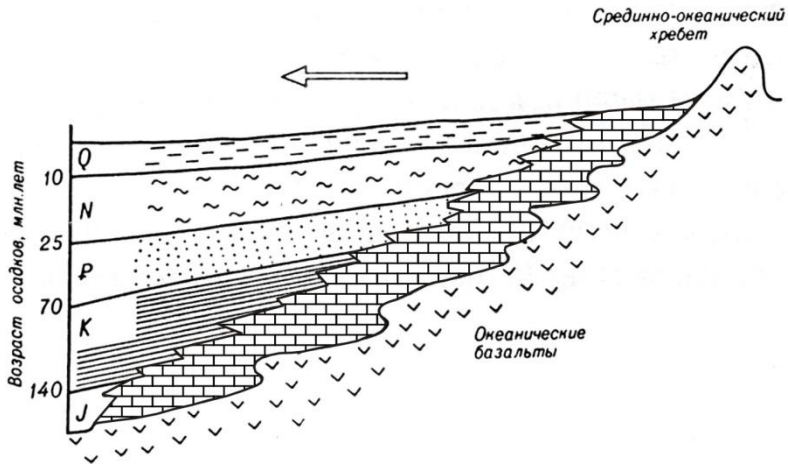


Рис. IV.2.4. Закономерное изменение возраста осадочного покрова по мере удаления от срединно-океанического хребта (С. И. Романовский, 1988, с. 44; с дополнением)

IV.2.2. Блоковая тектоника

Блоковая делимость литосферы соответствует иерархичности, рассмотренной для периодичности геологических процессов (см. п. III.6.3). Отношения большего и меньшего блоков по своим размерам находятся в диапазоне от 2 до 5, в более узком плане – от 2,7 до 3,5, вдвое превышая *золотое сечение*, равное 1,62: соотношение a и b при b > a, когда справедливо b/a = (a + b)/b. Примеры блоковой делимости показаны на рис. IV.2.5 и IV.2.6.

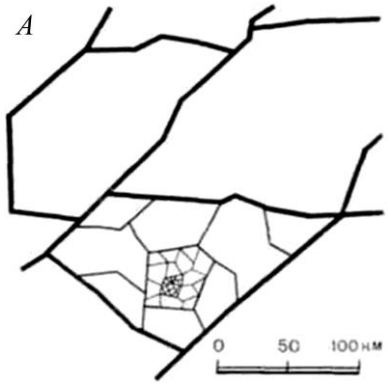


Рис. IV.2.5. Иерархия блоковости (М. А. Садовский, 1986 и др.):

A – соотношение блоков как «вкладышей» по геометрической прогрессии с показателем K ≈ 3,5± 0,9;

B – борт карьера для добычи горной породы с ярко выраженным блочным строением породы

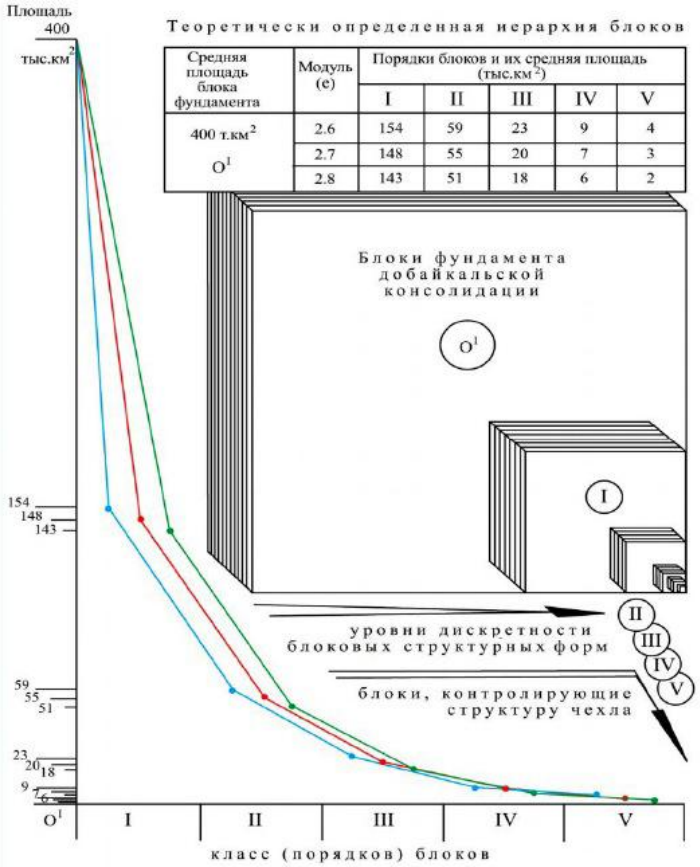


Рис. IV.2.6. Теоретически определенная дискретность в распределении блоковых структурных форм Сибирской платформы (В. Б. Арчегов, 2012)

При взаимоотношениях **слоев**, имеющих различные физические параметры, вертикальные (или блоковые) подвижки неизбежно вступают во взаимодействие с горизонтальными или латеральными, что иллюстрирует рис. IV.2.7.

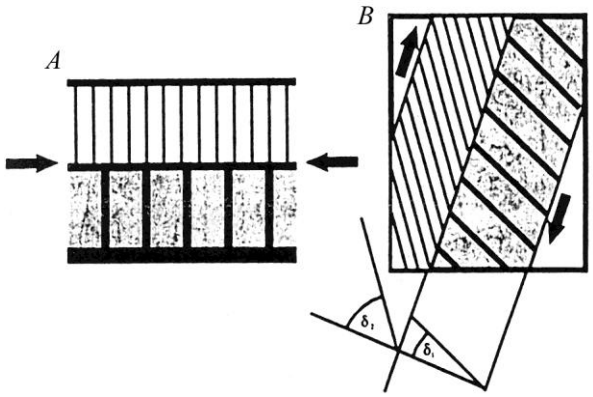


Рис. IV.2.7. Преломление кливажа в осадочном ритме, состоящем из слоя (песчаника (внизу) и глинистого сланца (вверху) (М. А. Гончаров и др., 2005, с. 158):

A – на предскладчатом этапе при небольшом горизонтальном укорочении и утолщении слоев в обоих слоях возник вертикальный кливаж;

B – при складкообразовании кливаж в слое с меньшей вязкостью (глинистого сланца) оказался сдвинут на больший угол (δ_1), чем в слое с меньшей вязкостью (песчаника): δ_2.

При значительном контрасте вязкости предскладчатый этап практически отсутствует и наблюдается взаимное «проскальзывание» слоев, с формированием в маловязких слоях кливажа, параллельного наслоению (при отсутствии такового в более вязких).

Данное явление положено в основу **динамико-флюидной модели** (ДФМ или DFM) В. Б. Писецкого, основные положения которой сводятся к следующему:

« – временная и пространственная дискретность седиментационного процесса порождает в осадочной толще дефектную или, в терминах классической физики (Ландау Л. Д., 1987), дислокационную структуру, которая "запомнила" все периоды смены седиментационных циклов и событий;

– дефектная структура массива определяет последовательность развития процесса его разрушения, как во времени, так и в пространстве бассейна;

геометрия элементов структуры разрушения совпадает с организованностью осадочной толщи по формационному принципу;

– множество дискретных элементов, выделенных системой замкнутых друг на друга трещин, объединяются в согласованные по геометрии ансамбли в пределах стратиграфических единиц одного порядка дефектности» (В. Б. Писецкий, 2005, с. 9).

Пример реализации ДФМ приведен на рис. IV.2.8.

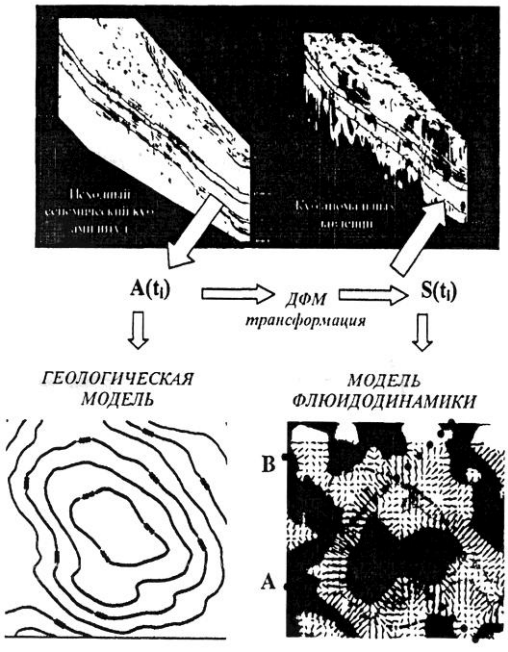


Рис. IV.2.8. Концепция прогноза флюидодинамической модели осадочного чехла по сейсмическим данным (В. Б. Писецкий, 2005, с. 24)

IV.2.3. Коэволюция процессов текто- и седиментогенеза

Распределение основных типов осадочных пород для различных тектонических структур показано на рис. IV.2.9 и IV.2.10 (сведения об авторе чертежей, Г. А. Каледе см. в п. II.9.2).

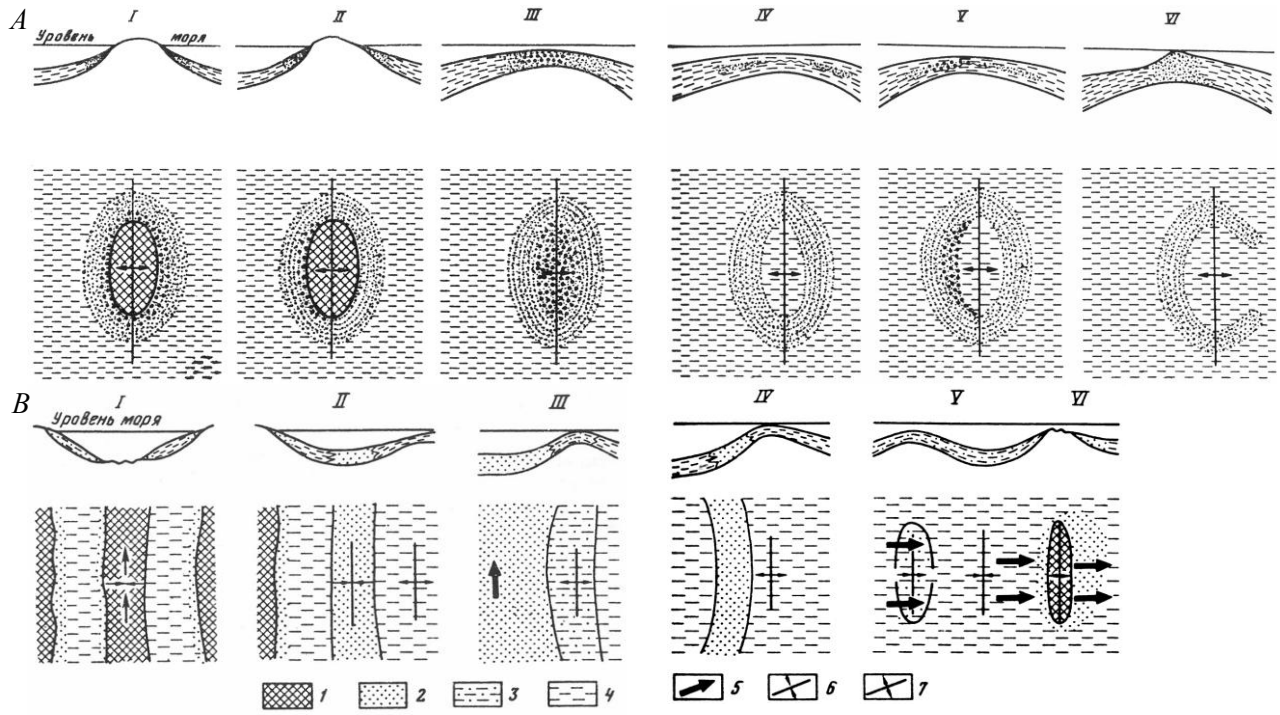


Рис. IV.2.9. Типы изменчивости (I-VI) отложений на локальных структурах и образование в них литологических ловушек (Г. А. Каледа, 1985, с. 98-99):

A – морские кластические отложения в условиях волнений; *B* – отложения течений на локальных структурах; *I* – размыв отложений в прогибе; *II* – накопление грубых отложений в прогибе; *III* – накопление грубых отложений в прогибе и на одном крыле поднятия, а также среднезернистых глинистых на другом крыле; *IV* – накопление грубых отложений на одном крыле поднятия; *V* – накопление относительно грубозернистых отложений на своде поднятия; *VI* – размыв течением поднятия и широкое развитие грубозернистых отложений на одном его крыле; *1* – зона размыва; *2* – грубые песчанистые отложения; *3* – песчано-глинистые отложения; *4* – глинистые отложения; *5* – направление течений; *6* – ось прогиба (синклинали); *7* – ось поднятия (антиклинали)

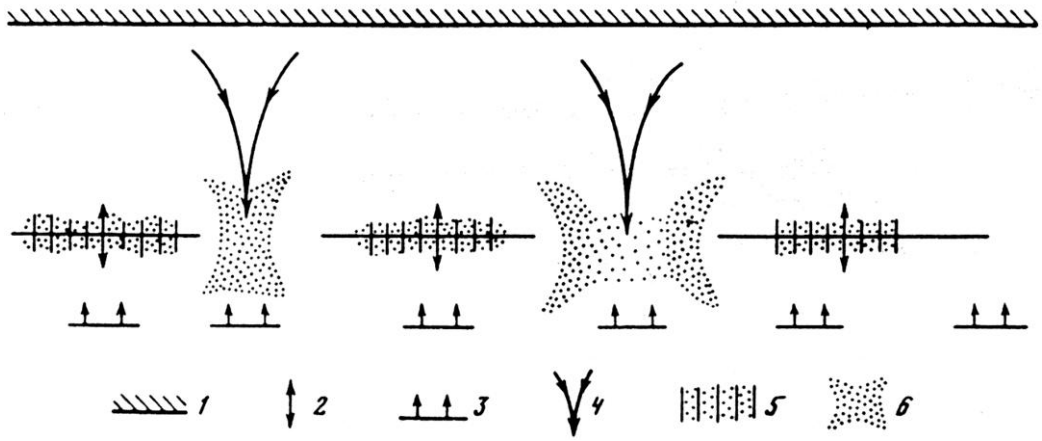


Рис. IV.2.10. Схема размещения грубозернистых отложений на структурах в прибрежной зоне при одновременном действии волнений и разрывных течений (Г. А. Каледа, 1985, с. 84):

1 – берег; *2* – оси антиклиналей; *3* – фронт волны и направление волнений; *4* – направление разрывных течений; *5* – накопление грубых осадков в зонах максимальных донных скоростей волнения на сводах антиклиналей; *6* – накопление грубых осадков на периклиналях в зонах разрывных течений

На рис. IV.2.11 и IV.2.12 приводятся итожащие разделы IV.1 и IV.2 сведения, которые иллюстрируют как определенную общую взаимосвязь состава песчаников с осадочными бассейнами разного происхождения, так и принципиальную взаимозависимость процессов текто- и седиментогенеза для конкретного объекта исследования.

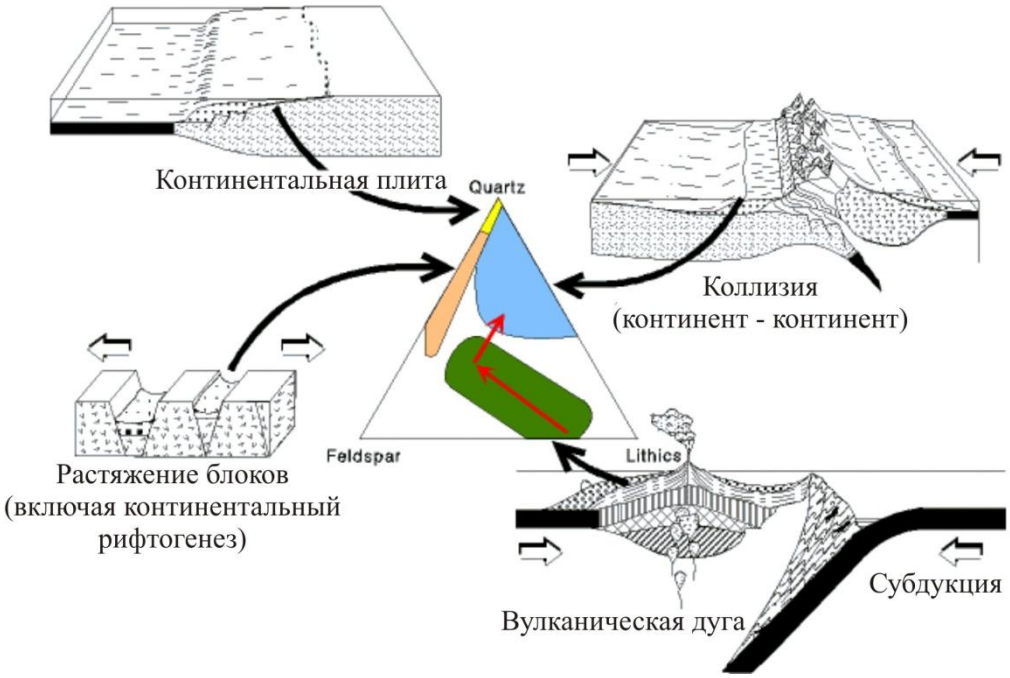


Рис. IV.2.11. Распределение типов песчаников в различных геодинамических режимах, иллюстрирующее их происхождение (Sedimentary Tectonics: SEPM STRATA)

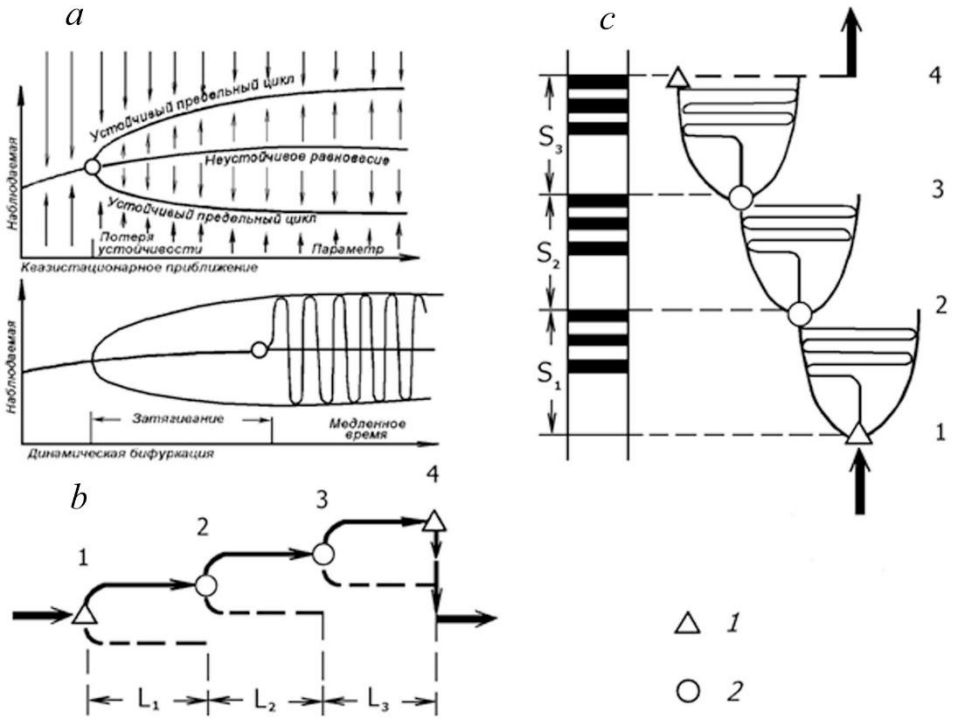


Рис. IV.2.12. Механизм коэволюции процессов текто- и седиментогенеза для нижнеплитного комплекса Западно-Сибирской плиты:

a – схема бифуркации (вверху) и затягивание процесса устойчивости при динамической бифуркации (внизу);

b – последовательное вовлечение блоков в процесс осадконакопления, с шагом L_n;

c – последовательное наращивание разреза с формированием комплексов отложений (литоциклов) S_m. В колонке зачернены отрезки с *закрепленными* в разрезе отложениями (в соответствии со схемой Дж. Баррелла: см. рис. III.10.7):

1 – переход на более высокий иерархический уровень, *2* – точки бифуркации

IV.3. СТРАТИГРАФИЯ И ЛИТОЛОГИЯ

IV.3.1. Структура и принципы стратиграфии

Стратиграфия (греч. strata – слой + grapho – пишу) – «раздел геологии, изучающий последовательность формирования комплексов горных пород в разрезе земной коры и первичные их соотношения в пространстве. Стратиграфия обеспечивает историзм всех отраслей геологии, создавая геохронологическую основу для изучения геологических процессов, в т. ч. полезных ископаемых осадочного генезиса для периодизации истории развития геологических объектов, регионов и земной коры в целом. Стратиграфия лежит в основе построения карт геологического содержания, тесно связана с исторической геологией, палеонтологией, геохронологией, литологией, петрографией, палеогеографией, геологией полезных ископаемых» (Геологический …, 2012, т. 3, с. 154).

Взаимоотношения стратиграфии с основными геологическими науками, занимающимися изучением осадочных толщ, показаны на рис. IV.3.1, а ее «внутренняя» структура – на рис. IV.3.2.

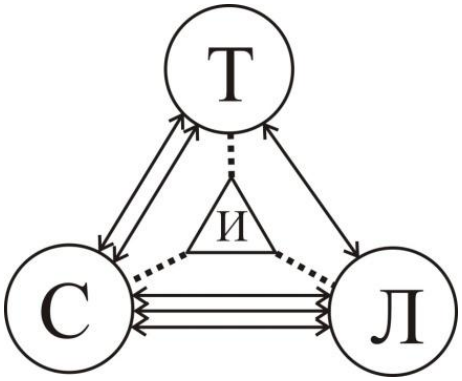


Рис. IV.3.1. Взаимоотношение основных отраслей геологического знания при изучении осадочных толщ (Т – тектоника, С – стратиграфия, Л – литология):
И – связывающая все эти направления иерархичность.
Количество стрелок определяется теснотой связи

Рис. IV.3.2. Структура стратиграфии (А. И. Жамойда, 2011, с. 131)

Из приведенных сведений отчетливо следует позиционирование стратиграфии как самостоятельной дисциплины/отрасли геологического знания, что является незыблемым для советской/российской геологии. Существенно иначе обстоит дело в зарубежной (прежде всего североамериканской) геологии, что было показано на рис. Вв. 7.

К настоящему времени тесная и неразрывная связь седиментологии/литологии и стратиграфии в зарубежной геологии является аксиоматичной. Именно этот факт во многом привел к оформлению двух подходов к стратиграфии, которые можно условно назвать «европейским» и «североамериканским». В первом случае в основе лежит единый хроностратиграфический подход (не исключающий иной информации, но только в виде дополнительных сведений). Во вто-

ром используется множественная стратиграфия, состоящая из самостоятельных направлений, нацеленных на выделение естественных геологических тел.

Фундаментальную базу стратиграфии составляют ее **принципы**. Единого взгляда на их количество нет (оно обычно варьирует от 3-5 до 9-12), что иллюстрирует табл. IV.3.1.

Таблица IV.3.1

Принципы стратиграфии

<table>
<tr><th colspan="2">В. А. Прозоровский, 2003; Д. Л. Степанов, М. С. Месежников, 1979</th><th colspan="2">Ю. Б. Гладенков, 2004</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Собственно стратиграфические</td><td>принцип последовательности напластования геологических тел (Н. Стенона)</td><td rowspan="2">Фундаментальные</td><td>принцип Стенона или «закон суперпозиции»: в ненарушенной последовательности осадочных слоев верхний слой моложе того, на котором он залегает</td></tr>
<tr><td>принцип объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений (Л. Л. Халфина - Д. Л. Степанова)</td><td>принцип неповторимости стратиграфических подразделений во времени (Степанова – Месежникова)</td></tr>
<tr><td colspan="3">принцип гомотаксальности (Т. Гексли): гомотаксальность (греч. homo – равный, одинаковый; taxis – порядок, расположение) – сходство в последовательности (порядке) напластования в разрезах различных слоев, содержащих одинаковые или близкие комплексы органических остатков, но не обязательно являющихся вполне одновозрастными</td></tr>
<tr><td colspan="3">принцип хронологической взаимозаменяемости стратиграфических процессов (С. В. Мейена)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Общегеологические</td><td colspan="3">принцип актуализма (Ч. Ляйеля)</td></tr>
<tr><td>принцип необратимости геологической и биологической эволюции (Л. Долло)</td><td colspan="2">–</td></tr>
<tr><td colspan="3">принцип неполноты стратиграфической и палеонтологической летописи (Ч. Дарвина)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Седиментологические</td><td colspan="3">принцип фациальной дифференциации одновозрастных отложений (А. Грессли - Э. Реневье)</td></tr>
<tr><td>принцип возрастной миграции граничных поверхностей супракрустальных геологических тел (Н. А. Головкинского)</td><td colspan="2">–</td></tr>
</table>

Формулировка основных, собственно стратиграфических принципов выглядит следующим образом (А. И. Жамойда, 2011).

«Принцип последовательности образования геологических тел (принцип Стенона): Временны́е отношения "раньше/позже" между геологическими телами определяются их первичными пространственными отношениями – "ниже/выше" и (или) генетическими связями».

«Принцип объективной реальности и неповторимости (уникальности) стратиграфических подразделений (принцип Халфина – Степанова): стратиграфические подразделения (стратоны), представляя собой реальный результат геологических событий, объективно отражают суть этих событий и не повторяются во времени и в пространстве».

Принцип Гексли. «Стратиграфическая корреляция конкретных разрезов, если непосредственное прослеживание невозможно, осуществляется сопоставлением гомотаксальных, т. е. идентичных последовательностей сходных признаков, в том числе обстановок и событий прошлого».

Принцип Мейена. «Различное частично перекрывающееся площадное распределение и комплексирование стратиграфических признаков или событий, ими отображаемых, обеспечивают хронологическую взаимозаменяемость тех и других, являющуюся основой внутри- и межрегиональной, вплоть до планетарной корреляции по серии признаков наибольшего веса».

IV.3.2. Геологическое время и стратиграфические шкалы

В основе стратиграфии лежит геологическое время (рис. IV.3.3), на базе которого разрабатываются стратиграфические шкалы (рис. IV.3.4, IV.3.5).

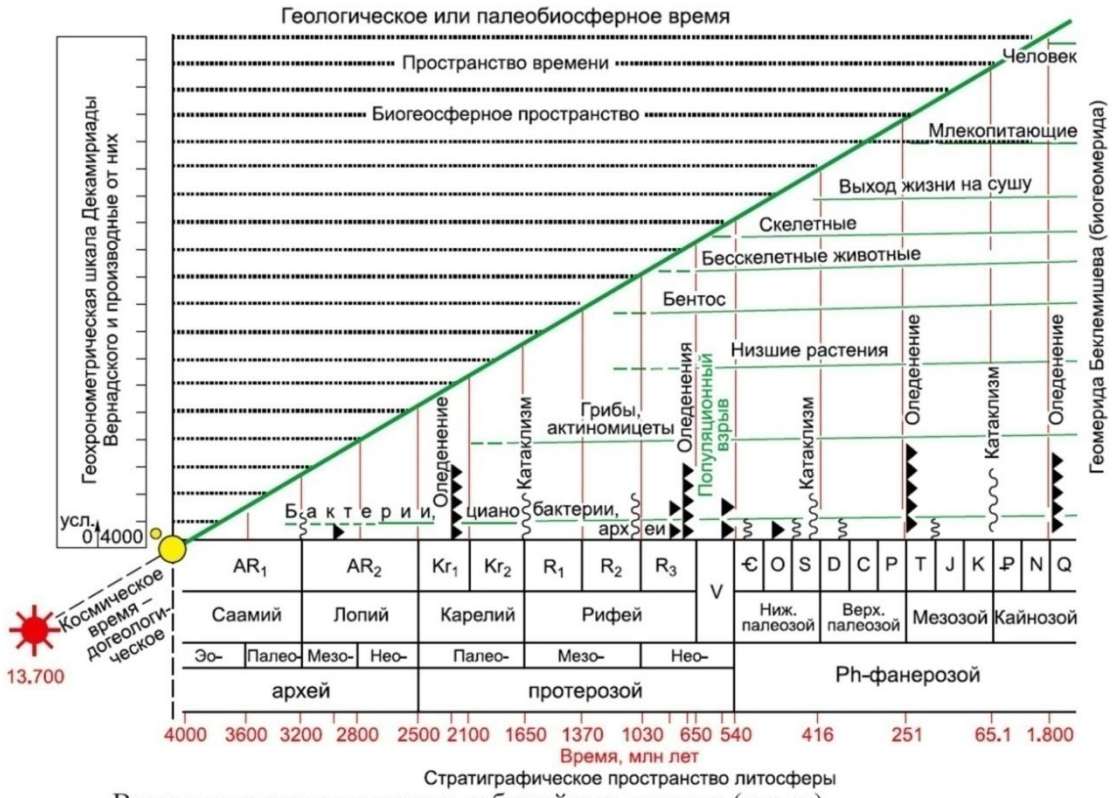


Рис. IV.3.3. Геологическое или палеобиосферное время (Б. С. Соколов, 2010)

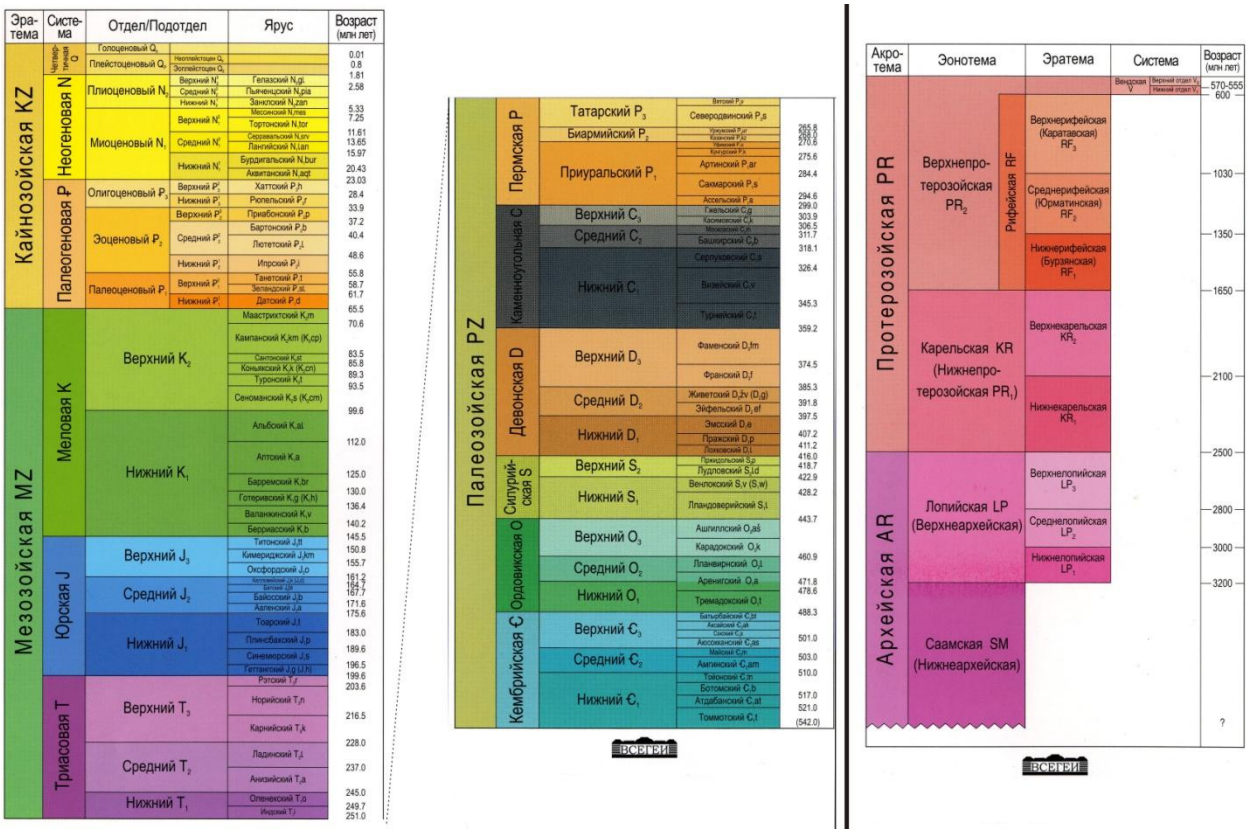


Рис. IV.3.4. Общие стратиграфические шкалы (ОСШ) фанерозоя и докембрия (Стратиграфический кодекс России, 2006)

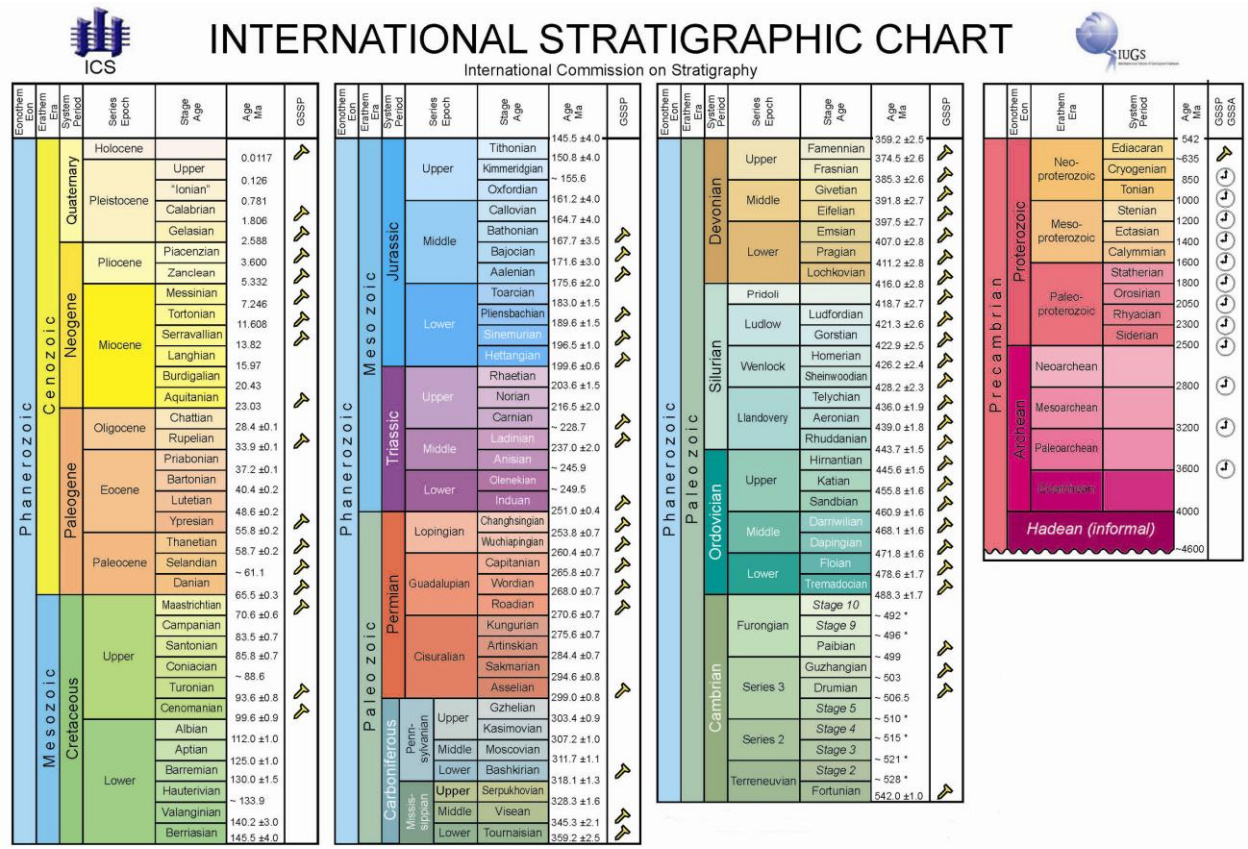


Рис. IV.3.5. Международная стратиграфическая шкала (МСШ) – 2015

На МСШ показаны т. н. «**золотые гвозди**» (golden spike), правильно именуемые «Global Standart Stratotype Section and Point – (GSSP)». Дословно это переводится как «глобальный стратотипический разрез и точка», а в более распространенном варианте – «точка глобального стратотипа границы (ТГСГ)». Сущность этого подхода заключается в строгой фиксации нижних границ ярусов геохронологических границ конкретной точкой: условным (а иногда и фактическим: рис. IV.3.6) вбитым гвоздем в конкретную границу на конкретном разрезе. Всего к настоящему времени «вбито» 65 «гвоздей» из 100 требуемых (рис. IV.3.7).

Рис. IV.3.6. GSSP, в буквальном смысле «вбитые» в границу отложений криогенового и эдикарского ярусов (630 млн лет) в типовом разрезе Австралии. Дырки около «гвоздя» – следы от взятия проб

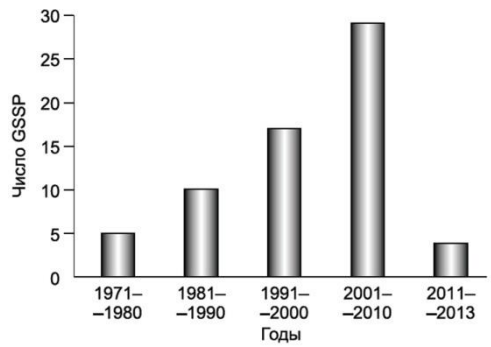


Рис. IV.3.7. Распределение числа ратифицированных GSSP по десятилетиям (А. С. Алексеев, 2015)

IV.3.3. Основные (региональные и местные) стратиграфические подразделения

Таблица IV.3.2

Стратиграфические подразделения в разных кодексах
(жирным шрифтом выделены основные подразделения)

А. Стратиграфический кодекс России (1992, 2006)

Основные подразделения					Специальные литостратиграфические подразделения
общие		региональные		местные	
Акротема Эонотема Эратема Система Отдел Ярус Зона	Раздел Звено Ступень	**Горизонт** Лона	Слои с географическим названием	Комплекс **Серия** **Свита** Пачка	Толща Пачка Слой (пласт) Маркирующий горизонт Органогенные массивы Стратогены

В. Североамериканский стратиграфический кодекс (1983, 2005): материальные подразделения

Литостратиграфические (Lithostratigraphic)	Литодемические (Lithodemic)		Магнитополярные (Magnetopolarity)	Биостратиграфические (Biostratigraphic)	Педостратиграфические (Pedostratigraphic)	Аллостратиграфические (Allostratigraphic)
Надгруппа (Supergroup) Группа (Group) **Формация (Formation)** Пачка (Member) Слой (и) или поток Bed (s) or Flow (s)	Надсвита (Supersuite) Свита (Suite) Литодема (Lithodeme)	Комплекс (Complex)	Надзона полярности (Polarity Superzone) Зона полярности (Polarity Zone) Подзона полярности (Polarity Subzone)	Биозона (интервал, комплексная зона, эпиболь) (Biozone: Interval, Assemblage or Abundans) Подбиозона (Subbiozone)	Геосоль (Geosol)	Аллогруппа (Allogroup) Аллоформация (Alloformation) Аллопачка (Allomember)

Основная картировочная единица отечественного кодекса – **свита** – как правило, соответствует **формации** в североамериканском СК (см. табл. III.1.1).

СК России	Североамериканский СК
Свита – это основная таксономическая единица местных стратиграфических подразделений, основная картируемая единица при средне- и крупномасштабной геологической съемке и первичном расчленении разреза по скважинам. Она представляет собой совокупность развитых в пределах какого-либо геологического района отложений, которые отличаются от ниже- и вышележащих специфическими литолого-фациальной и палеонтологической (при наличии остатков организмов) характеристиками, вещественными и структурными (отсутствие значительных перерывов) единством и характером границ.	**Формация** – основное подразделение в литостратиграфической классификации. Это тело горной породы, определенное по литологическим признакам и стратиграфическому положению; формация в основном слоистая, но не обязательно и картируется на поверхности Земли или прослеживается под ее поверхностью. Должна иметь стратотип. Официальное название составное: из географического названия (стратотипической местности или пункта стратотипа), литологического термина и слова «формация» (например, формация песчаников Квин).

Главное отличие этих подразделений заключается в том, что свита должна ограничиваться *изохронными* границами, а границы формаций могут быть *диахронными*, то есть «скользить» по временно́му разрезу.

Для региональных стратиграфических построений используется *горизонт*, которому отвечают совокупности гомо- или гетерофациальных горных пород, сформировавшихся в определенный этап геологической истории региона (см. рис. IV.3.8). Однако этот термин более присущ поверхностям раздела, что будет показано в следующей теме.

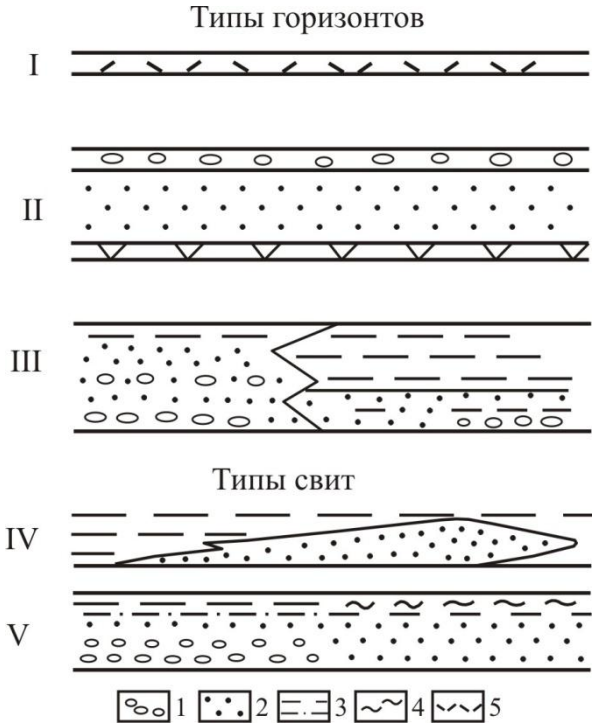


Рис. IV.3.8. Горизонты и свиты (Ю. Б. Гладенков, 2004, с. 18):

I-III – типы горизонтов: I – маркирующий горизонт, II – горизонт между двумя маркирующими горизонтами, III – горизонт-регионарус; IV, V – типы свит: IV – свита-формация, V – хроносвита; *1-5* – породы: *1* – конгломераты, *2* – песчаники, *3* – алевролиты, *4* – диатомиты, *5* – вулканиты и туфы

Сводные представления о выделении стратонов разных категорий дает рис. IV.3.9.

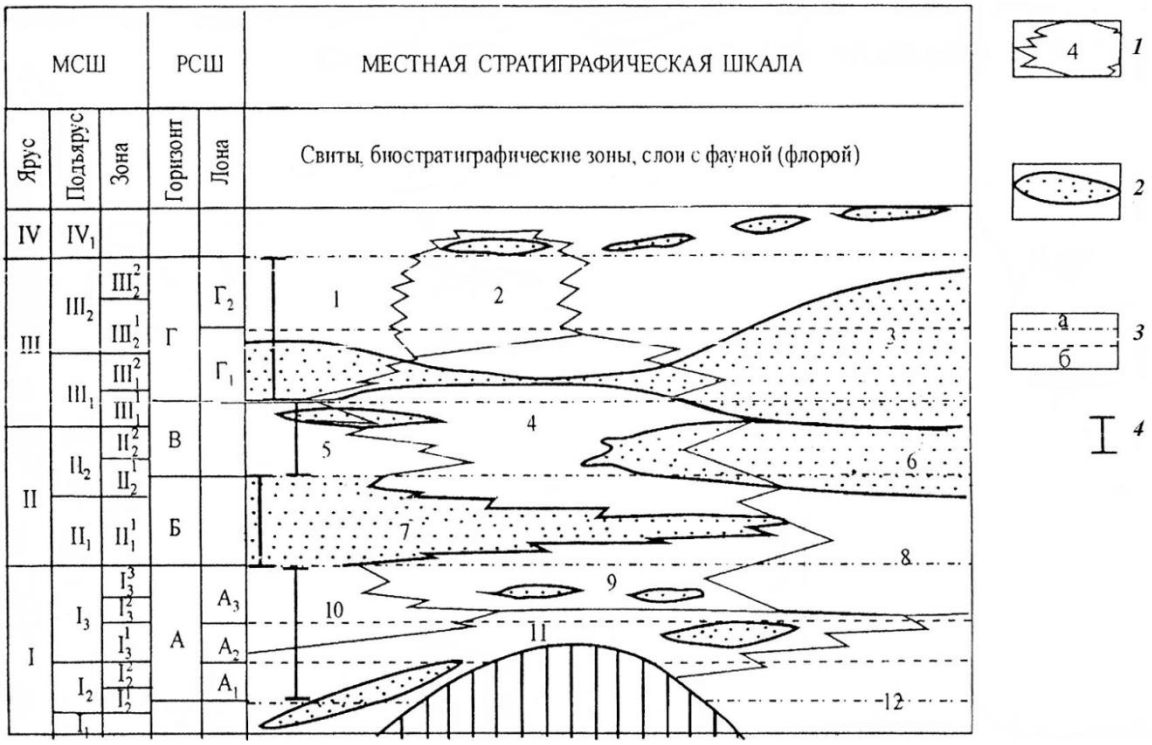


Рис. IV.3.9. Соотношение стратонов различных категорий и шкал (В. А. Прозоровский, 2003, с. 53): *1* – литостратоны; *2* – биостратоны; *3* – границы хроностратонов: *а* – горизонтов, ярусов; *б* – лон, хронозон; *4* – стратотипы горизонтов

IV.4. КОРРЕЛЯЦИЯ ОТЛОЖЕНИЙ

Корреляция (лат. correlatio – соотношение): в *стратиграфии* – сопоставление слоев горных пород или отдельных частей разрезов с целью выявления одновозрастности соответствующих отложений; в *разведочном деле* – геологическая увязка отдельных пластов, горизонтов, разрезов и т. п. между разведочными выработками или точками наблюдений (выдержка из: Геологический…, 1973, т. 1, с. 358).

IV.4.1. Общие положения

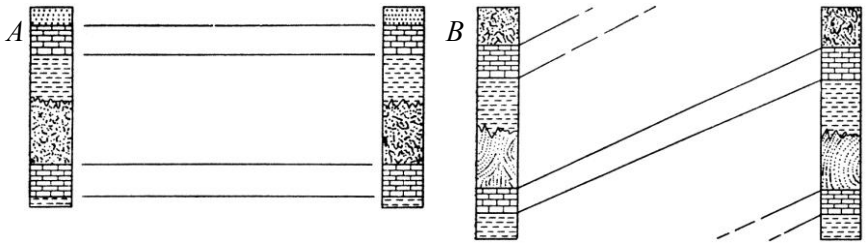
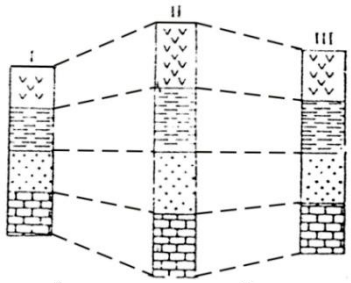
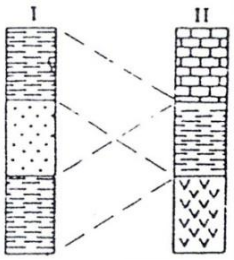


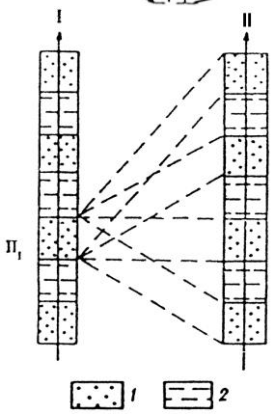
Рис. IV.4.1. Подбор (*A*) и корреляция (*B*) (Количественная…, 1985, с. 16)



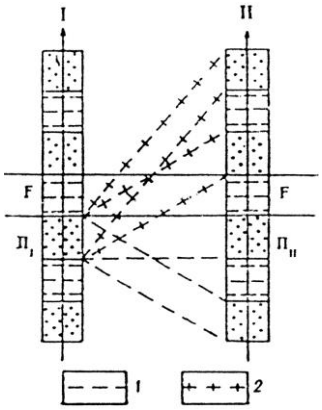
A. Однозначное непротиворечивое определение одновозрастности по сходству литологических признаков. Здесь и далее римскими цифрами обозначены номера разрезов



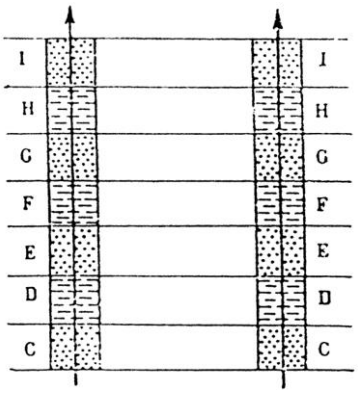
B. Невозможность однозначного непротиворечивого определения одновозрастности по сходству литологических признаков



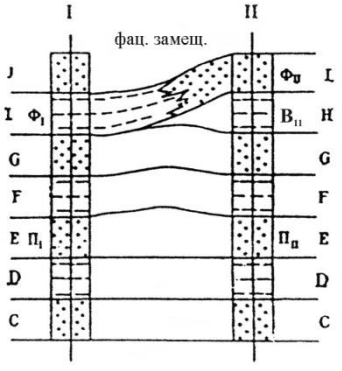
C. Множественность решений задачи идентификации



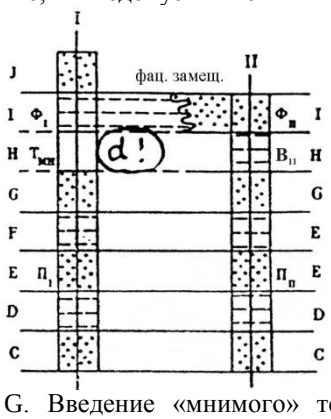
D. Сокращение числа вариантов идентификации: *1* – допустимые, *2* – недопустимые



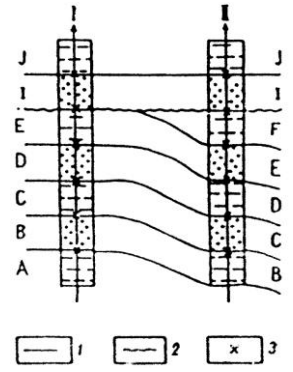
E. Единственность решения задачи идентификации



F. Несуществование решения задачи идентификации для пластов B_{11} и Φ_{11} (в силу фациального замещения пласта Ф).



G. Введение «мнимого» тела ($T_{мн}$) в разрез I, позволяющее восстановить «луковичную модель» Вернера: *d* – диастема



H. Отношение согласия и несогласия поверхности *1*, *2* – поверхности (*1* – согласные, *2* – несогласные), *3* – определяющие точки

Рис. IV.4.2. Варианты сопоставления слоев (комплексов) (Ю. С. Салин, 1983)

Таблица IV.4.1

Назначение корреляции разрезов скважин на разных этапах геологоразведочного процесса (Методические …, 2013, с. 7)

Этап	Задачи, решаемые при помощи корреляции разрезов скважин	Основные виды необходимых исследований
Региональный	1) прослеживание литолого-стратиграфических и нефтегазоперспективных комплексов; 2) выявление субрегиональных и зональных структурных соотношений между различными литолого-стратиграфическими и нефтегазоперспективными комплексами; 3) выявление региональных разломов, несогласий; 4) определение характера основных этапов тектонического развития региона (в комплексе с другими исследованиями)	1) отдельные региональные сейсмические профили; 2) результаты региональных гравиразведочных, магниторазведочных и электроразведочных работ; 3) биостратиграфические исследования керна (микрофаунистические, спорово-пыльцевые и др.); 4) геохимические исследования
Поисково-оценочный	1) выявление условий залегания нефтегазоносных комплексов и горизонтов; 2) прослеживание в разрезе нефтегазоносных и перспективных горизонтов коллекторов и покрышек; 3) изучение залегания и особенностей геологического строения нефтегазоносных пластов; 4) создание основы для геологической модели залежи	1) сейсморазведка 2D по системе взаимоувязанных профилей на открытом месторождении - сейсморазведка 3D; 2) детальная электроразведка, высокоточная гравиразведка; 3) исследования керна
Разведочный	1) уточнение геологического строения залежей и актуализация геологической модели по результатам разведочного бурения; 2) создание геологической основы для гидродинамической модели	1) сейсморазведка 3D; 2) исследования керна
Разработка	1) уточнение геологического строения залежей и актуализация геологической модели по результатам бурения эксплуатационных скважин; 2) прослеживание проницаемых пропластков в продуктивном пласте и определение путей фильтрации флюида; 3) создание основы для постоянно действующей геолого-технологической модели (ПДГТМ); 4) выявление зон локализации остаточных запасов (в комплексе с другими исследованиями)	3D и 4D сейсмические исследования

Таблица IV.4.2

Применение различных методов корреляции и соответствующих признаков при изучении сложнопостроенных внутриконтинентальных терригенных толщ
(Методы…, 1968, с. 7, 8; с существенными сокращениями и изменениями)

Метод, группа методов	Признаки	Стадия изучения	
		поисковая	разведочная
Биостратиграфические	Фаунистические	При наличии	–
	Флористические	+	–
	Палинологические	+ + +	–
Вещественно-литостратиграфические	Минералого-петрографические	+	+
	Геохимические	+ +	+
	Специальные	Нуждаются в конкретном обосновании	
Структурно-геометрические	Толщины слоев, горизонтов, анализ изопахит и др.	+	+ +
	Прослеживание индикаторов (реперов)	+	+ +
Геофизические (дистанционные)	Сейсморазведка	+ + +	+
	Геофизические исследования скважин (ГИС)	+ +	+ + +

Примечание. (–) – практической роли не играет; (+) – целесообразен к использованию как подсобный; (+ +) – наиболее пригодный к использованию; (+ + +) – ведущий, главный метод

IV.4.2. Построение разрезов

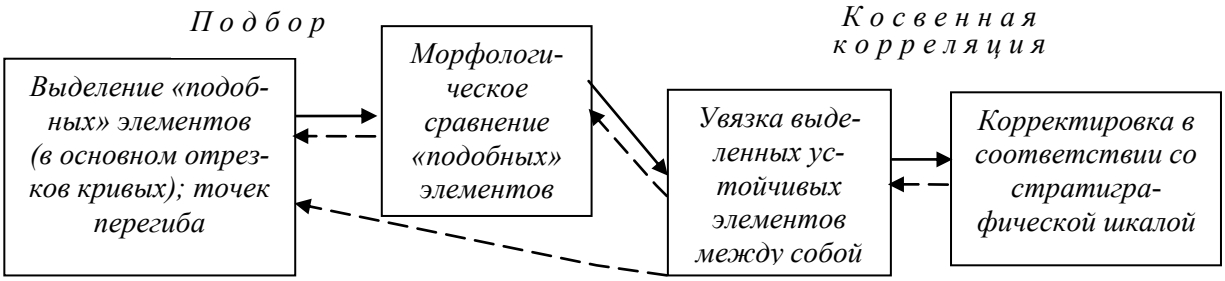


Рис. IV.4.3. Последовательность операций при корреляции отложений и построении разрезов

Удобнее всего корреляцию проводить на «нормальных» разрезах (от приведенных к *нормали*, т. е. со снятием всех искажающих помех: искривления скважин, изменений углов падения вследствие тектоники и проч.). Последовательность операций сводится к следующему.

1. Видимые (по керну скважин) мощности слоев пересчитываются в истинные (нормальные). Следует постоянно иметь в виду, что использовать нужно углы падения, замеренные по тонкозернистым породам с горизонтальной или близкой к ней слоистостью.

2. Выбирается «нулевой горизонт», которым служит наиболее выдержанный и прослеживаемый во всех выработках (скважинах) уровень, например, граница свит или литоциклов высоких порядков, маркирующие слои (в т. ч. выдержанный угольный пласт) и т. п. При крутых углах падения и других причинах, не позволяющих проследить данный горизонт во всех выработках, можно выделить два (желательно не более) самостоятельных на стратиграфически разных уровнях.

3. Относительно этого «нулевого горизонта», изображаемого в виде горизонтальной линии, вверх и вниз отстраиваются колонки по выработкам (скважинам) в соответствующем вертикальном масштабе. Примеры колонок приведены на рис. II.7.6, III.8.7.

4. В пространстве между колонками показываются коррелируемые элементы: границы комплексов пород (литоциклов разных порядков), реперы I и II рода, песчаные коллекторы, угольные пласты и т. д. Отдельными знаками могут быть показаны дополнительные признаки: фаунистические остатки, спорово-пыльцевые комплексы, конкреции и пр.

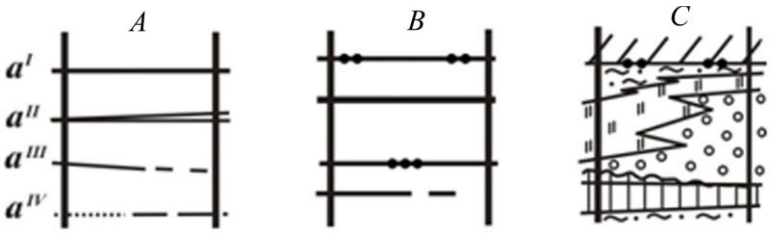


Рис. IV.4.4. Варианты заполнения межскважинного пространства:

A – увязка распознаваемых (необходимых для распознавания) объектов (в нефтегазовой литологии – коллекторов);

B – увязка объектов, а также комплексов слоев (литоциклов);

C – полное заполнение межскважинного пространства

5. Полное заполнение межскважинного пространства возможно при наличии доверительных исходных данных (например, предоставляемых литолого-фациальным анализом) и наиболее целесообразно для детальных разрезов типа «врезок».

Под *реперами* понимаются маркирующие горизонты, характеризующиеся устойчивыми параметрами, позволяющими распознавать их на анализируемых объектах (табл. IV.4.3). К примеру, идеальным репером I рода на значительной части ЗСОМБ является георгиевская свита. Хорошими реперами являются границы между комплексами контрастного литологического состава.

Таблица IV.4.3

Схема характеристики геолого-каротажного репера

Индекс и стратиграфическое положение репера	Пласты, составляющие репер	Геологическая характеристика	Каротажная характеристика, ее постоянство	Площадь распространения, выдержанность по площади	Корреляционное значение	Графическое изображение
Индекс по стратиграфической схеме или условный. Комплекс, горизонт, в который входит репер	Число пластов, их относительное расположение в разрезе, мощность, строение, расстояние между пластами	Литологические особенности пластов, однородность, включения и т. п. Вмещающие породы и характер контактов с ними	Индивидуальные особенности характеристики. Постоянная или изменяющаяся на площади характеристика. Типичные изменения; причины изменения: выклинивание, расщепление отдельных пластов, литолого-фациальные переходы и т. п.	Распространение на всей площади или части ее. Устойчивый по площади или прерывистый репер	Главный репер, местный репер. Относительное коррелятивное значение на всей площади или части ее	Комплекс каротажных кривых в детальном (или основном) масштабе

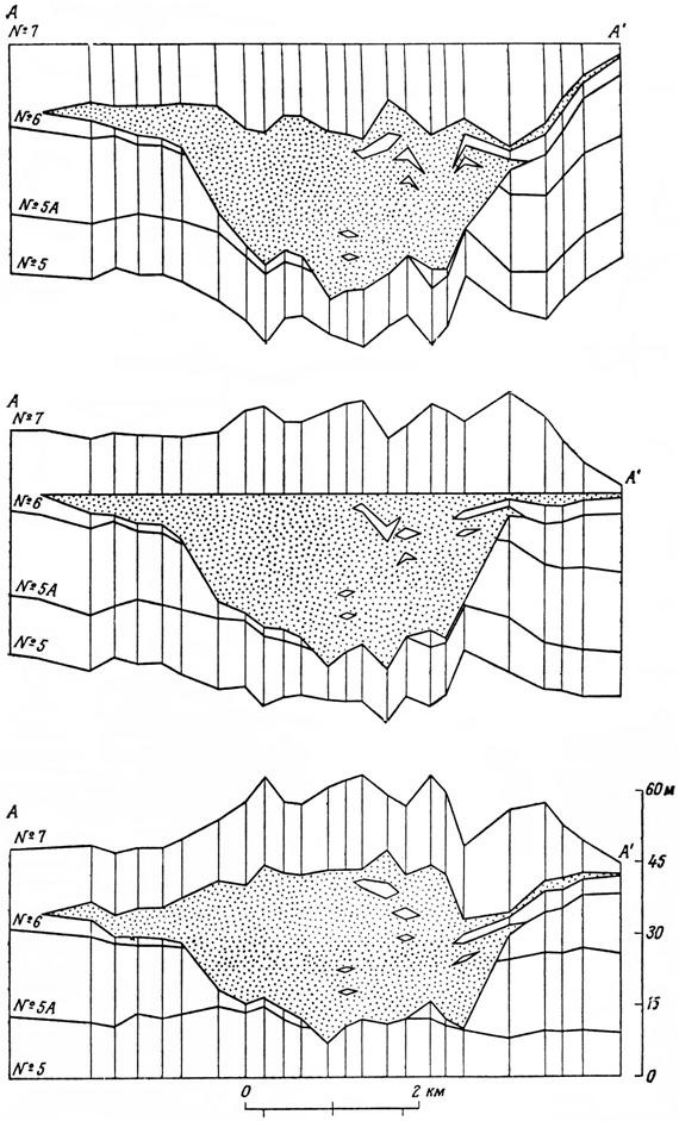


Рис. IV.4.5. Пример, показывающий, как от выбора «нулевого горизонта» меняются представления о строении разреза (Ф. Петтиджон и др., 1976, с. 401):

Поперечные разрезы песчаника Анвил-Рок (пенсильваний). В качестве уровня отсчета использованы на *верхнем* рисунке угольный пласт № 7, на *среднем* – кровля песчаника, на *нижнем* рисунке угольный пласт № 5. Крапом показано тело песчаника Анвил-Рок; № *5, 5А, 6, 7* – угольные пласты

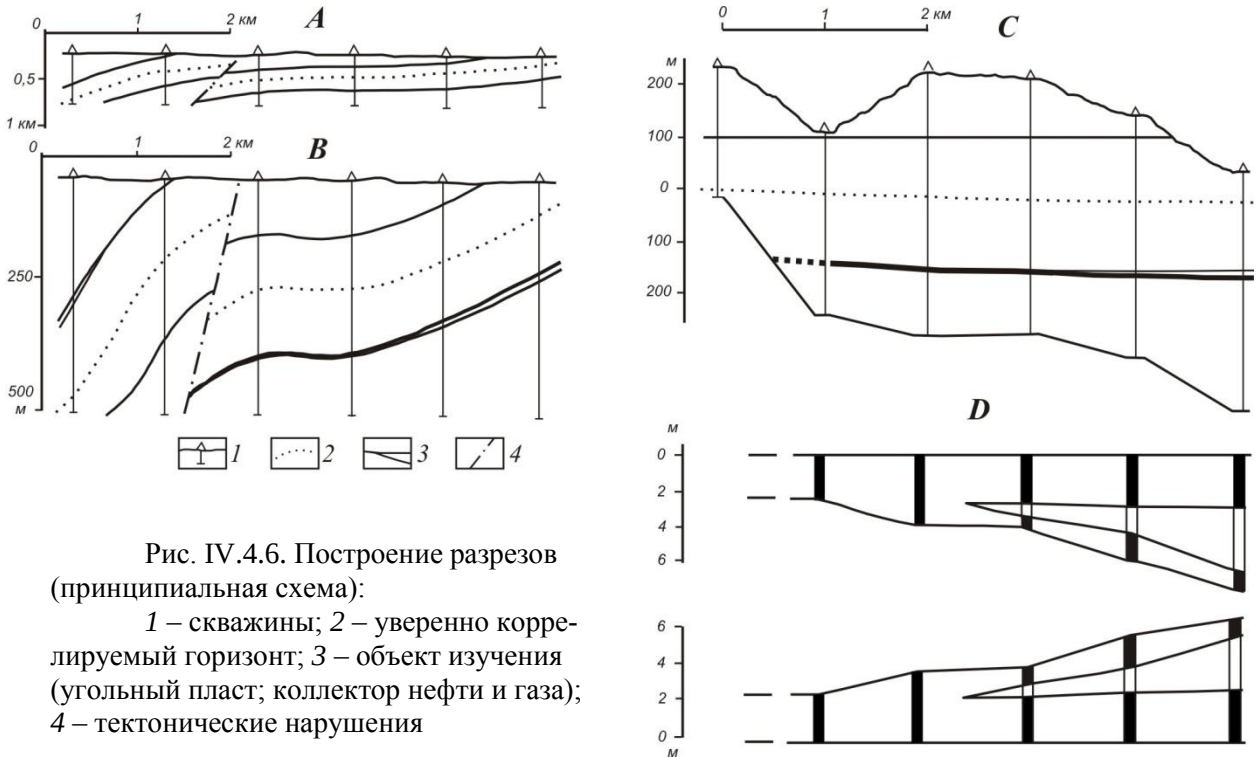


Рис. IV.4.6. Построение разрезов (принципиальная схема):

1 – скважины; *2* – уверенно коррелируемый горизонт; *3* – объект изучения (угольный пласт; коллектор нефти и газа); *4* – тектонические нарушения

A – геологический разрез в соотношении вертикального и горизонтального масштабов 1 : 1;

B – то же, в соотношении масштабов 5 : 1;

C – то же, что и «*B*», но выровненный на «нулевую линию»;

D – поперечная увязка изучаемого объекта, с выравниванием по кровле (вверху) и по подошве (внизу)

IV.4.3. Сопоставление колонок скважин

Для осадочных толщ корреляция отложений почти всегда выполняется по колонкам скважин, при толщине выделяемых слоев в первые метры и расстоянии между скважинами в лучшем случае – несколько сотен метров, а на практике – несколько километров. Такие различия априорно не позволяют увязывать конкретные слои, тем более с учетом их фациальной изменчивости, разобранной во II части пособия. Это определяет целесообразность сопоставления и корреляции комплексов слоев или литоциклов (см. раздел III.8).

Корреляция геологических разрезов по выделенным в них **литоциклам** основывается на нескольких положениях, установленных в результате анализа большого фактического материала (Л. Н. Ботвинкина, 1952, 1953, 1956; Ю. А. Жемчужников и др., 1959-1960).

1. Литоциклы (ЛЦ) – это стратификационные единицы, выдерживающиеся на площади значительно лучше, чем составляющие их отдельные элементы (слои, пласты и даже фации). Они прослеживаются на расстояния, измеряемые десятками и даже сотнями километров.

2. Литоциклы на площади, особенно на больших расстояниях, могут изменять свой состав (литологический и фациальный) в зависимости от общего палеогеографического плана. Однако каждый из них неизменно сохраняет направленность изменения отложений, его слагающих (рис. IV.4.7).

3. Литоциклы, наряду со сходством их состава и строения, обусловленных периодическим характером осадконакопления, имеют свои индивидуальные характеристики – черты отличия, определяющиеся специфическим характером фациальной обстановки в момент формирования именно данного ЛЦ.

4. Фациальное разнообразие седиментационных циклов и наличие в них индивидуальных черт позволяет выделить в разрезе маркирующие или опорные литоциклы. Последние наиболее отчетливо прослеживаются от пункта к пункту изучаемой площади (рис. IV.4.8).

5. Изменения строения седиментационных циклов (в частности, их расщепление и переход в ЛЦ более высоких порядков) происходят в направлении, обусловленном положением в тектонической структуре, синхронной седиментации.

6. Чередование литоциклов в разрезе не случайно, а подчиняется определенной, также периодической, закономерности, что позволяет выделить ЛЦ следующих, высших, порядков. Последние являются седиментационными единицами, выдерживающимися на еще бóльших площадях.

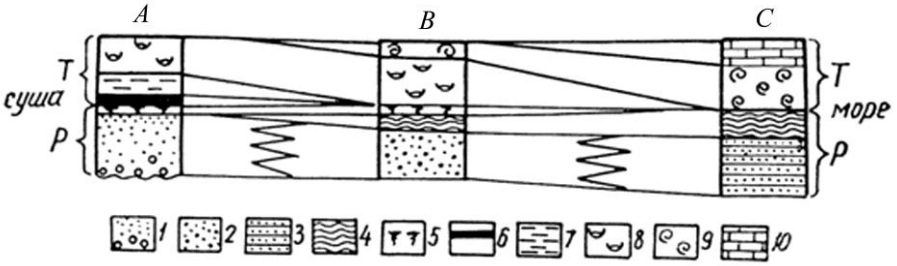
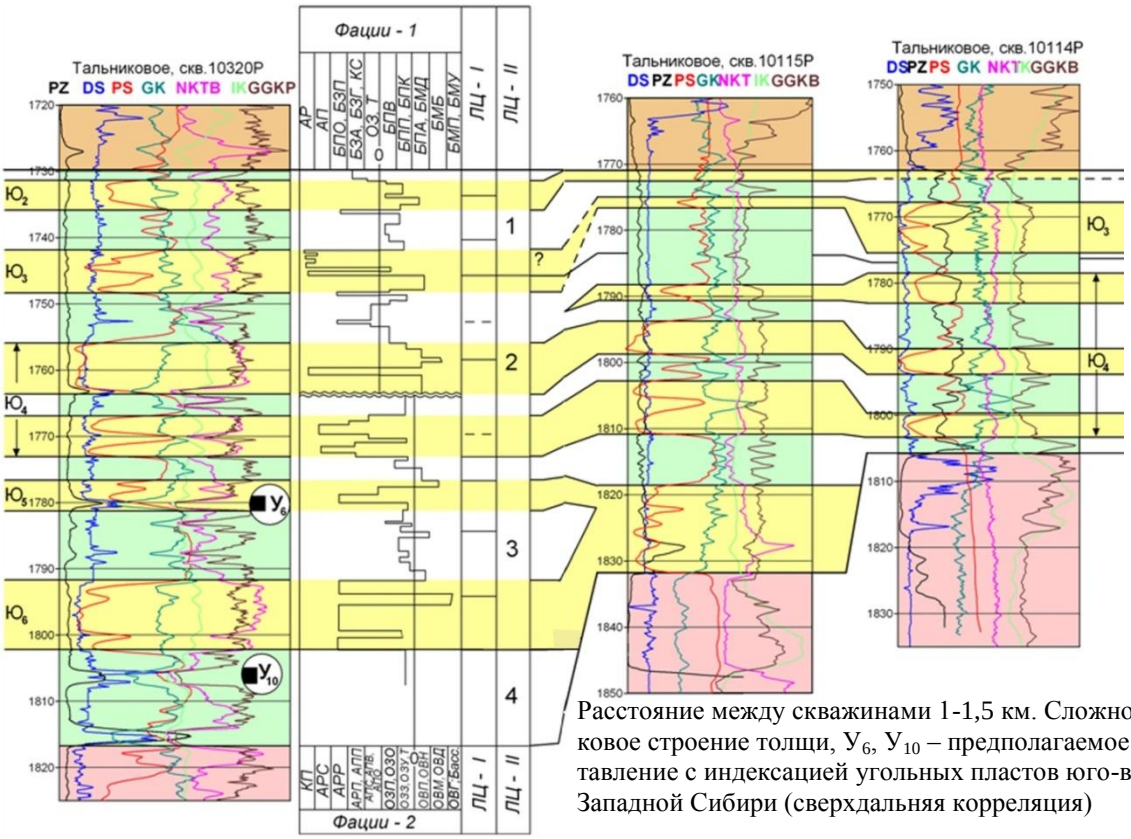


Рис. IV.4.7. Сопоставление литоциклов, различных по фациальному составу в разных пунктах наблюдений (Л. Н. Ботвинкина, 1959):

A – частично на суше; *B* – переходная обстановка; *C* – условия открытого моря; *песчано-алевритовые* отложения: *1* – аллювиальные, *2* – подводной части дельты, *3* – морские зоны течений, *4* – морские зоны волнений; *5* – почвенные образования со следами корней растений; *6* – отложения торфяного болота (угольный пласт); *алевритово-глинистые* отложения: *7* – озерные, *8* – лагун, *9* – морские; *10* – *карбонатные* морские отложения (известняк)



Расстояние между скважинами 1-1,5 км. Сложное, блоковое строение толщи, $У_6$, $У_{10}$ – предполагаемое сопоставление с индексацией угольных пластов юго-востока Западной Сибири (сверхдальняя корреляция)

Рис. IV.4.8. Корреляция по литоциклам. Тюменская свита Шаимского НГР (Западная Сибирь: Строение…, 2009, с. 98-99): Пример сочетания сведений, полученных при изучении скважины, пробуренной с достаточным выносом керна (10320) и без такового (скв. 10115, 10114). Выделение литоциклов по чередованию фаций (см. п. III.8.2) позволяет прослеживать их границы в скважинах, пройденных без отбора керна, на основании сопоставления кривых ГИС

IV.5. ОСНОВНОЙ ФАЦИАЛЬНЫЙ ЗАКОН

Для успешного выполнения корреляции отложений, что является основной задачей стратиграфии, необходимо учитывать *седиментологические* принципы (см. табл. IV.3.1), какой бы «неприятной необходимостью» (определение С. И. Романовского) для стратиграфов это не являлось. Косвенным подтверждением этой необходимости служит тот факт, что, хотя в российской стратиграфии часто не находят места даже *принципу* Головкинского (А. И. Жамойда, 2011), на самом деле он представляет собой **закон**, непризнание которого, переходя на юридический язык, «не освобождает от ответственности».

IV.5.1. История открытия закона

«Основной фациальный закон, или закон миграции фаций, формулируется следующим образом: "то, что мы видим вертикально напластованными, должно явиться нам с тем же характером в горизонтальном направлении и обратно" (А. А. Иностранцев, 1872, с. 151). Его открытие связывают то с именем Н. А. Головкинского, то А. А. Иностранцева, то И. Вальтера, а в геологической литературе, в том числе и в учебниках по литологии, фациальному анализу, палеогеографии, стратиграфии и геотектонике, этот закон именуется то законом Головкинского, то Головкинского-Вальтера, то Иностранцева-Вальтера, то Вальтера, а то и Головкинского-Иностранцева. Сочетания эти отнюдь не равноправны. И если (с учетом возможной независимости открытия) название "закон миграции Головкинского-Вальтера" является оправданным, хотя историческая справедливость требует связывать этот закон только с именем Н. А. Головкинского, то основания для объединения фамилий Н. А. Головкинского и А. А. Иностранцева отсутствуют» (С. И. Романовский, 1985, с. 30).

Казань, 1870 год

Никола́й Алексе́евич ГОЛО́ВКИНСКИЙ
(17 (29) ноября 1837 – 9 (21) июня 1897).

Первоначально обучался на медицинском факультете Казанского университета, прервав таковое по собственному желанию. Участник Крымской кампании. После отставки продолжил обучение на естественном отделении физико-математического факультета. Окончил Казанский университет в 1861 г., в течение ряда лет стажировался за границей. В 1865 г. защищает магистерскую диссертацию. В 1868 г. публикует знаменитую работу «О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна», представленную в виде докторской диссертации.

В 1871 г. покинул Казанский университет с группой профессоров в знак протеста против политики правительства в области просвещения. С 1871 по 1886 гг. работал в Новороссийском (Одесском) университете, в т. ч. в 1877-1881 гг. его ректором. После отставки окончательно переехал в Крым, где до настоящего времени сохранился его дом.

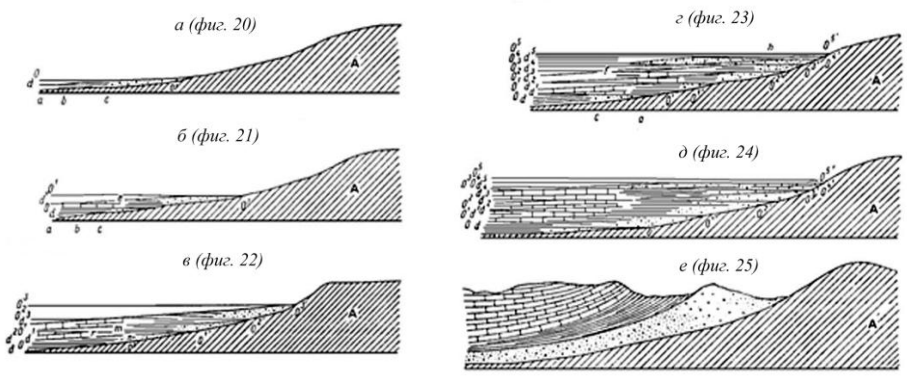


Рис. IV.5.1. Схематические рисунки (*а* – *е*) Н. А. Головкинского (1868, 1869), поясняющие условия образования слоистости миграционного типа. Номера фигур соответствуют авторскому варианту

В предельно сжатом виде основные результаты, следующие из схемы Н. А. Головкинского, выглядят следующим образом:

• слои пород, характеризующиеся одинаковым литологическим составом, являются **разновременными** (диахронными) образованиями;

• прослеживанием слоев вкрест субпараллельной береговой линии бассейна фиксируется полный цикл отложений, образно названный Н. А. Головкинским «геологической чечевицей» (название дано по форме «оболочки чечевичного зерна, одевающей ядро» и имеющей отчетливо уплощенный облик по периферии).

Современники в основном не приняли представлений Н. А. Головкинского, увидев в них нарушение основополагающего для стратиграфии принципа Стенона («что выше, то моложе»: см. табл. IV.3.1). Это послужило импульсом для создания другой схемы слоенакопления, предложенной одним из наиболее известных российских геологов А. А. Иностранцевым.

Алекса́ндр Алекса́ндрович ИНОСТРА́НЦЕВ (12 (24) июня 1843 – 31 декабря 1919) – русский геолог, профессор геологии Петербургского университета, член-корреспондент Петербургской Академии наук (с 1901). Один из основателей и председатель (с 1888) Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии. Член целого ряда геологических, минералогических, антропологических и прочих обществ в России и за рубежом. Действительный статский советник.

Автор учебника по геологии, с 1885 по 1912 гг. выдержавшего пять изданий. Воспитал плеяду учеников, среди которых 3 академика, 2 члена-корр. Академии наук, более 10 профессоров, в т. ч. первая женщина – профессор геологии.

В противовес схеме Н. А. Головкинского А. А. Иностранцев предложил свой вариант миграции зон осадконакопления, впервые выполненный как абрис в 1872 г., а потом представленный в детальном виде, вошедшем во все варианты учебника (рис. IV.5.2).

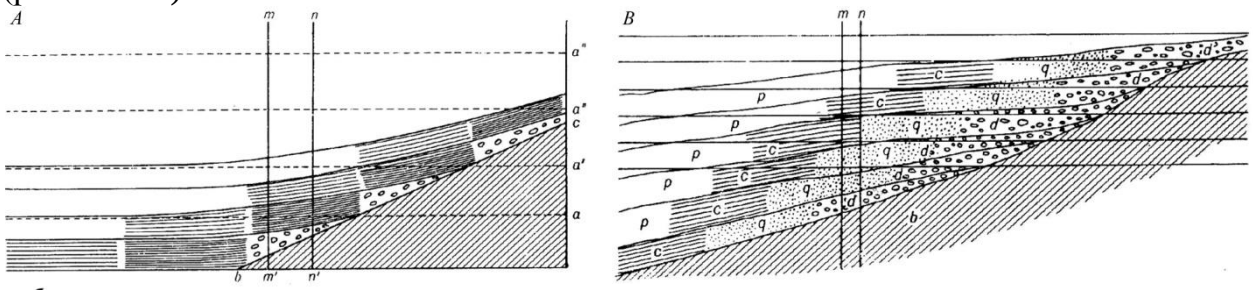


Рис. IV.5.2. Схема образования мутационной слоистости, по А. А. Иностранцеву (***A*** – рисовка 1872 г.; ***B*** – рисовка 1885-1914 гг.)

По своей рисовке схемы Н. А. Головкинского и А. А. Иностранцева достаточно близки, отличаясь при этом главным: из последней *основной фациальный закон не выводится*, на что четко указал С. И. Романовский (1985, с. 37). Действительно она, во-первых, предусматривает перемещение формировавшихся пород не постепенно, а с паузами или приостановками. Во-вторых (как следствие), слои в ней уже фиксируют последовательность фаций, имеющую место во время их фор-

мирования. Указанные противоречия по сути снимаются при «закреплении» за приведенными схемами разных режимов осадконакопления.

В 1948 г. Н. Б. Вассоевичем предложено разделение режимов формирования однородных слоев на два основных типа: *миграционный* (лат. migratio, от migro – перехожу, переселяюсь), с постоянным направленным перемещением области с осаждением частиц, и *мутационный* (лат. mutatio – изменение), при седиментации путем осаждения «частица за частицей». Более дробное деление режимов предложено С. И. Романовским при анализе цикличности (рис. IV.5.3).

Рис. IV.5.3. Классификация режимов образования элементарных седиментационных циклов (С. И. Романовский, 1985, с. 57; с добавленным прибрежно-мелководным режимом)

Таким образом, Н. А. Головкинский *открыл* основной фациальный закон, а А. А. Иностранцев его *сформулировал*, но на иной основе. Однако, несмотря на их безусловный приоритет, во всем мире закон миграции фации связывается с именем И. Вальтера (см. начало раздела).

Иога́ннес ВА́ЛЬТЕР (нем. Johannes Walter, 20 июля 1860 – 4 мая 1937) – немецкий геолог и палеонтолог. Работал и преподавал в ряде европейских университетов, в т. ч. в 1885-1906 гг. – Йенском и 1906-1929 гг. – Галле. На рубеже XIX/XX веков возглавлял несколько геологических экспедиций в Российскую империю, в частности на Урал (1897). 1 февраля 1930 г. стал почетным членом Академии наук СССР.

Одна из основных работ «Геология как историческая наука» (Die Geologie als istorische Wissenschaft) опубликована в Йене в 1893-1894 гг. Именно в ней формулируется закон, получивший затем название «закон Вальтера»: «Первично только такие фации могут перекрывать друг друга, которые в современных условиях мы наблюдаем лежащими рядом» (с. 979).

IV.5.2. Значение закона (диахронность слоевых единиц)

И. П. Шараповым в рамках предложенной им *метагеологии* – науки «… о структуре, методах и развитии геологии – закономерном этапе развития наших знаний о земной коре … новой системе идей, которую можно считать метанаукой» (И. П. Шарапов, 1989, с. 7), проанализировано 63 высказывания из 2-го издания Геологического словаря (Геологический…, 1973), которые были в нем названы законами, правилами, принципами и закономерностями. Из них собственно к геологии отнесено 28, остальные касаются физики, математики и др. **Законами**, которые

отражают «… всеобщую, необходимую и существенную связь предметов и явлений, характеризующихся устойчивостью и повторяемостью» (И. П. Шарапов, 1989, с. 157), признано только 11, причем 9 из них – в минералогии и петрографии. В их число входит и фациальный закон Головкинского-Вальтера (закон корреляции фаций), в формулировке И. П. Шарапова представленный следующим образом: «Фациальные разновидности осадочной породы любого бассейна седиментации сменяются по стратиграфической вертикали в том же порядке, как и по горизонтали» (И. П. Шарапов, 1989, с. 97).

Важнейшим **следствием** из закона Головкинского является **возрастное скольжение** однородных слоевых единиц по разрезу, или их **диахронность**, что отчетливо видно на рис. IV.5.4, IV.5.5.

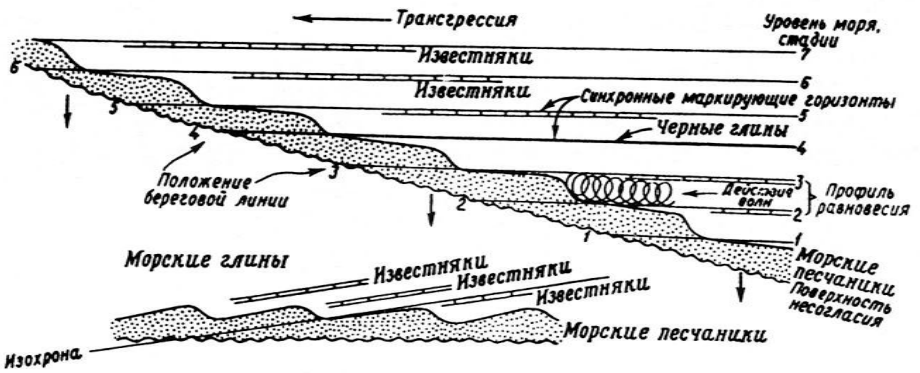


Рис. IV.5.4. Диахронность песчаного слоя, формирующаяся при циклическом (прерывистом) прогибании бассейна, при обильном поступлении материала (Д. А. Буш, 1977, с. 27)

Основной чертеж (вверху) отражает динамику процесса во времени. Внизу – «литологическая» увязка, подчеркивающая дискретность морских песчаников.

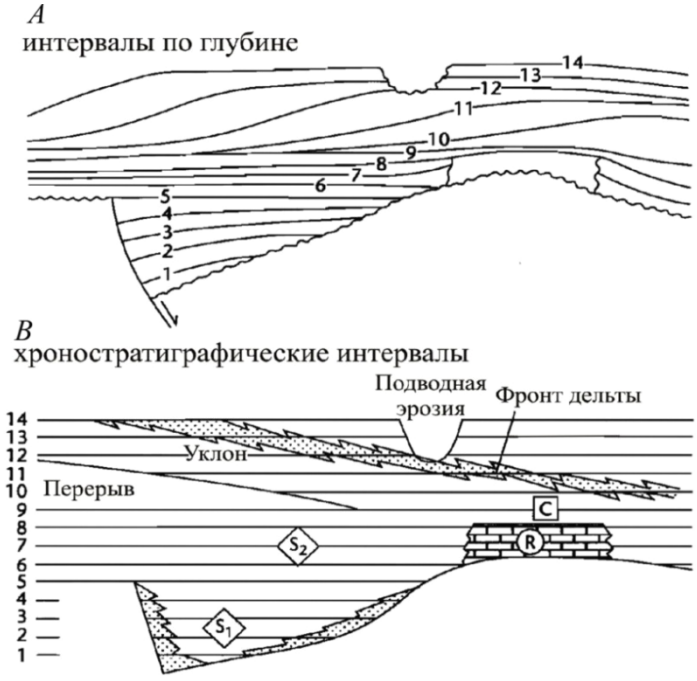


Рис. IV.5.5. Реальный разрез (*A*) и схематическая хроностратиграфическая модель (*B*), показывающая отношения между фациями и осадочными комплексами (Allen, Allen, 2005, p. 408; с изменениями):

S – материнские породы; C – покрышка над резервуаром (R);

1-5 – заполнение грабенов «скоростными» осадками (S_1);

5-6 – трансгрессия и широкое развитие осадков;

6-8 – рифообразование (R); осадконакопление в недокомпенсированном (starved) бассейне (S_2);

9-14 – проградация дельты, с формированием перерывов (9-12) и подводных эрозионных каналов (12-14)

Из приведенных сведений непреложно вытекают затруднения в корреляции непосредственно слоев песчаников, которые уже по своей природе **асинхронны** (естественно в миграционном режиме слоенакопления): « … не диахронность, а изохронность границ свит с миграционным типом слоистости является исключением, да и то чисто практически, пока нет методов, которые были бы в состоянии поймать градиент скольжения» (С. И. Романовский, 1988, с. 205).

IV.5.3. Современные представления

Сущностная объективизация механизма миграционного осадконакопления выполнена С. О. Зориной (2011 и др.). На рис. IV.5.6 приведена *эвстатическая* временна́я модель (ЭВМ), которая показывает процесс формирования *цикла* при отсутствии тектонических подвижек (s.ℓ.), способных повлиять на смещение фациальных обстановок. Именно такая модель соответствует «классическим» представлениям Н. А. Головкинского. Кстати, это подтверждают и своеобразные конфигурации «чечевиц» в полях кривых *C* и *D*.

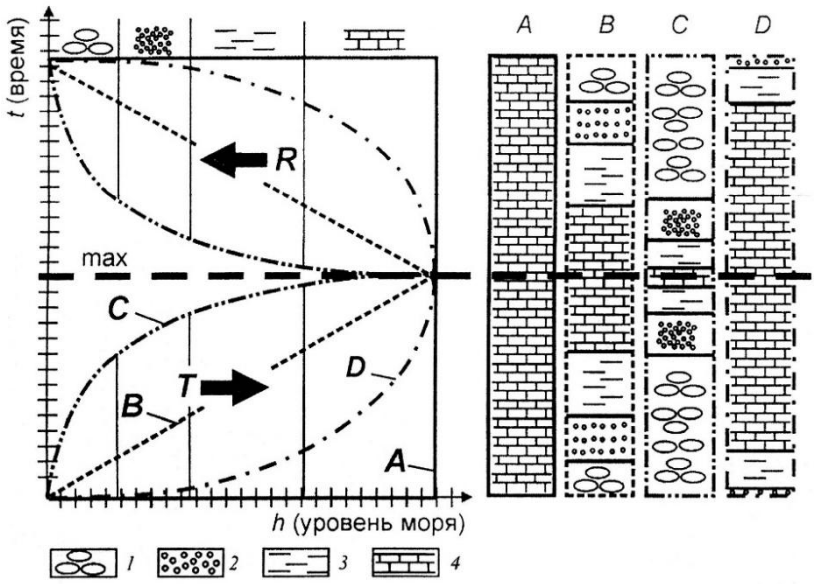


Рис. IV.5.6. Генерализованная временна́я модель одностадийного эвстатического цикла и зависимость литологического строения разрезов от изменения скорости эвстатических колебаний (С. О. Зорина, 2011): *h* – уровень моря в абсолютных единицах; *t* – время; *T* – трансгрессивная часть цикла; *R* – регрессивная часть цикла; *1-4* – фациальный переход от грубых осадков к тонким илам; *A-D* – проекции на временную ось этапов формирования осадков: при *A* – мгновенном повышении и последующей стабилизации уровня моря; *B* – равномерном повышении уровня моря; *C* – медленном и последующем быстром повышении уровня моря; *D* – быстром и последующем медленном повышении уровня моря

Исходя из геологических реалий С. О. Зориной определено, что важнейшим из факторов, которые «накладываются» на эвстатические колебания, является *эпейрогенический*. (Дополним, что вполне может быть и «обратная» картина, когда именно эпейрогения либо иные тектонические процессы определяют эвстатические колебания.) ЭВМ, осложненная влияниями вертикальных тектонических подвижек, – тектоно-эвстатическая модель (ТЭВМ), рассмотренная при равномерном прогибании и воздымании дна, приведена на рис. IV.5.7.

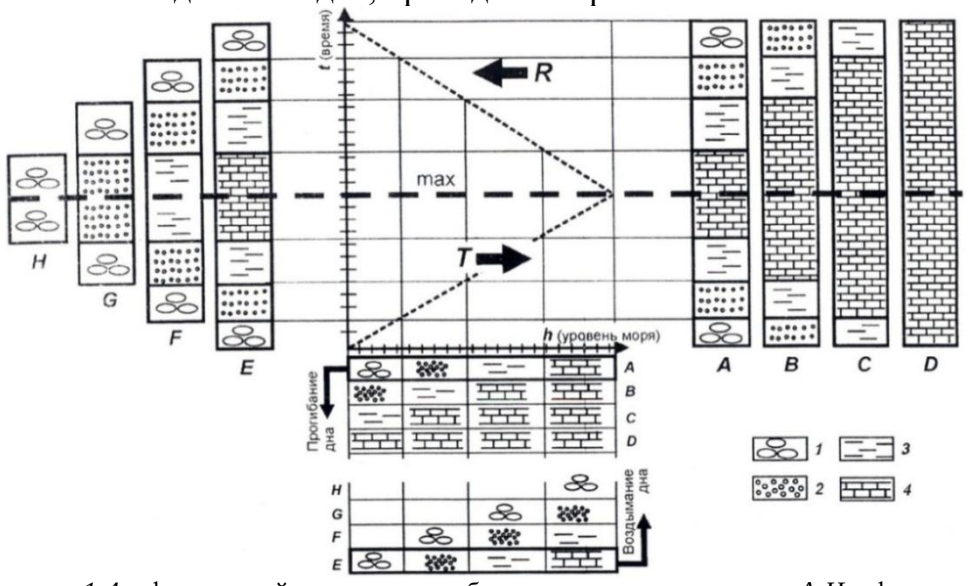


Рис. IV.5.7. Генерализованная тектоно-эвстатическая временна́я модель и зависимость литологического строения разрезов от равномерных эвстатических и эпейрогенических колебаний (С. О. Зорина, 2011): *h* – уровень моря в абсолютных единицах; *t* – время; *T* – трансгрессивная часть цикла; *R* – регрессивная часть цикла; *1-4* – фациальный переход от грубых осадков к тонким илам; *A-H* – фациальная зональность осадков и проекции на временную ось этапов их формирования при равномерном росте / падении уровня моря: *A* – до прогибания; *E* – до воздымания дна; *B, C* и *D* - с одновременным равномерным прогибанием дна бассейна; *F, G* и *H* - с одновременным равномерным воздыманием дна бассейна

Вопросы латерального соотношения обстановок осадконакопления детально разобраны М. В. Лебедевым, следующим образом уточнившим закон Головкинского-Вальтера: «**если входящие в состав одной фациальной серии сечения фаций залегают друг на друге, то соответствующие им фации (парвафации) соседствуют по латерали)**» (М. В. Лебедев, 2015). Фации, залегающие друг на друге, но входящие в состав разных фациальных серий, могут не соседствовать по латерали. Несложно заметить, что последнее положение соответствует перерывам в осадконакоплении, разобранным в теме III.10 (см. табл. III.10.4: перерывы $П^{II}$ и $П^{III}$). Общая схема фациальных взаимоотношений, иллюстрирующая закон Головкинского, приведена на рис. IV.5.8.

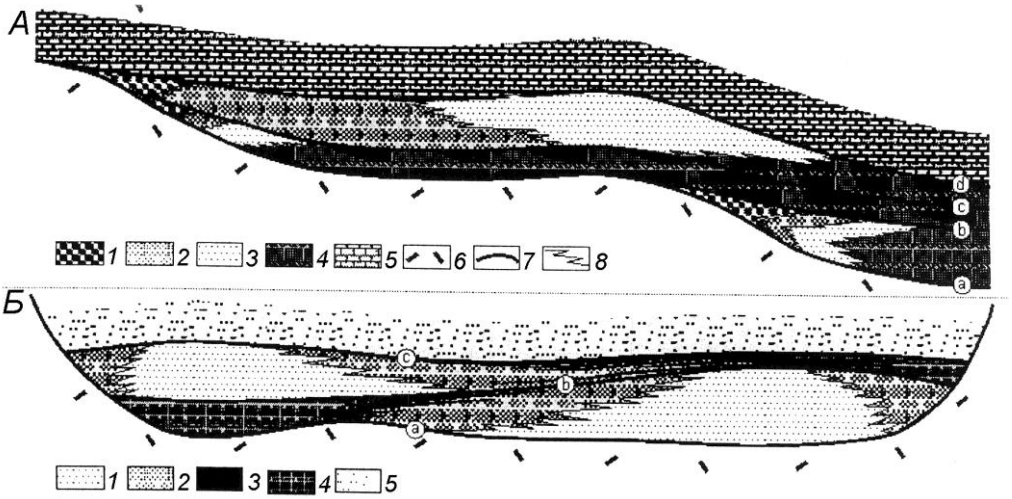


Рис. IV.5.8. Гипотетические фациальные разрезы (М. В. Лебедев, 2006):

А – пересекающий терригенный комплекс осадков прибрежно-морского генезиса: *1* – фация песчаников аллювиальных конусов выноса; *2* – фация глинистых отложений лагун – прибрежной равнины; *3* – фация прибрежно-морских песчаников; *4* – фация глинистых отложений шельфа; *5* – фация сульфатно-карбонатных отложений солеродного бассейна; *6* – кристаллическое основание осадочного бассейна; *7* – фациальные несогласия; *8* – границы фаций (диахронные границы); *a* – генетическое фациальное несогласие (подошва осадочного бассейна); *b* – трансгрессивное фациальное несогласие; *c* – регрессивное фациальное несогласие; *d* – генетическое фациальное несогласие.

Б – пересекающий терригенный комплекс осадков аллювиального происхождения: *1* – фация русловых песчаных отложений; *2* – фация песчано-глинистых отложений прирусловой части поймы; *3* – фация углисто-глинистых отложений пойменных болот; *4* – фация глинистых отложений пойменного озера; *5* – фация туфов и туфопесчаников (остальные условные обозначения см. выше); *a* – генетическое фациальное несогласие, *b* – инверсионное фациальное несогласие; *c* – генетическое фациальное несогласие

Представления о «вертикальном» или стратиграфическом диапазоне проявления диахронности слоевых единиц приведены в табл. IV.5.1.

Таблица IV.5.1

Реализация инварианта скольжения границ геологических тел

Уровень организации	Геологические тела (образования)	Диапазон толщин	Соотношение толщин (порядок)	
			внутри тел	между телами
Гранулоседиментогенез	Слойки косой слоистости, пачки слойков, серии	0,5–50 мм	10^2	–
Стратоседиментогенез	Слои	0,5–5 м	10	10
Циклоседиментогенез	Наборы слоев, формирующие комплексы	50–500 м	10	10
Общий диапазон действия инварианта		0,5 мм – 500 м		10^6

IV.6. СЕКВЕНСНАЯ СТРАТИГРАФИЯ

IV.6.1. Общие положения и исходные представления

Секвенс-стратиграфия (англ. Sequence Stratigraphy) появилась в 70-е годы XX в. на базе интенсивного развития сейсмостратиграфических исследований (Сейсмическая …, 1982) и к настоящему времени является важнейшей составляющей бассейнового анализа (рис. IV.6.1).

Рис. IV.6.1. Секвенс-стратиграфия в контексте междисциплинарных исследований по (O. Catuneanu, 2002); из: (С. О. Зорина, А. В. Жабин, 2010)

Основой для секвенс-стратиграфии служат данные сейсморазведки, регистрирующие изменения отраженных волн от различных границ, обычно имеющих геологическую природу (рис. IV.6.2).

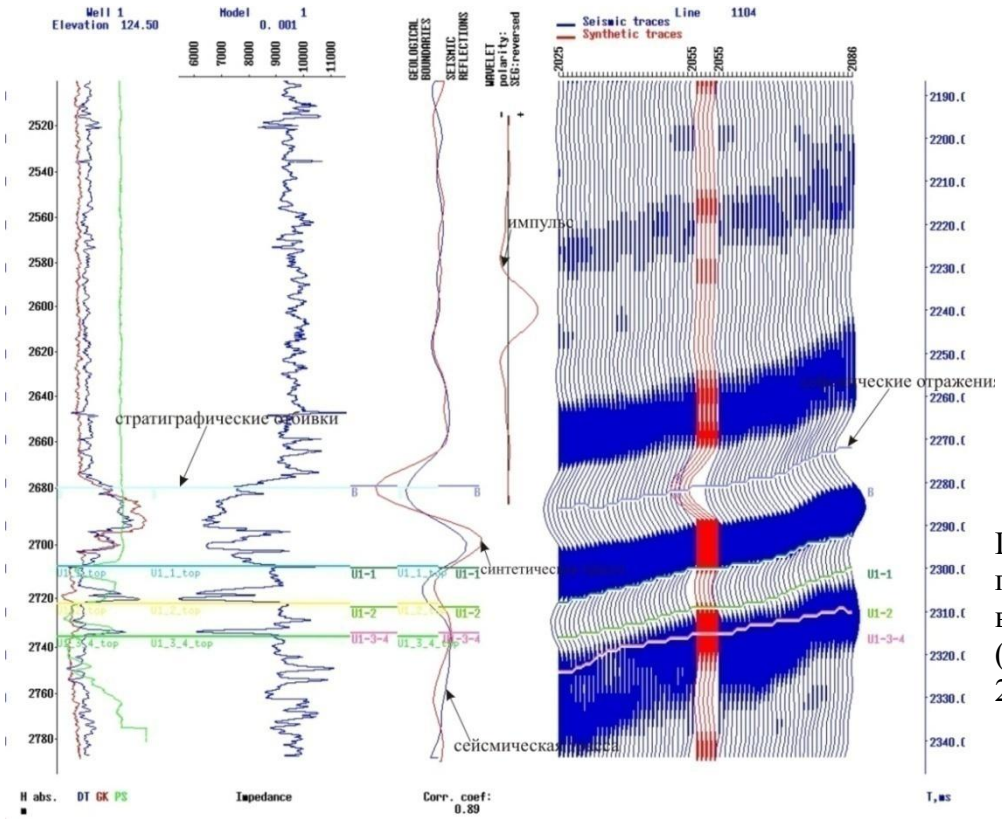


Рис. IV.6.2. Пример стратиграфической привязки отражений (Рекомендации.., 2014, с. 13)

Геологическая база секвенс-стратиграфии показана на рис. IV.6.3, а ее реализация для прибрежно-морской зоны – на рис. IV.6.4.

Рис. IV.6.3. Взаимодействия между ключевыми факторами, определяющими структуру осадочного выполнения бассейна (Г. В. Позаментьер, Дж. П. Аллен, 2014, с. 4)

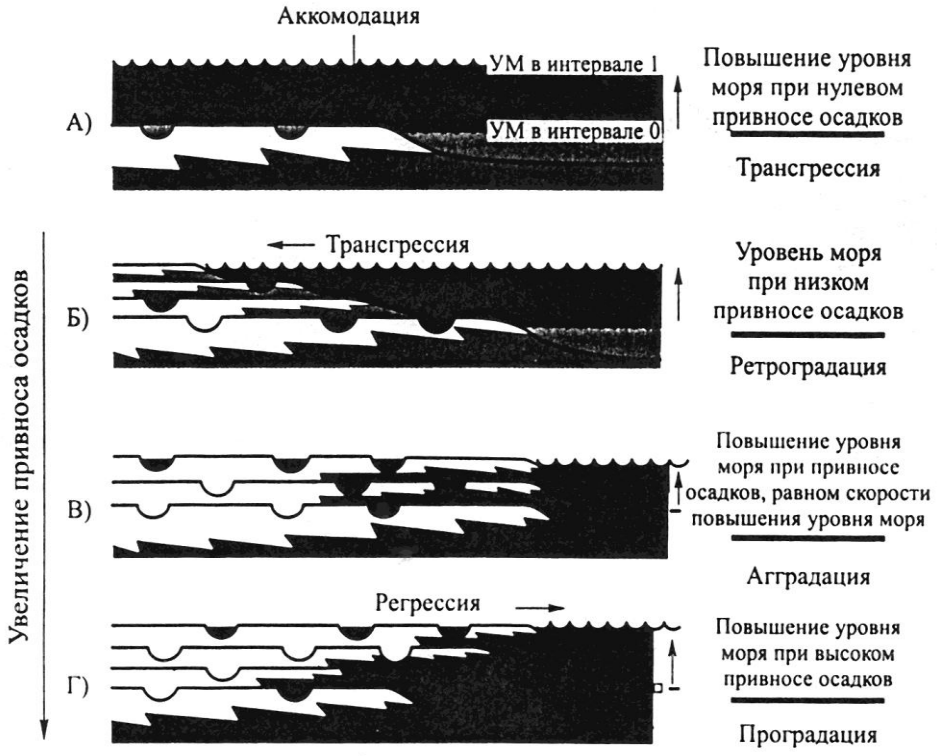


Рис. IV.6.4. Схематическая иллюстрация соотношения и различия между аккомодацией и палеобатиметрией (Г. В. Позаментьер, Дж. П. Аллен, 2014, с. 28)

Аккомодация (лат. accomodatio – приспособление, приноровление; англ. accommodation) – величина пространства, где возможно накопление (аккумуляция) осадка, определяющаяся сочетанием изменения абсолютной отметки дна и относительного уровня поверхности водоема (рис. IV.6.5.)

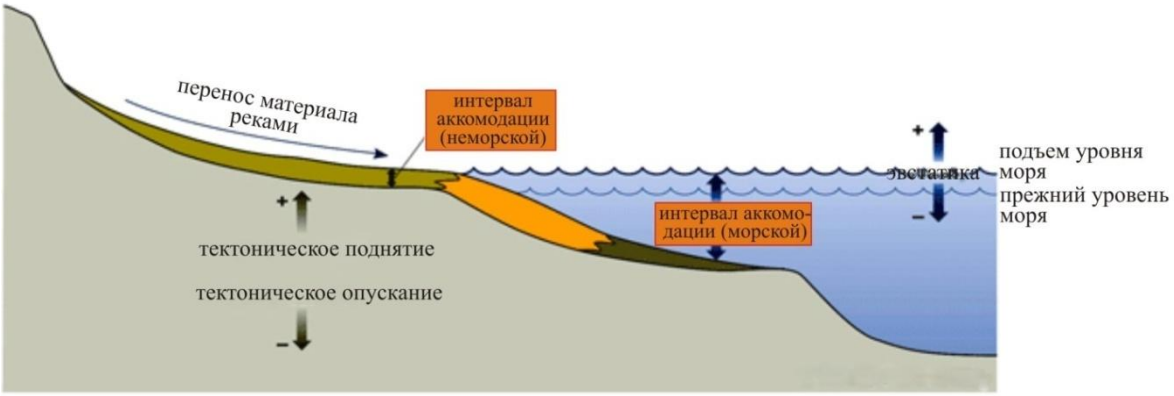


Рис. IV.6.5. Аккомодация отложений в континентальных и прибрежно-бассейновых условиях: принципиальная схема (SEPM-STRATA)

IV.6.2. Сиквенсы и парасиквенсы

Си́квенс (англ. sequence – последовательность; комплекс*; написание дано в соответствии с произношением*) – основная единица строения осадочных толщ, которая представляет собой более или менее согласную последовательность генетически связанных слоев, образованную за один цикл колебаний уровня моря. Друг от друга сиквенсы, как правило, отделяются несогласиями. Это региональные подразделения, распространенные обычно в пределах всего бассейна седиментации. Они отчетливо выделяются в краевых (мелководных) частях бассейнов и часто плохо различимы в глубоководных разрезах.

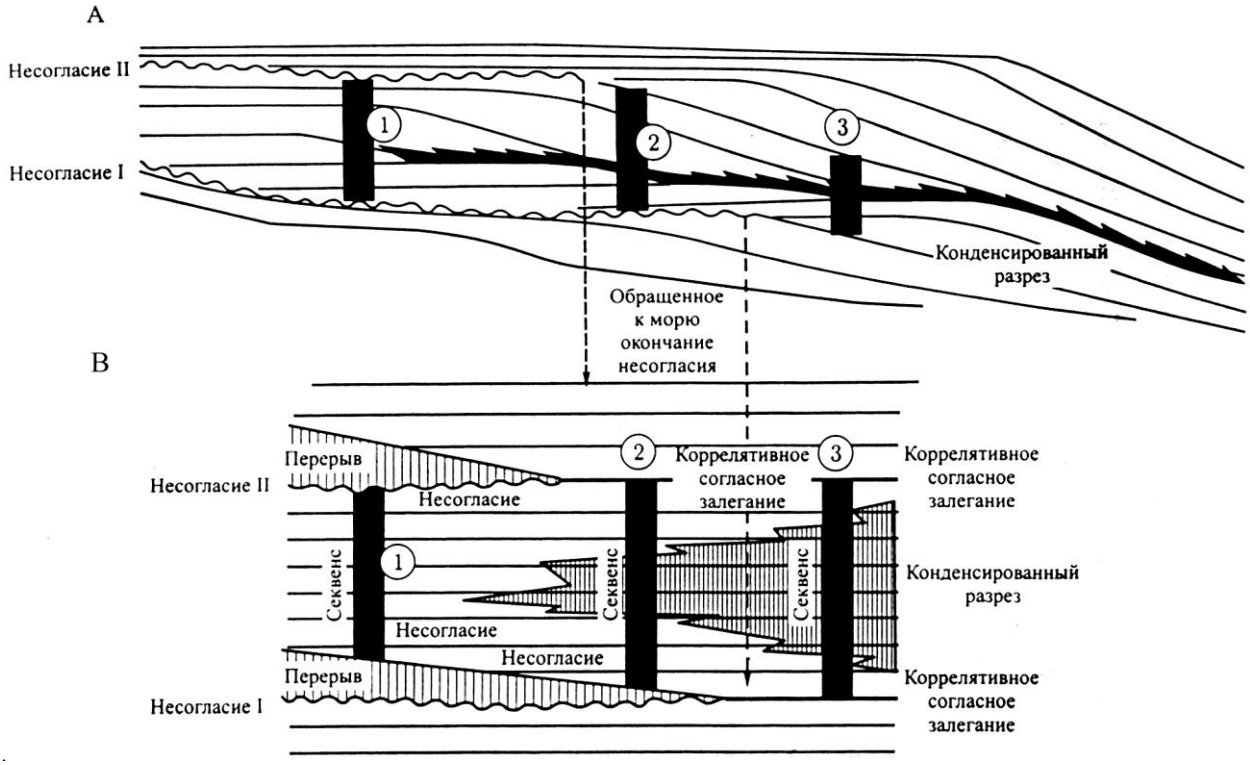


Рис. IV.6.6. Осадочный сиквенс, показанный по глубине (A) и во времени (B) (Г. В. Позаментьер, Дж. П. Аллен, 2014, с. 56). Сиквенс определяется несогласиями I и II, а также коррелятивными им согласными поверхностями, продолжающимися в пределах пространства, в которое не распространяются несогласия (отмечено стрелками). Сиквенс в местоположении 1 в подошве и кровле ограничен несогласиями, в местоположении 2 – несогласием в основании и коррелятивным согласным залеганием в кровле, а в местоположении 3 – коррелятивными согласными залеганиями в основании и кровле

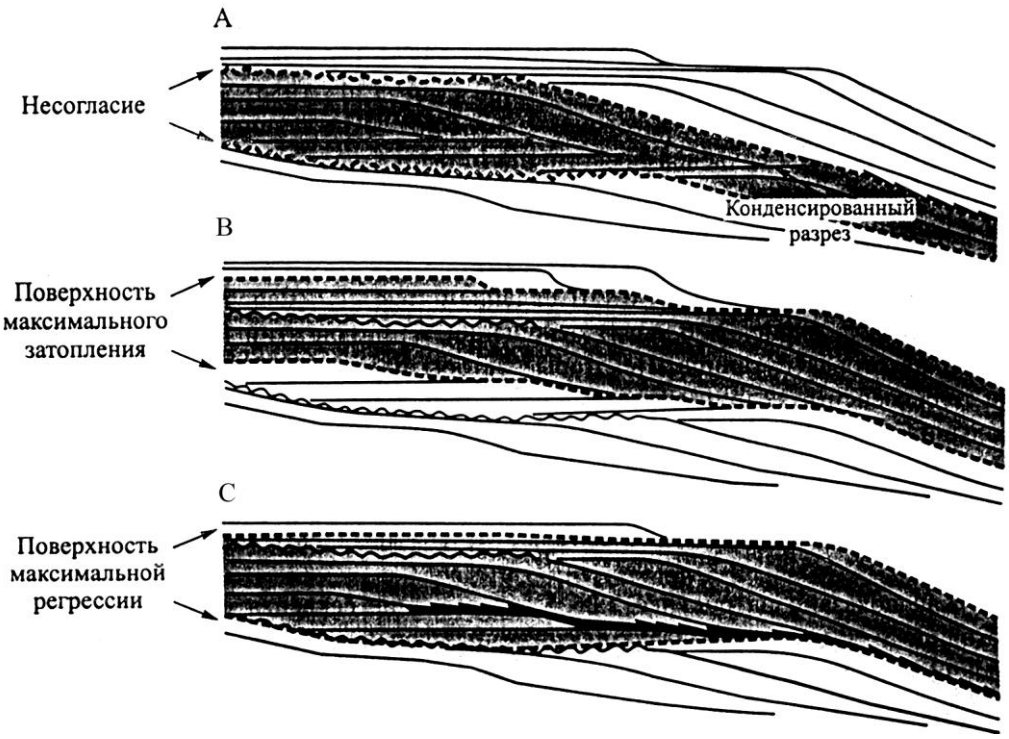


Рис. IV.6.7. Схематическое изображение различных определений сиквенса (Г. В. Позаментьер, Дж. П. Аллен, 2014, с. 59): *A* – сиквенс, ограниченный несогласиями или коррелятивными им согласными залеганиями; *B* – сиквенс, ограниченный поверхностями максимального затопления; *C* – сиквенс, ограниченный поверхностями максимальной регрессии

Сиквенсы состоят из трех **системных трактов** (systems tract). Тракты представляют собой латеральные фациальные ряды (осадочные системы), образовавшиеся в различных условиях седиментации, контролируемой положением уровня моря (рис. IV.6.8).

Рис. IV.6.8. Схема, иллюстрирующая распределение системных трактов в пределах элементарного эвстатического цикла

Тракт низкого уровня моря *(lowstand systems tract – LST)* связан с потоками подводных каналов, активно действующими при снижении уровня моря *ниже бровки шельфа.* Он сложен в основном турбидитами и подстилающими их подводными конусами выноса.

Трансгрессивный системный тракт *(transgressive systems tract – TST)* образуется при подъеме уровня моря над бровкой шельфа. Полоса представлена «наступающим на сушу» пакетом парасиквенсов, характеризующим трансгрессию на осушенную территорию. В зашельфовой области образуется глинистый конденсированный разрез *(condensed-section deposits).*

Тракт высокого уровня моря *(highstand systems tract – HST)* начинается *аградационным пакетом парасиквенсов,* которые по мере снижения темпов подъема уровня моря сменяются серией клиноформ «наступающей суши». Этот седиментационный клин высокого стояния уровня моря (hidhstand wedge) в глубоководной части бассейна превращается в тонкий глинистый покров, наращивающий конденсированный разрез трансгрессивного тракта.

Кровля трансгрессивного системного тракта представляет собой ***поверхность максимального затопления*** территории *(maximum flooding surface – MFS).* Она является границей сиквенсов в одной из модификаций сиквенс-стратиграфии – генетической стратиграфии (genetic stratigraphy).

Выделяются **два типа сиквенсов** и соответственно два типа их границ (Дополнения …, 2000).

Сиквенс первого типа содержит (снизу вверх): полосу осадков низкого уровня моря, трансгрессивную полосу осадков и полосу осадков высокого уровня моря. Нижняя граница сиквенса четкая, что обусловлено значительным снижением уровня моря, приводящего часто к субаэральному размыву шельфа (рис. IV.6.9).

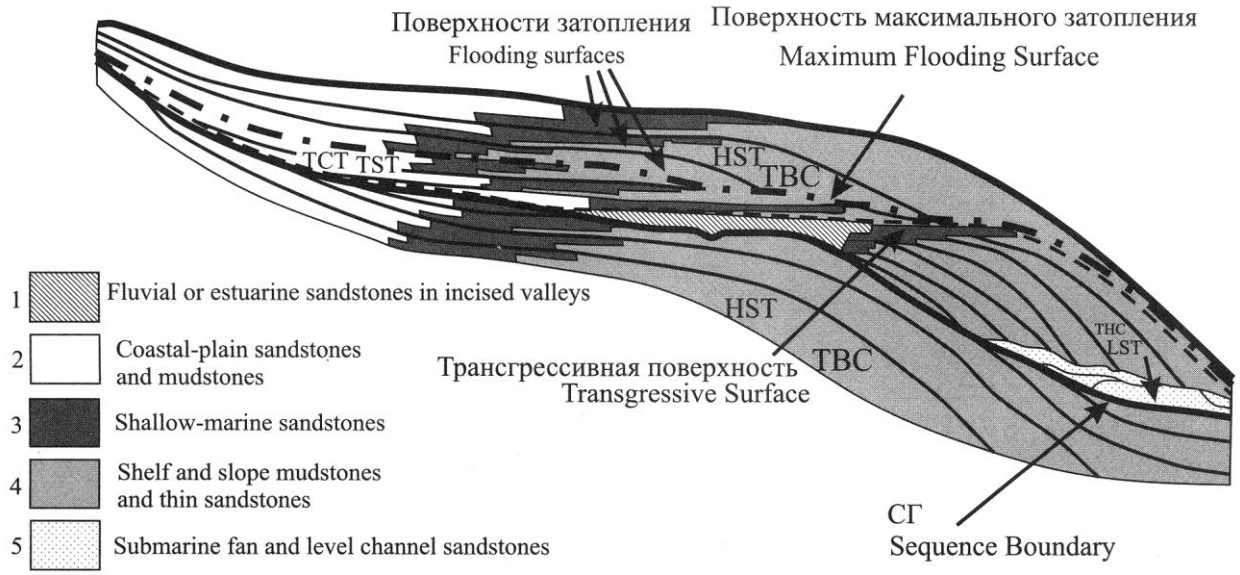


Рис. IV.6.9. Седиментационная модель секвенции первого типа (Van Wagoner et al., 1990, www.uga.edu/~strata/sequence/types.html):

1 – флювиальные или эстуариевые песчаники во врезанных долинах; *2* – песчаники и мадстоуны прибрежной равнины; *3* – мелководно-морские песчаники, *4* – шельфовые или склоновые мадстоуны и тонкие песчаники, *5* – песчаники подводного конуса выноса и намывного (берегового) канала. Сокращения: ТНС – тракты низкого стояния; ТВС – тракты высокого стояния; ТСТ – трансгрессивная система трактов; СГ – секвентные границы

Сиквенс второго типа формируется при медленном подъеме уровня моря и его стабилизации. Здесь отсутствует типичный тракт низкого стояния уровня моря. Вместо него при наиболее низком положении уровня моря формируется *седиментационная полоса окраины шельфа (окраинно-шельфовый тракт; shelf-margin systems tract),* представленная пакетом проградационных и аггрдационных парасиквенсов (рис. IV.6.10).

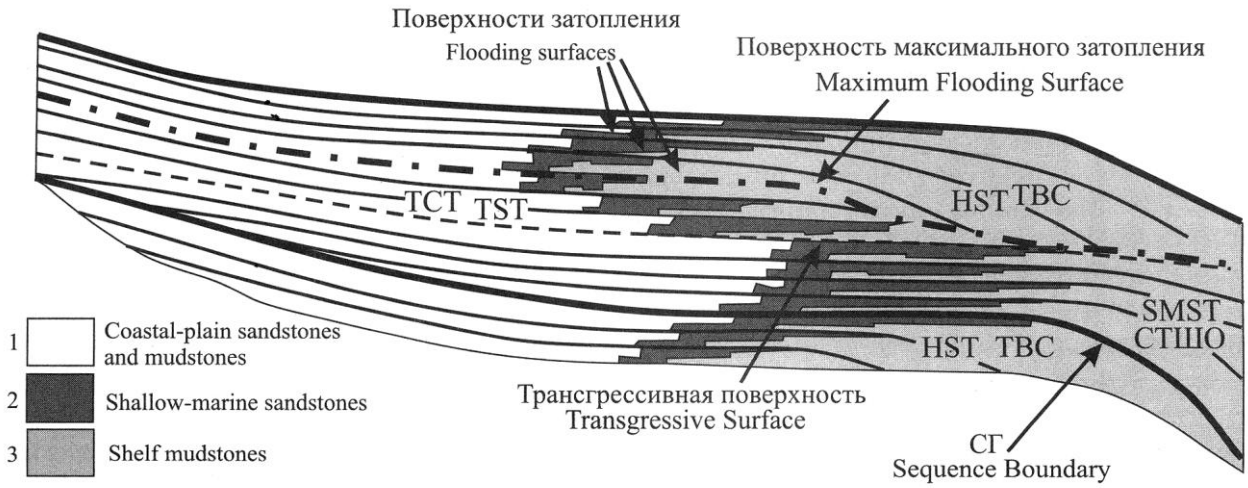


Рис. IV.6.10. Седиментационная модель секвенции второго типа (Van Wagoner et al., 1990, www.uga.edu/~strata/sequence/types.html):

1 – песчаники и мадстоуны прибрежной равнины; *2* – мелководно-морские песчаники; *3* – шельфовые или склоновые мадстоуны и тонкие песчаники; СТШО – система трактов шельфовой окраины

Парасиквенс (parasequence) – последовательность слоев, гранулометрический состав которых закономерно увеличивается снизу вверх по разрезу и по направлению от открытого моря к береговой линии. Подошва (и кровля) парасиквенса обычно формируются за счет резкого изменения уровня моря. Синонимы парасиквенса = мелеющая снизу вверх последовательность слоев = ретроградационный циклит (см. рис. III.7.6).

Пакет парасиквенсов (parasequence set) – ряд парасиквенсов, сформированных на определенной части цикла колебания уровня моря.

Выделяют три типа таких пакетов: **проградационный** или *регрессивный* (наступают континентальные условия), **ретроградационный** или *трансгрессивный* (наступает море), и **аградационный** с относительно стабильным положением ландшафтных обстановок (рис. IV.6.11).

Рис. IV.6.11. Схема, иллюстрирующая проградационную последовательность парасиквенсов (Van Wagoner et al., 1990)

IV.6.3. Сиквенсы, фации и формации

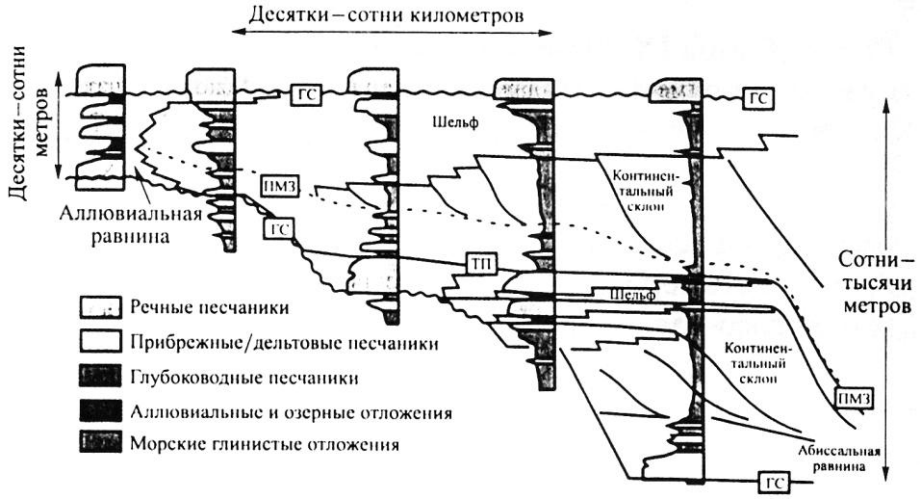


Рис. IV.6.12. Диаграммы гамма-каротажа и фациальные взаимоотношения в осадочном сиквенсе пассивной окраины в различных палеогеографических обстановках (Г. В. Позаментьер, Дж. П. Аллен, 2014, с. 206): Сиквенсы имеют тенденцию цикличного строения – от песчанистых отложений на границе сиквенса через трансгрессивные глинистые осадки на поверхности максимального затопления к повторному погрублению вверх по разрезу все более мелководных песчанистых отложений поздней стадии этапа высокого стояния. Сокращения и их расшифровка: ГС (SB) – граница сиквенса, ТП (TS) – трансгрессивная поверхность, ТТ (TST) – трансгрессивный тракт, ТВС (HST) – тракт высокого стояния, ТНС (LST) – тракт низкого стояния, ПМЗ (MFS) – поверхность максимального затопления

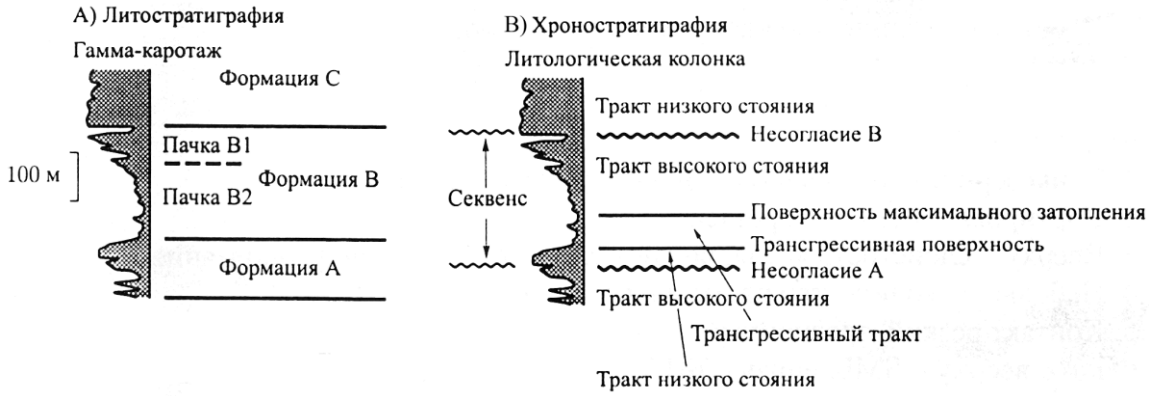


Рис. IV.6.13. Схематическое изображение различий в подходах с позиций «классической» стратиграфии, то есть литостратиграфии (А), и сиквенсной стратиграфии, или хроностратиграфии (В) (Г. В. Позаментьер, Дж. П. Аллен, 2014, с. 7). В рамках литостратиграфического подхода стратиграфические пачки обособляются на основе физических характеристик пород, тогда как при сиквенс-стратиграфическом подходе они выделяются на основе хроностратиграфии. При этом особая роль уделяется выявлению поверхностей, разделяющих крупные осадочные комплексы

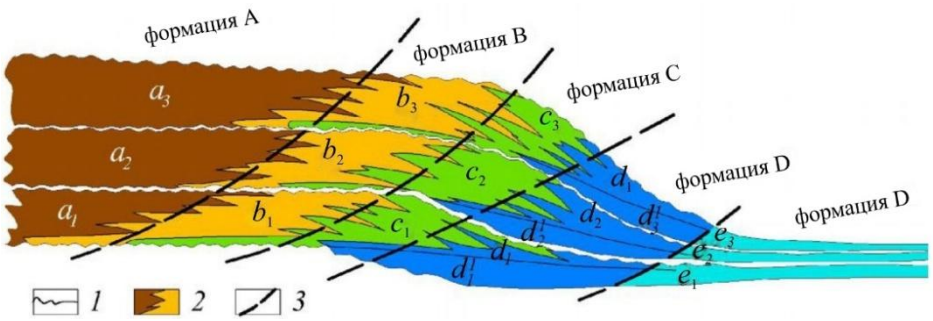


Рис. IV.6.14. Соотношение стратиграфических и осадочно-породных ветвей геологической системы (Sea Level …, 1988; Siliciclastic…, 1990; из http://www.ngtp.ru): *1* – границы секвенсов; *2* – границы фаций; *3* – границы формаций

a, b, c, d, e – градации (нижние цифры – принадлежность в целом к секвенсу, верхние – только к трактам низкого стояния уровня моря);

A, B, C, D, E – формации (схема для терригенного осадконакопления гумидных зон; *A* – континентальная и паралическая, *B* и *C* – литоральные алеврито-песчаные, *D* – склоновая турбидитовая, *E* – глубоководная глинистая, глинисто-силицитовая)

IV.7. УСЛОЖНЕНИЯ ПРИ КОРРЕЛЯЦИИ: РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

IV.7.1. Зубчатость латеральных границ

В работе, ставшей основополагающей для основного фациального закона, Н. А. Головкинский указал на следующее:

> «... не должно забывать, что правильность и простота очертанія слоевъ, какую представляютъ фиг. 22 и 24, мыслима только при идеально-простомъ теченіи процесса; для этого требуется именно, чтобъ береговые осадки всегда уносились на одинаковое разстояніе отъ берега, чтобъ съ каждымъ днемъ край песчанаго отложенія *c* (фиг. 20) на столько же подавался вправо, на сколько подается сюда, вслѣдствіе опусканія, береговой пунктъ морскаго уровня *o′*. Такая правильность немыслима: подъ вліяніемъ дождливыхъ и сухихъ временъ года, въ теченіи которыхъ рѣки, то многоводныя и быстрыя, то обмелѣвшія и тихія, приносятъ бо̀льшее или меньшее количество суспенсированнаго и перекатывающагося по дну матеріала, распредѣляя его на болѣе, или менѣе значительной области, подъ вліяніемъ бурь и временныхъ теченій, береговыя отложенія постоянно измѣняютъ площадь своего распространенія, то вытягиваясь въ открытое море, въ область Известняка, то отступая къ берегу. Это объуслосливаетъ неравномѣрную зубчатость слоя; зубцы эти, чрезвычайно острые и вытянутые, являются въ видѣ тонкихъ прослоекъ, перемежающихся съ породой смежнаго слоя...» (Н. А. Головкинский, 1868, с. 126; в репринтном издании 2009 г. - с. 149).

Модельное изображение процесса формирования таких зубцов показано на рис. IV.7.1.

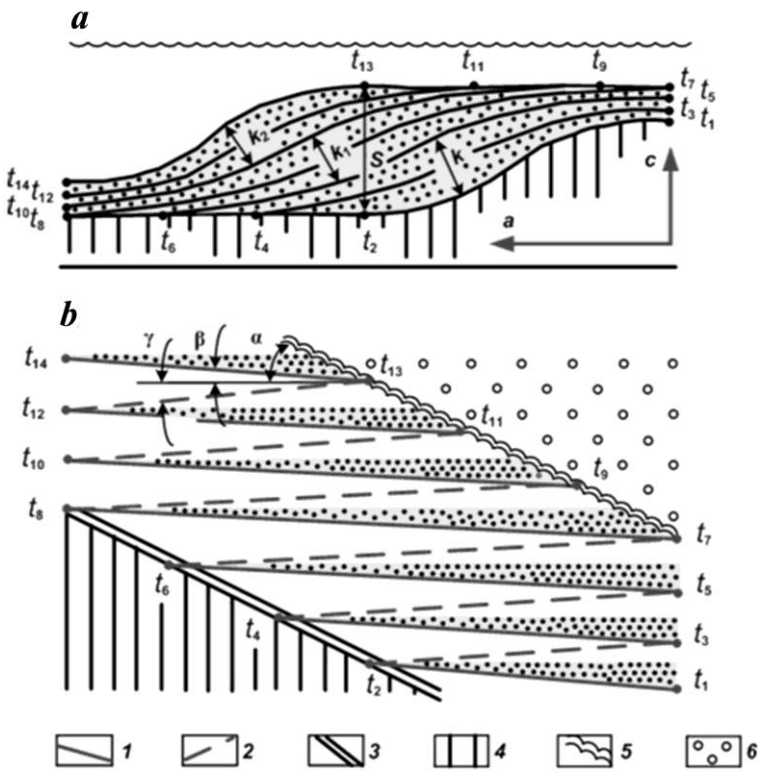


Рис. IV.7.1. Модель, иллюстрирующая формирование зубчатых границ слоев миграционного режима: *a* – схема соотношения между «геологической» или седиментологической ($\kappa + \kappa_1 + \kappa_2$) и наблюдаемой или «видимой» мощностью (*s*) осадков: по Т. Чемберлену (T. C. Chamberlin, 1914); *a-c* – латеральное и временно́е смещение слоев;

b – временна́я развертка верхней части рисунка (*a*) по последовательным отсчетам времени t_1-t_{14}: *1* – трансгрессивное налегание слоев; *2* – регрессивный возврат в исходную (на чертеже) точку; *3* – общее трансгрессивное (либо ингрессивное) налегание комплекса, с перерывом или размывом ранее сформированных отложений (*4*); *5* – завершение накопления комплекса, с последующим перерывом или новым этапом осадконакопления (*6*);

α – угол взбегания, аналогичный для текстуры «восходящей ряби»; β – угол наклона слоевых единиц к горизонту; γ – угол наклона предыдущей слоевой единицы к горизонту, который может приобретать отрицательное значение в условиях перерывов (диастем)

Такая зубчатость присуща всем уровням скольжения границ геологических тел, приведенным в табл. IV.5.1. По принципу «от меньшего к большему» примеры ее реализации показаны на рис. IV.7.2 – IV.7.4.

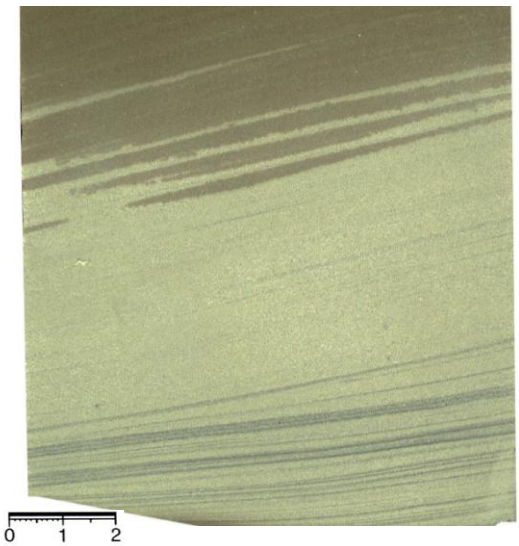


Рис. IV.7.2. «Зубчатость» в керне:
песчаник тонкозернистый, хорошо сортированный, в верхней части послойно нефтенасыщенный. Четкая косая однонаправленная слабосрезанная слоистость. Фиксируется зубчатый характер mini-ВНК (водонефтяной контакт), в самой верхней части перерыв (*d*), служащий экраном.

Каменное месторождение Красноленинского НГР (Западная Сибирь), викуловская свита

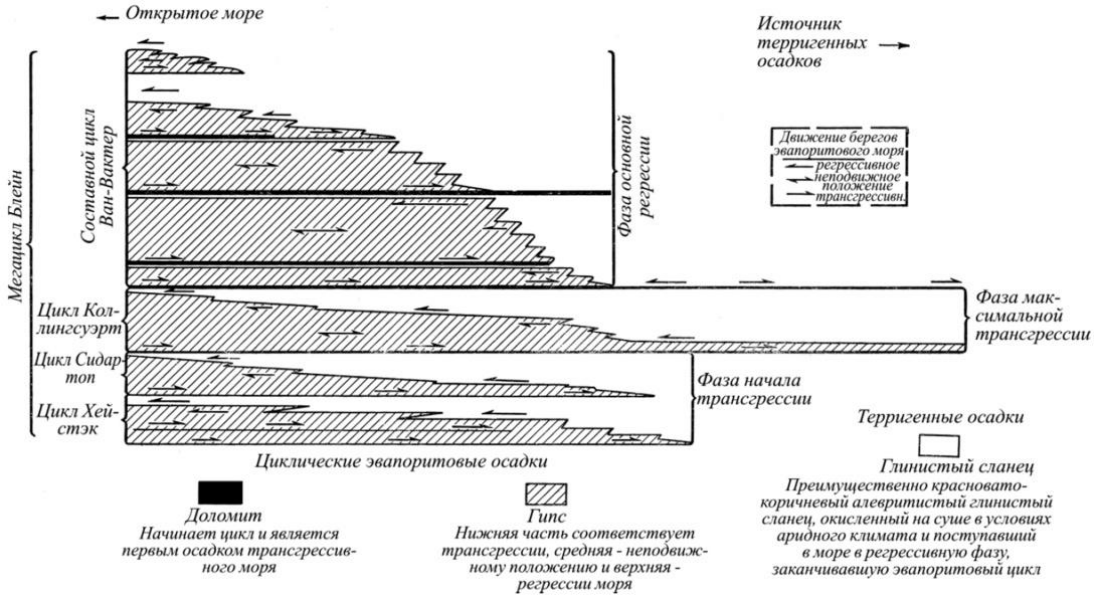


Рис. IV.7.3. Гипсоносные циклы в пермских отложениях Оклахомы (по Хэму: Ham W. E., 1960) (П. Дафф и др., 1971)

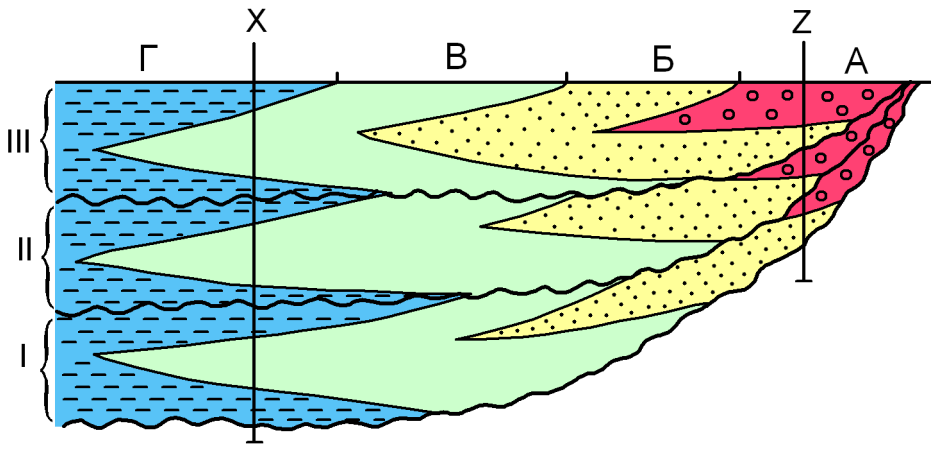


Рис. IV.7.4. Схема латеральных вариаций циклического типа в пределах генетических инкрементов толщи осадка (инкремент – комплекс осадочных пород, в котором фации генетически связаны друг с другом) (Р. Селли, 1981, с. 291)

На рис. IV.7.5 приведена **сводная модель**, иллюстрирующая взаимосвязь основных факторов, контролирующих морфоструктуру широкого диапазона слоевых единиц – от слойков до крупных слоевых комплексов, с общим диапазоном толщин примерно 10^6 (см. табл. IV.5.1).

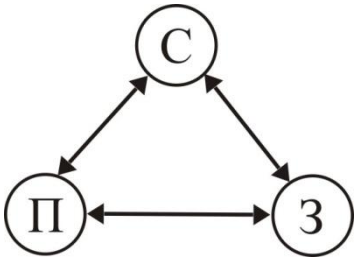
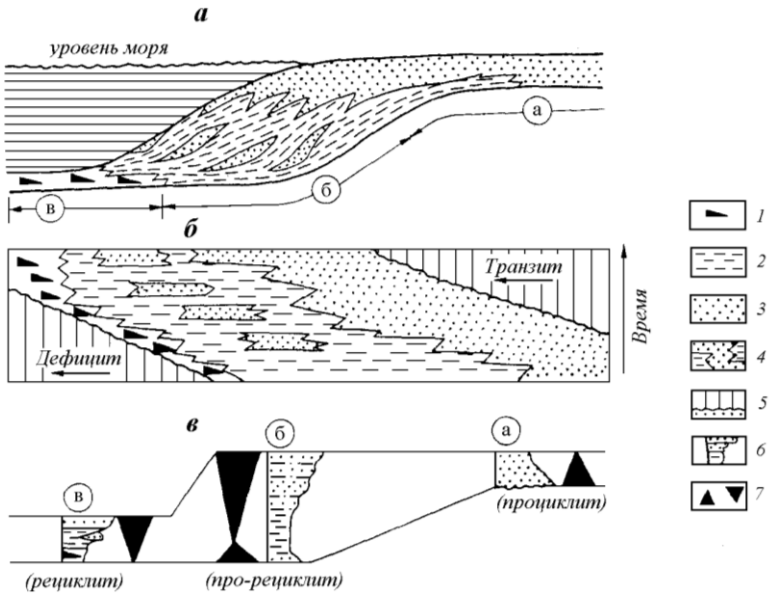


Рис. IV.7.5. Взаимоотношение основных параметров, контролирующих морфоструктуру слоевых единиц:
С – скольжение слойков, слоев, коллекторов;
П – перерывы различной длительности;
З – зубчатость границ по латерали

IV.7.2. Инверсия циклитов и трансляция коллекторов

Одну из первых (а возможно, первую) схем, иллюстрирующих инверсию строения «механизированных циклитов» (см. п. III.7.2) при их прослеживании по латерали предложил А. А. Нежданов (рис. IV.7.6).

Рис. IV.7.6. Схема строения циклита, формирующегося в относительно глубоководном бассейне в условиях трансгрессивно-регрессивного режима седиментации (А. А. Нежданов, 1990):
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* – транзиентный; *б* – перфектный (завершенный), *в* – дефициентный



«Зубчатость» границ песчаных тел неизбежно следует из механизма их формирования, различающегося для каждой из областей осадконакопления (рис. IV.7.7). Смены строения «циклитов» и изменения положения песчаных горизонтов показаны на рис. IV.7.8, IV.7.9.

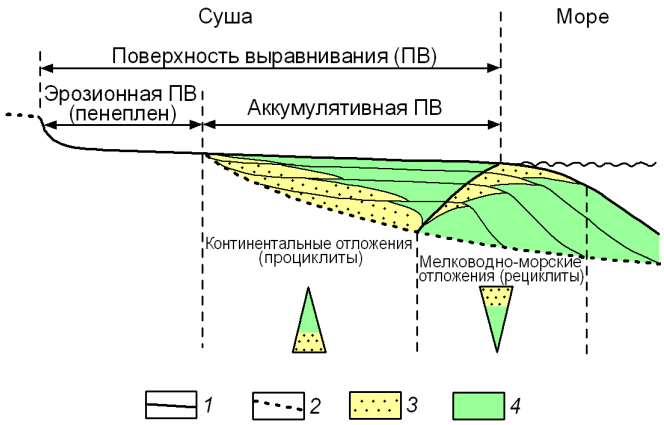


Рис. IV.7.7. Единая поверхность выравнивания, осадочный комплекс и типы циклитов на континенте и в морской фациальной области (А. Л. Бейзель, 2008):
1 – единая поверхность выравнивания; *2* – поверхность выравнивания предшествующего цикла; *3* – песчаные отложения; *4* – глинистые отложения

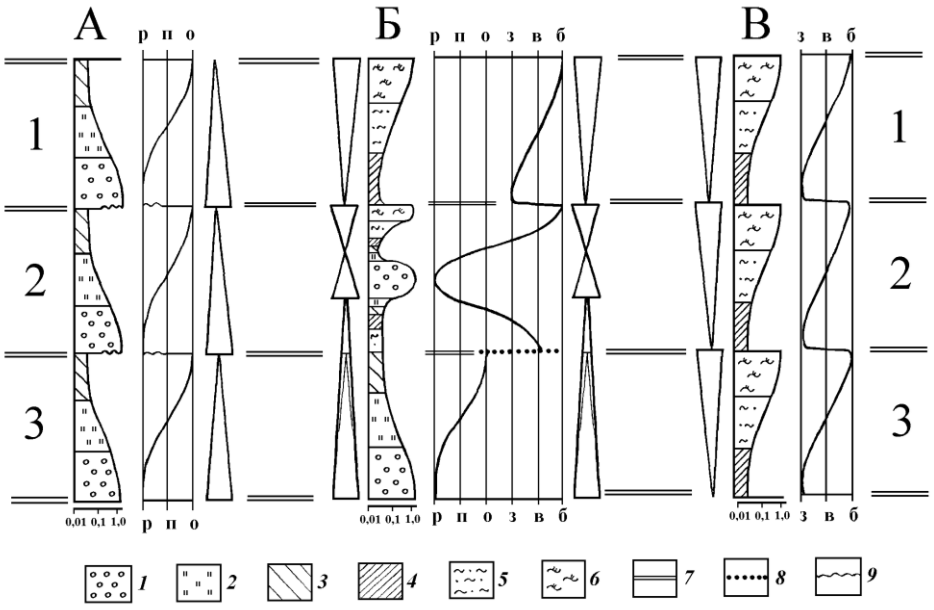


Рис. IV.7.8. Модельные представления о выделении и сопоставлении (корреляции) комплексов пород – литоциклов, циклитов:

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

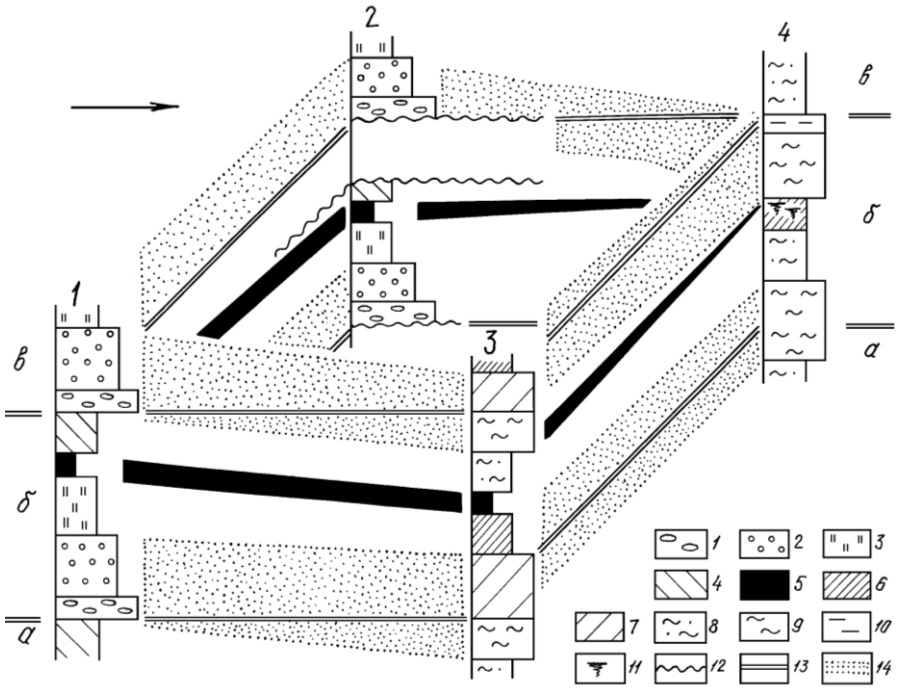


Рис. IV.7.9. Скольжение песчаных горизонтов относительно границ литоциклов (принципиальная модель):

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

IV.7.3. Модельные представления и практическое использование сведений о диахронности слоевых единиц

Расширенное представление о взаимосвязи процессов, определяющих формирование миграционных слоевых единиц, дает рис. IV.7.10.

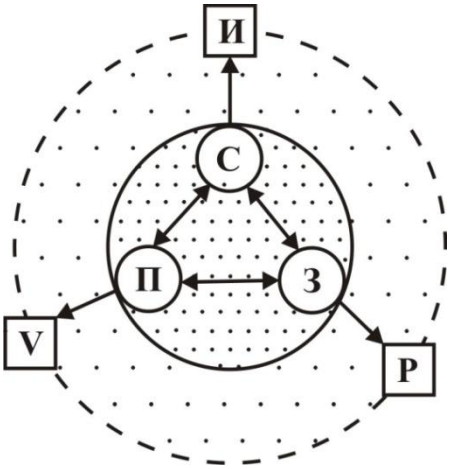


Рис. IV.7.10. Взаимоотношения основных параметров формирования слоевых единиц:

- малый круг, показанный густым крапом, соответствует основным характеристикам слоя (см. рис. IV.7.5);
- большой круг, показанный редким крапом, объединяет выводные данные из установленных характеристик: И – инверсия строения слоевых единиц (миграционный режим осадконакопления); Р – ритмичность (см. п. IV.3.2); V– скорости седиментации и темпы закрепления осадков

На рис. IV.7.11 приведен пример использования этих представлений для реконструкции базального горизонта юрского комплекса Шаимского нефтегазоносного района (НГР) Западной Сибири. На нем отчетливо видно, что, отражая общее скольжение (диахронность) инициально-базальной части разреза, непосредственный контакт осадочного чехла и доюрского фундамента имеет свою геологическую историю, т. е. генетически не может быть сведен к некоей «условной линии», которая, как правило, изображается на разрезах.

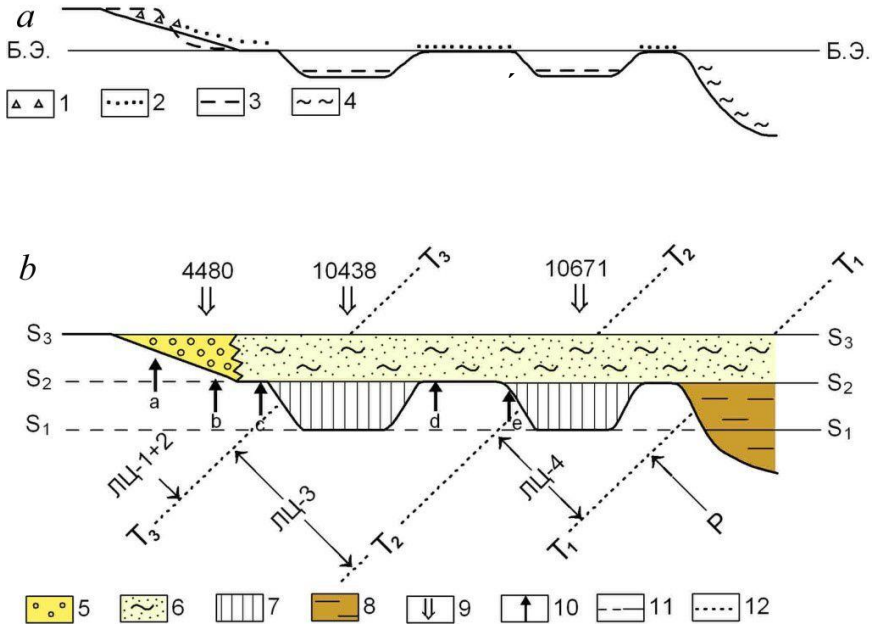


Рис. IV.7.11. Модель контакта отложений тюменской свиты с доюрским фундаментом:

a – слепок плоскости контакта вне временных параметров (Б. Э. – базис эрозии): осадки: *1* – грубые склоновые, *2* – алевритопесчаные континентальные (озерно-аллювиальный ландшафт), *3* – алевроаргиллитовые застойных озерных водоемов, в т. ч. *4* – развивающихся по приемным водоемам эпиконтинентальных морских бассейнов (ЭМБ);

b – развернутая геологическая история контакта (проекция схемы «а»): *5-8* – генезис осадков: *5* – делювиально-пролювиальные, переходящие в аллювиальные, *6* – открытых озерных водоемов, *7* – инициальных озерно (болотных) котловин, *8* – обширной озерно-болотной равнины с влиянием ЭМБ; *9* – положение скважин; *10* – литоциклы; *11* – седиментологические уровни (S), отвечающие эквифинальным этапам формирования отложений; *12* – изохроны (Т), соответствующие стратиграфическим границам: T_1 – радомской пачки (Р) и нижнего контакта тюменской свиты, T_2, T_3 – литоциклов II порядка

Конкретным примером реализации комплексного подхода к изучению осадочных толщ служит рассмотрение генезиса отложений васюганского горизонта Западно-Сибирского бассейна с коллектором $Ю_1$ (рис. IV.7.12).

Рис. IV.7.12. Пример комплексного использования методов исследования для горизонта $Ю_1$ (Западная Сибирь) (В. П. Алексеев и др., 2014)

Реалистично подходя к наличию конкретной информации, которая в подавляющем большинстве случаев, заключается почти в полном отсутствии керна, при широко представленных сведениях ГИС (геофизических исследований скважин), заключим тему IV.7 следующими положениями.

При корреляции сложнопостроенных объектов рекомендуется использовать ряд методических приемов, выполняемых в следующей последовательности:

« – выбор комплекса наиболее информативных кривых ГИС применительно к геологическим условиям каждого района;

– усиление масштаба записи визуально наименее информативных кривых ГИС (из выбранных) при корреляции в интерактивном режиме;

– предварительная корреляция по одной кривой с последующей ее проверкой по остальным геофизическим кривым;

– растяжение и сжатие кривых ГИС в интервале вертикальных масштабов от 1:1000 до 1:100 и выше;

– закраска интервалов, ограниченных одной или двумя кривыми;

– последовательное палеопрофилирование с неоднократной сменой линий сопоставления в разрезе отложений в разных направлениях по высоте;

– приведение разных толщин отдельного пласта в ряде скважин к одинаковой толщине;

– совмещение схем корреляции с сейсмическими профилями в масштабе не менее 1:1000.

После выполнения корреляции рекомендуется анализировать характер изменения толщин каждой из пачек пород, выделенных снизу вверх по разрезу, с целью выявления особенностей условий залегания и формирования сложнопостроенных объектов» (Методические …, 2013, с. 15).

IV.8. ЛИТОЛОГИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

IV.8.1. Структура и методы палеогеографии

«**Палеогеография** (ПГ), не имеющая собственного объекта изучения, не имеет и онтологических законов и теорий. Это лишь методическая интерпретационная наука, которую можно определить как **геологическую науку, разрабатывающую методы восстановления географических обстановок прошлого (общая ПГ), восстанавливающую эти обстановки для региона (региональная ПГ) и для Земли в целом (глобальная ПГ).** Палеогеография, следовательно, ***целиком «созидательная», творческая наука:*** она создает методы распознавания прошлого и "творит" это прошлое, хотя только в информационном плане» (В. Т. Фролов, 2004, с. 94).

Таблица IV.8.1

Положение палеогеографии в системе наук о Земле
(А. А. Свиточ и др., 2004, с. 10)

Географические науки	Геологические науки	Биологические науки
Физическая география (ландшафтоведение, геоморфология, гидрология, климатология, океанология, биогеография, почвоведение, гляциология и др.) Картография	Литология (учение о фациях) Геотектоника (мобилизм) Палеонтология Историческая геология	Экология (палеоэкология)
П А Л Е О Г Е О Г Р А Ф И Я		

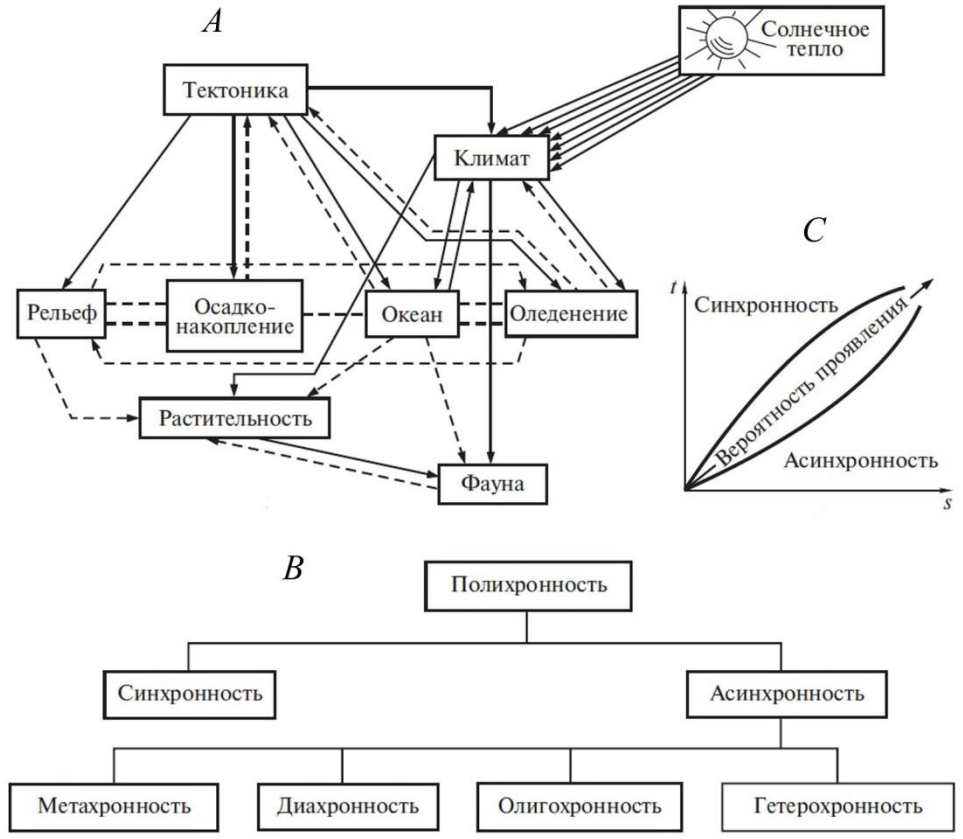
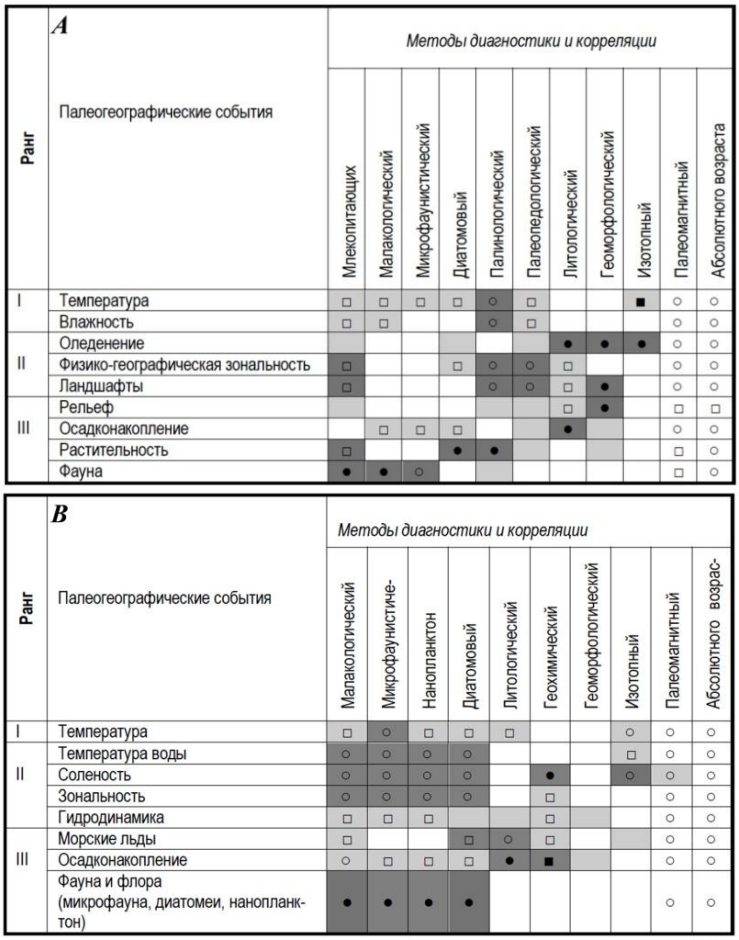


Рис. IV.8.1. Структура палеогеографии (А. А. Свиточ и др., 2004, с. 15): *A* – иерархия природных процессов и компонентов; *B* – временные отношения; *C* – проявление синхронности-асинхронности в зависимости от времени (*t*) и пространства (*S*); греч. meta – после, dia – пере…, olygos – немногий, незначительный, heteros – другой

Сама структура палеогеографии предопределяет большое количество и разнообразие используемых методов. Их набор, используемый при изучении молодых (в геологическом плане) плейстоценовых отложений, приведен на рис. IV.8.2, а для литологических исследований – на рис. IV.8.3.



A

Ранг	Палеогеографические события	Млекопитающих	Малакологический	Микрофаунистический	Диатомовый	Палинологический	Палеоседлологический	Литологический	Геоморфологический	Изотопный	Палеомагнитный	Абсолютного возраста
		Методы диагностики и корреляции										
I	Температура	□	□	□	□	○	□			■	○	○
	Влажность	□	□			○	□				○	○
II	Оледенение							●	●	●	○	○
	Физико-географическая зональность	□			□	○	○	□			○	○
	Ландшафты	□				○	○	□	●		○	○
III	Рельеф							□	●		□	□
	Осадконакопление		□	□	□			●			○	○
	Растительность	□			●	●					□	○
	Фауна	●	●	○							□	○

B

Ранг	Палеогеографические события	Малакологический	Микрофаунистиче-	Нанопланктон	Диатомовый	Литологический	Геохимический	Геоморфологический	Изотопный	Палеомагнитный	Абсолютного возрас-
		Методы диагностики и корреляции									
I	Температура	□	○	□	□	□			○	○	○
II	Температура воды	○	○	○	○				□	○	○
	Соленость	○	○	○	○		●		○	○	○
	Зональность	○	○	○	○		□			○	○
	Гидродинамика	□	□	□			□			○	○
III	Морские льды	□			□	○	□			○	○
	Осадконакопление	○	□	□	□	●	■			○	○
	Фауна и флора (микрофауна, диатомеи, нанопланктон)	●	●	●	●					○	○

1 2 ● 3 ■ 4 ○ 5 □ 6

Рис. IV.8.2. Методы диагностики и корреляции (Методы…, 2010, с. 414-415):

A – на континентах;

B – на шельфах;

Методы диагностики:

1 – ведущий, *2* – используется с ограничениями;

Методы корреляции:

3 – прямой ведущий, *4* – косвенный, *5* – дополнительный, *6* – использование с ограничениями

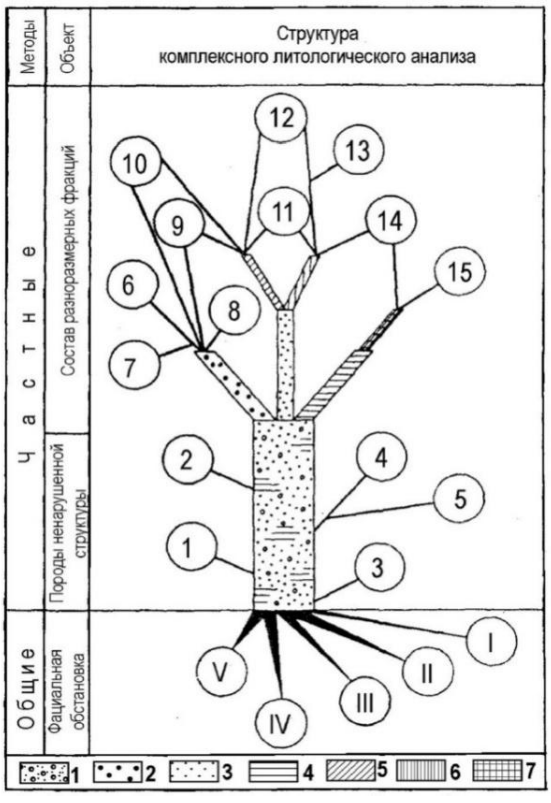


Рис. IV.8.3. Структура комплексного литологического анализа (Методы…, 2010, с. 25): *1* – порода с ненарушенной структурой; *2* – гравий, галька; *3* – песок, алеврит; *4* – глина; *5* – терригенные минералы; *6* – аутигенные минералы; *7* – глинистые минералы. Общие методы исследования: I – сравнительно-географический; II – фациально-генетический; III – геологический; IV – естественно-исторический; V – актуалистический. Частные методы исследования: 1 – анализ текстур; 2 – гранулометрический; 3 – анализ шлифов с ненарушенной структурой; 4 – микроморфологический; 5 – анализ физико-механических свойств; 6 – петрографический анализ обломков (валовой); 7 – то же руководящих обломков; 8 – замеры ориентировки обломков; 9 – морфометрический; 10 – морфоскопический; 11 – минералогический иммерсионный; 12 – минералогический комбинированный (использование бинокулярного и поляризационного микроскопов); 13 – микрохимические реакции; 14 – электронно-микроскопический; 15 – рентгеновский

IV.8.2. Палеогеографические карты

Основным результатом крупномасштабных палеогеографических реконструкций являются собственно палеогеографические карты, отстраиваемые для значительных интервалов геологического времени (как правило, яруса или по меньшей мере его части: ранний, поздний и т. д.) либо для рубежей геологической истории (стратиграфических границ). На рис. IV.8.4 приведена такая карта, составленная на базе плейт-тектоники, для позднеюрского отдела (киммериджский ярус), а на рис. IV.8.5 – гипотетическая карта будущего (Future World), отражающая новое сближение континентов через 250 млн лет.

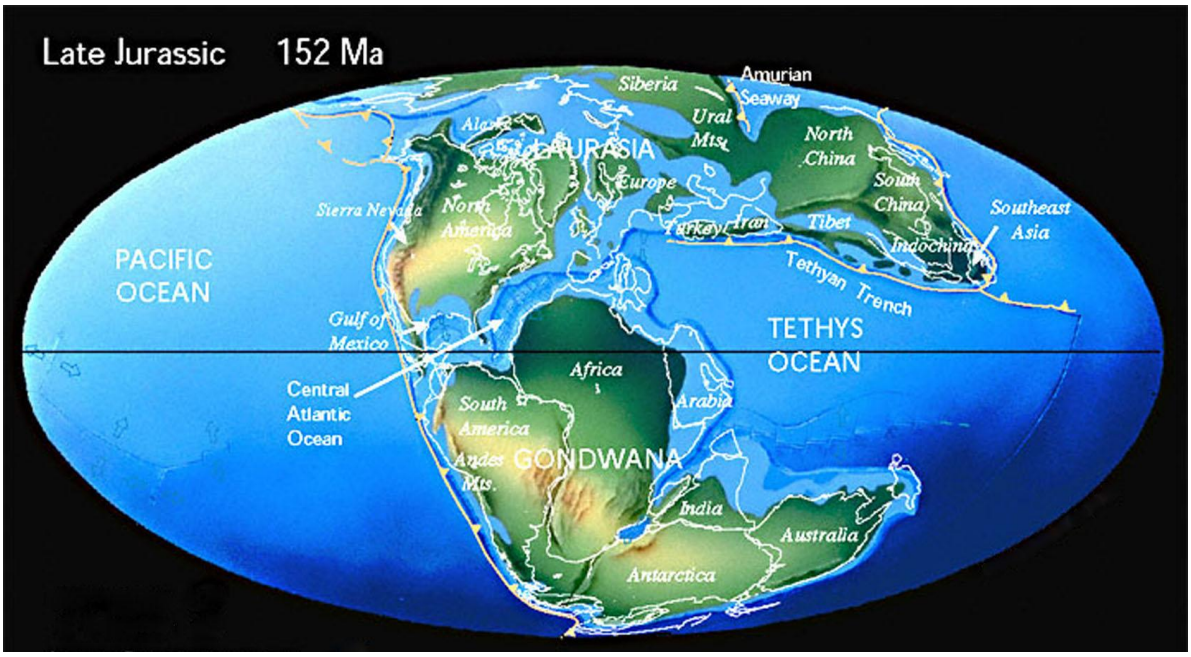


Рис. IV.8.4. Палеогеографическая карта позднеюрского времени (киммериджский ярус). Реконструкция C. R. Scotese, 1997: проект «PALEOMAP»

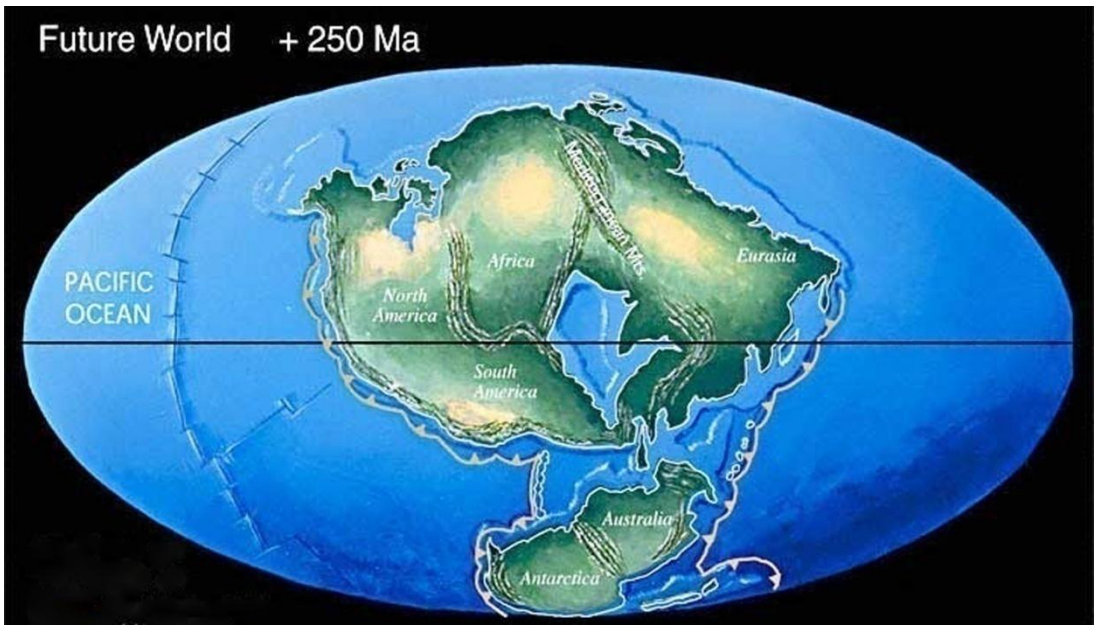


Рис. IV.8.5. Прогнозная палеогеографическая карта будущего (+ 250 млн лет). Реконструкция C. R. Scotese, 2000: проект «PALEOMAP»

Палеогеографические реконструкции общего характера позволяют наметить общие контуры рельефа территории в рассматриваемое время; направления речных потоков и др. (рис. IV.8.6, IV.8.7).

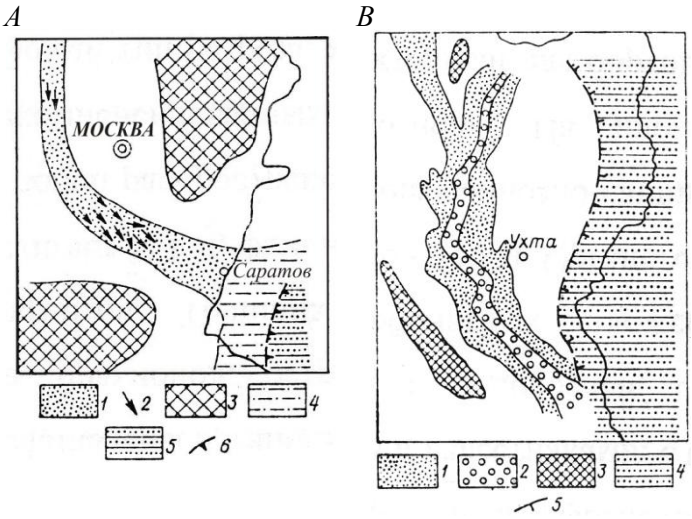
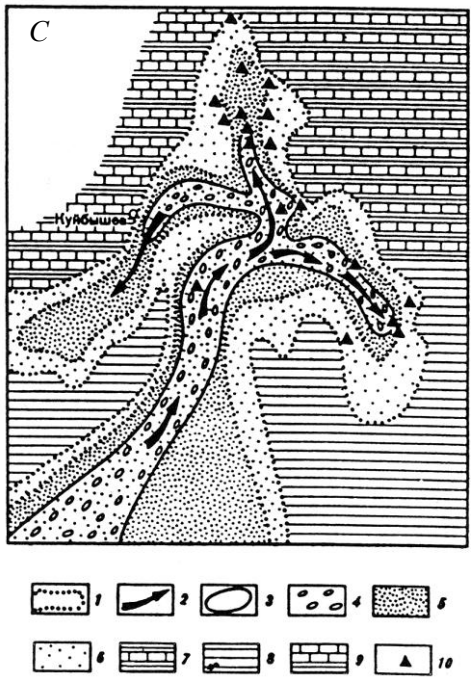


Рис. IV.8.6. Реконструкции палеорек на территории Восточно-Европейской плиты:

A – Рязано-Саратовская палеорека визейского века (C_1) (Методы…, 1984, с. 256): *1* – долина, заполненная аллювиальными осадками; *2* – ориентировка наклонов серий косых слойков; *3* – палеосводы, выраженные в палеорельефе возвышенностями; *4* – авандельтовые песчано-глинистые осадки; *5* – линзовидные песчано-глинистые осадки; *6* – граница авандельты;



B – Тиманская палеорека визейского века (C_1) (Методы…, 1984, с. 257): *1* – речные отложения; 2 – пойменные отложения; *3* – возвышенности; *4* – морские песчано-глинистые осадки; *5* – предполагаемая береговая линия;

C – схема палеотечений ранне- и средневизейского (C_2) времени, «замыкающихся» перед Татарским палеосводом (Г. А. Каледа, 1985, с. 95): *1* – граница распространения терригенных коллекторов; *2* – направление течений; *3* – граница распространения песчаных коллекторов более 20 м (до 45 м); *4* – песчаные отложения суммарной мощности более 20 м; *5* – то же, от 10 до 20 м; *6* – то же менее 10 м; *7* – известняковые и глинистые отложения с преобладанием известняковых; *8* – глинистые отложения; *9* – известняковые и глинистые отложения; *10* – залежи нефти и газа

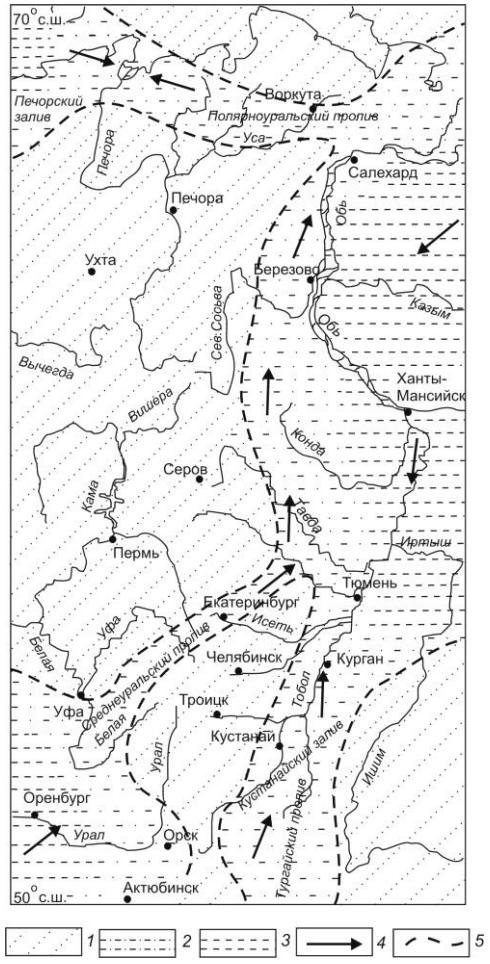


Рис. IV.8.7. Схема положения береговых линий вокруг Уральской суши в раннекампанское время (Э.О. Амон и др., 2007):

1 – суша; *2* – мелководные прибрежно-морские отложения; *3* – отложения более глубоководных зон моря; *4* – направления обмена фауной; *5* – береговая линия

IV.8.3. Литолого-фациальные карты

Единого мнения в терминологии, относящейся к мелкомасштабным картам, на которых изображается детальная реконструкция условий осадконакопления, нет. Одна из возможных классификаций видов карт выглядит следующим образом (Б. П. Жижченко, 1974, с. 352):

• *литологические*, на которых показано только распределение литологических (точнее, почти всегда гранулометрических: см. с. 121) типов пород;

• *литолого-фациальные*, на которых кроме литологии пород показываются (как правило, цветом) и условия их формирования (фации);

• *фациальные*, где указываются только области развития пород, формировавшиеся в разных условиях (обстановках).

На все эти карты могут наноситься сведения о мощностях (толщинах) как отображаемых элементов, так и других параметров (изопахиты).

Важное значение имеет выбор **объекта** палеореконструкций (рис. IV.8.8), в ходе которого следует учитывать наличие перерывов в осадконакоплении (см. III.10), а также диахронность границ многих легко распознаваемых геологических тел (см. IV.5).

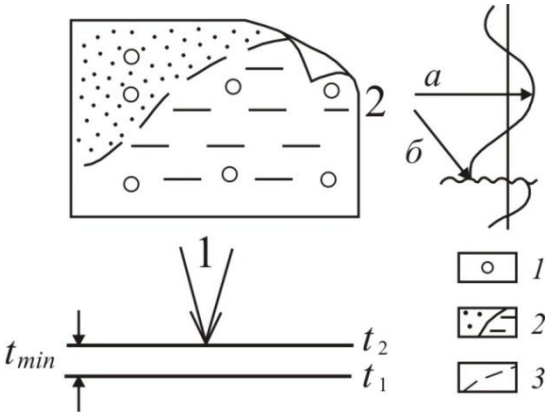


Рис. IV.8.8. Основные направления (векторы) оптимизации палеогеографических реконструкций: 1 – сужение стратиграфического диапазона; 2 – выбор «поворотного момента» в истории развития территории: максимальная трансгрессия (*а*) или регрессия (*б*):

1 – точки наблюдения (скважины); *2* – палеоландшафты и *3* – границы между ними

Пример палеореконструкций для разновременных геологических объектов, которые могут соединяться в единое литологическое тело, приведен на рис. IV.8.9.

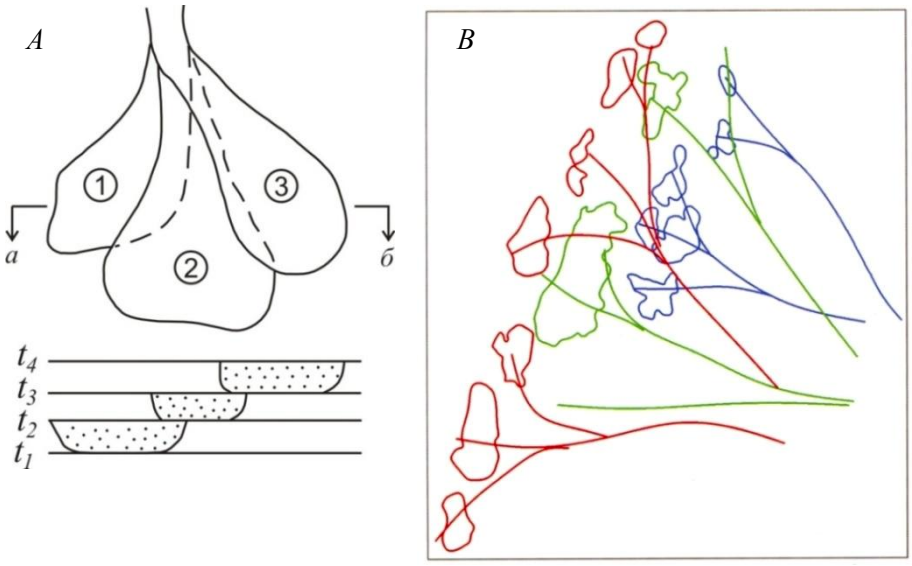


Рис. IV.8.9. Палеогеографические реконструкции для подводнодельтовых конусов выноса: *A* – принципиальная схема: 1-3 – последовательно формирующиеся лопасти с веерообразным смещением в промежутки времени t_1 … t_4; *B* – реконструкция дельтовых систем во время формирования клиноформ (снизу вверх по разрезу): $БВ_{8-9}$ (синий цвет) – $БВ_{6-7}$ (зеленый) – $БВ_{4-5}$ (красный). Широтное Приобье, Западная Сибирь (Атлас…, 2007)

Последовательное смещение песчаных тел – коллекторов нефти и газа – иллюстрирует рис. IV.8.10.

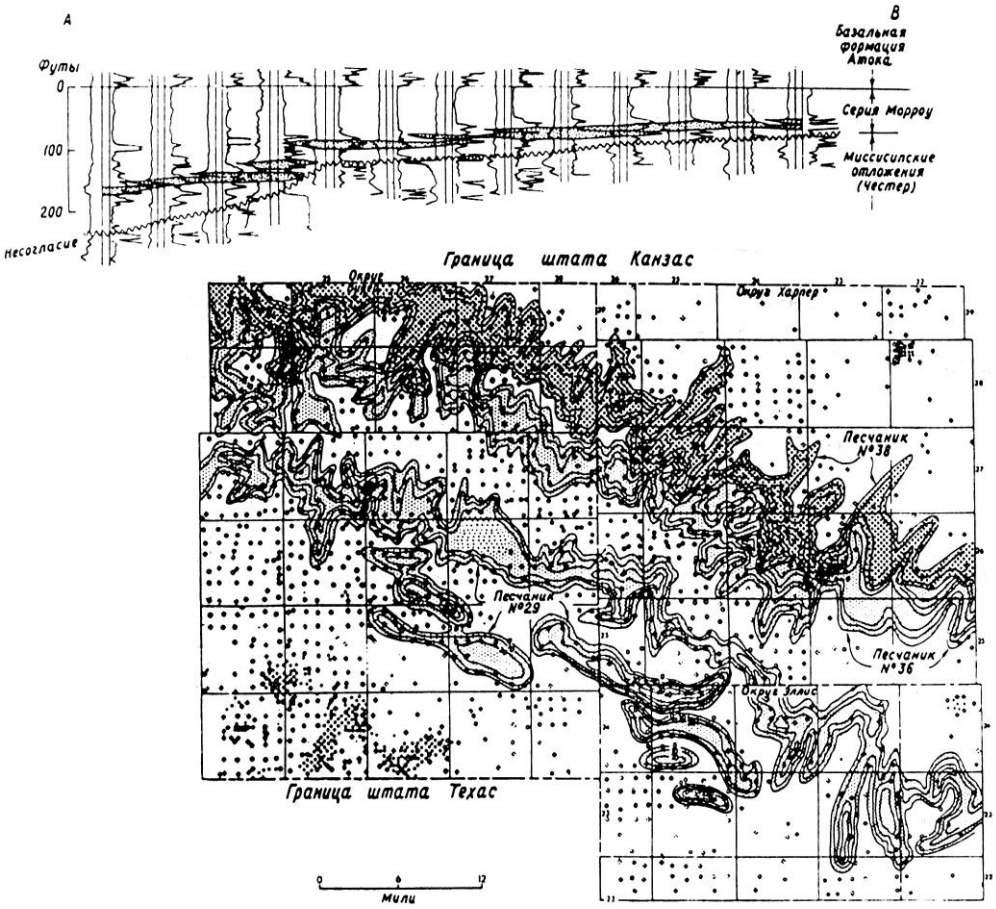
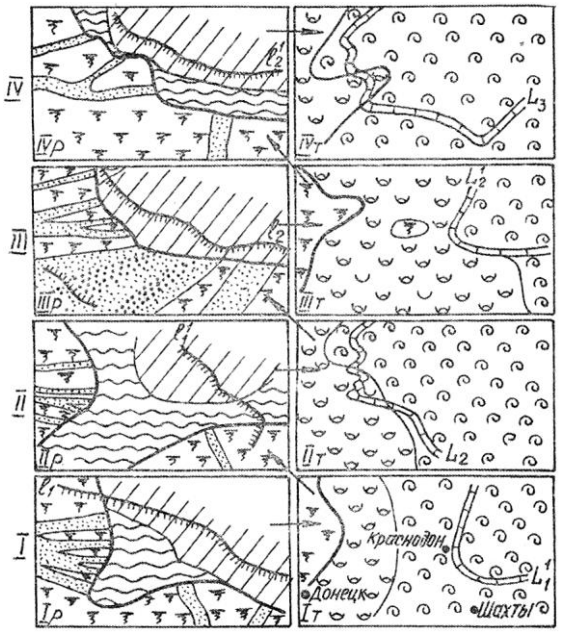


Рис. IV.8.10. Песчаники серии Морроу (нижний пенсильваний, штат Оклахома, США) (Д. Буш, 1977, с. 80-84):

• вверху – стратиграфический разрез, на котором показано кулисообразное расположение песчаных резервуаров;

• внизу – карта изопахит трех песчаных тел (N29 – N36 – N38), последовательно сменяющих друг друга по разрезу

Оптимальным представляется построение палеогеографических карт для регрессивных и трансгрессивных частей литоциклов (Л. Б. Рухин, 1959; Н. Н. Верзилин, 1979 и др.). Такой подход изначально предусмотрен методикой фациально-циклического анализа (см. III.8): рис. IV.8.11.



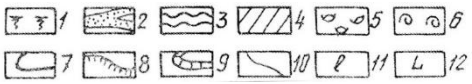


Рис. IV.8.11. Сопоставление ряда карт, построенных для регрессивных (левый ряд) и трансгрессивных (правый ряд) частей четырех угленосных циклов (*I-IV*) Донбасса (Л. Н. Ботвинкина, 1956):

1 – суша; *2* – речные долины; *отложения регрессивного ряда*: *3* – лагунные, *4* – морские; *отложения трансгрессивного ряда*: *5* – лагунные, *6* – морские; *7* – береговая линия; *границы распространения: 8* – угольного пласта, *9* – известняков, *10* – отложений разного происхождения; *11* – индексы угольных пластов; *12* –индексы известняков.

Стрелки показывают последовательность карт (снизу вверх)

ЛИТОЛОГИЯ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ

Отечественная нефтегазовая геология богата яркими представителями. Из возможного обширного перечня приводится только три биографии: признанного организатора советской нефтяной геологии И. М. Губкина; создателя теоретических основ геологии нефти и газа И. О. Брода и неутомимого организатора нефтегазовой науки, внесшего особый вклад в литологию нефтегазоносных толщ Н. Б. Вассоевича.

И. М. Губкин в 1937 г.

Ива́н Миха́йлович Гу́бкин (9 (21) сентября 1871 – 21 апреля 1939) – организатор советской нефтяной геологии. Академик АН СССР (1929), вице-президент АН СССР (1936).

Жизни и деятельности И. М. Губкина посвящена обширная литература. Перечислим только несколько аспектов.

С 1903 по 1910 гг. учился в С.-Петербургском горном институте, который с отличием закончил в возрасте 40 лет. В 1908-1917 гг. изучал нефтяные месторождения Апшеронского месторождения и Северного Кавказа. В 1929 г. избран академиком АН СССР – набор «красных академиков» с целью «советизации науки». С 1930 г. ректор, заведующий кафедрой геологии и нефтяных месторождений Московского нефтяного института. Автор учебника «Учение о нефти» (1932; 1937). Всемерно культивировавшееся в советское время представление о И. М. Губкине как основателе отечественной нефтегазовой геологии в постперестроечное время подвергается небезосновательной критике.

Игна́тий О́сипович Брод (25 октября (7 ноября) 1902 – 16 июля 1962). Создатель учения о нефтегазоносных бассейнах, разработал классификацию скоплений нефти и газа. Ввел понятие о природных резервуарах и ловушках. В 1944 г. организовал кафедру геологии и геохимии горючих ископаемых МГУ, которой руководил до конца жизни. Подготовил плеяду выдающихся геологов-нефтяников. Участвовал в открытии многих месторождений нефти и газа, автор более 300 научных работ.

По главным трудам И. О. Брода «Залежи нефти и газа» (1951) и «Основы геологии нефти и газа» (1953) прошли подготовку все геологи-нефтяники СССР.

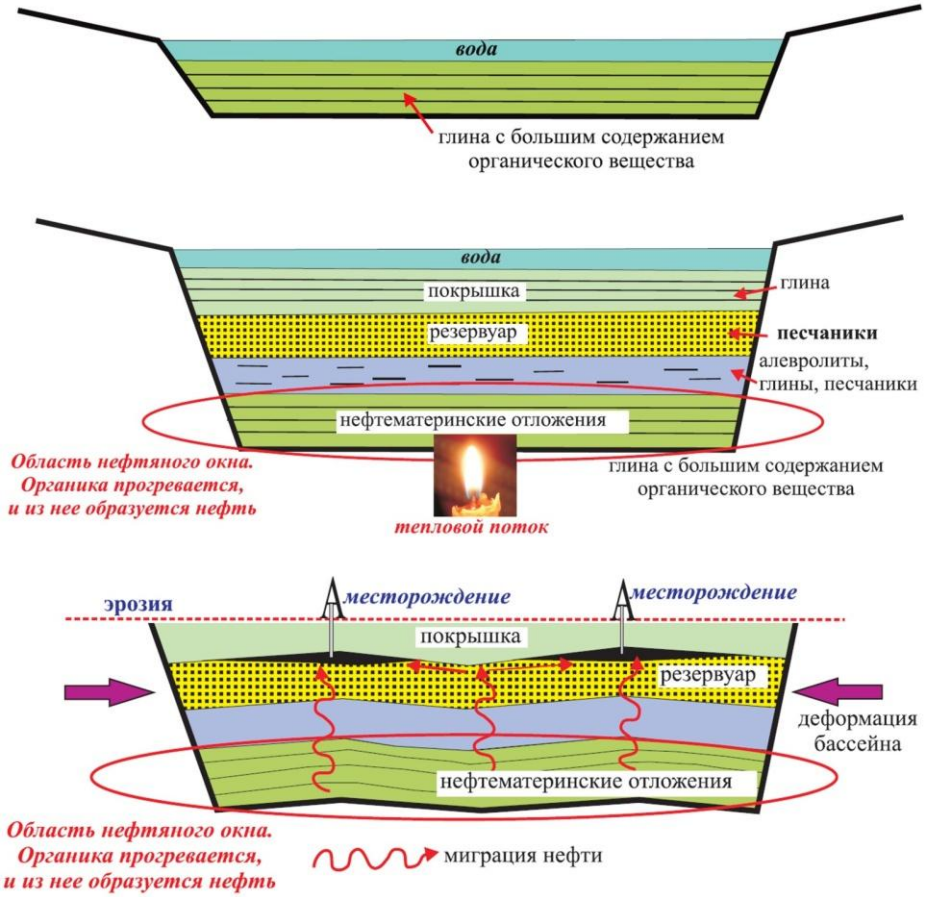
Никола́й Бронисла́вович Вассое́вич (17 (30) марта 1902 – 24 ноября 1981) – член-корреспондент АН СССР (1970).

В 1928 г. окончил Ленинградский горный институт, в предвоенные годы занимался детальным изучением нефтеносных отложений Северного Кавказа; во время Великой Отечественной войны – Поволжья и Средней Азии. С 1940 по 1963 гг. – сотрудник ВНИГРИ; в 1963-1981 гг. – зав. кафедрой геологии и геохимии горючих ископаемых МГУ.

Основные научные результаты доуниверситетского периода связаны с литологией осадочных пород, в частности, с классическими исследованиями флиша; последующих лет – с разработкой осадочно-миграционной («органической») теории происхождения нефти.

IV.9. НЕФТЕГАЗОНОСНЫЕ БАССЕЙНЫ; ФЛЮИДОДИНАМИКА

IV.9.1. Общие представления



Стадия I. Начало погружения бассейна. Накопление большого количества органического вещества в осадке

Стадия II. Погружение бассейна на 2-5 км. Прогрев органического вещества в нефтематеринских отложениях в зоне нефтяного окна. Начало генерации нефти, первичная миграция нефти

Стадия III. Деформации бассейна. Деформации пород с трещинообразованием способствуют быстрой миграции нефти на более высокие уровни. Нефть аккумулируется в ловушках. Создаются месторождения нефти

Рис. IV.9.1. Идеализированная схема истории формирования осадочного бассейна и его трансформации в нефтегазоносный бассейн. Составил А. М. Никишин (Геология..., 2008, с. 193)

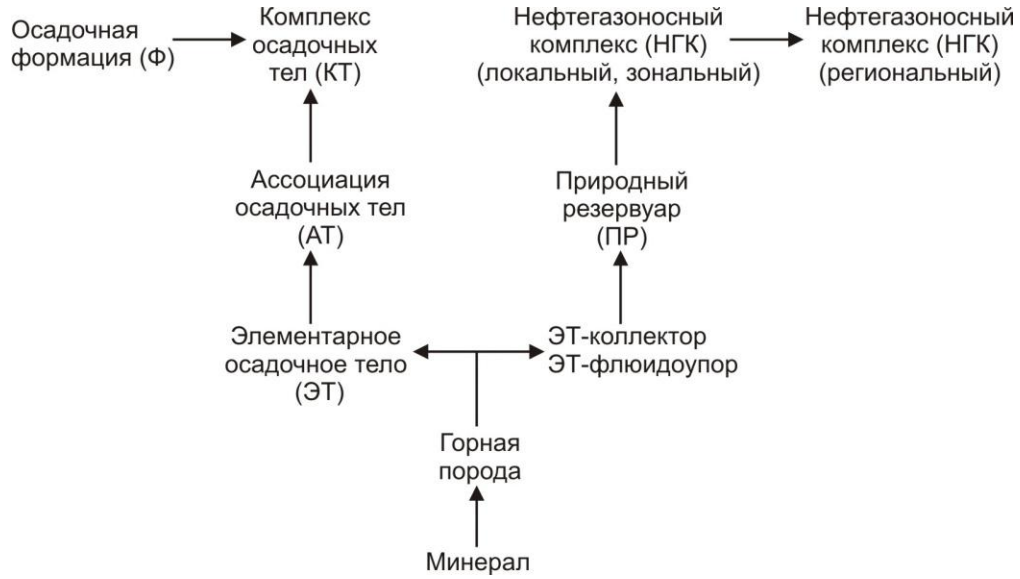


Рис. IV.9.2. Иерархия природных геологических объектов (А. Н. Дмитриевский, 1982, с. 31)

Рис. IV.9.3. Историко-генетический подход к изучению нефтегазоносности бассейна (А. В. Ступакова, 2015). Сокращения: НМТ – нефтегазоматеринская толща, УВ – углеводороды

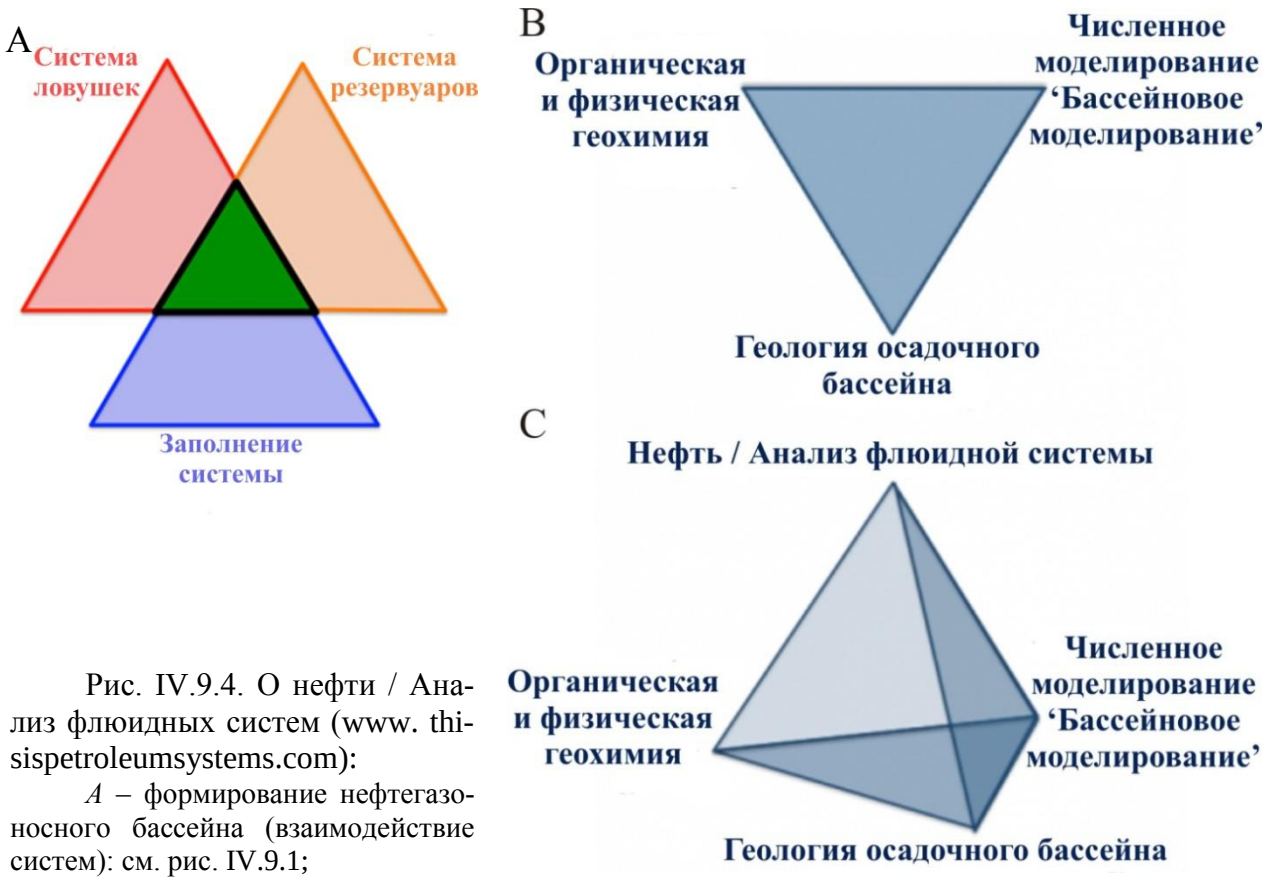


Рис. IV.9.4. О нефти / Анализ флюидных систем (www. thisispetroleumsystems.com):

A – формирование нефтегазоносного бассейна (взаимодействие систем): см. рис. IV.9.1;

B – реализация системного подхода: на базе надежных геологических сведений численное моделирование процессов и понимание физико-химических процессов, характеризующих миграцию, концентрацию и деструкцию нефтегазовых объектов;

C – трансляция познаний, представлений, показанных в треугольном виде (B) в тетраэдр (пирамиду). Ее вершина позволяет полностью увидеть и оценить все вопросы, связанные с анализом флюидной системы

IV.9.2. Флюидодинамика в осадочно-породных бассейнах

Таблица IV.9.1

Типы седиментогенеза в зависимости от источника и режима поступления материала (Г. А. Беленицкая, 2007, с. 30)

Определяющие факторы	Характер поступления материала: режим	динамика	источник (петрофонд)	вектор	Классы и типы седиментогенеза	
Климатические	Эволюционно-периодический (градуальный)	Гравитационная	Поверхностная лито- и гидросфера	Субплатеально-нисходящий	Климатический	***Гумидный***
						Аридный
						Ледовый
Тектоногенные (инъекционные)	Инъекционный (дискретно-импульсный)	Напорная	Подземная лито- и флюидосфера	Восходящий	Инъекционно-осадочный (тектоногенный, аклиматический)	**Гравитито-осадочный (гравититовый)**: суспензионно-потоковый, обвально-оползневой, олистостромовый и др.
						Флюидно-осадочный результат излияния *флюидов*
						Литокинетический: **Реидно-осадочный** – результат диапиризма и излияния ***пластично-текучих породных масс*** (глиняных, кремнистых, соляных и др.)
						Литокинетический: ***Флюидизатно-осадочный*** – *результат извержения* ***флюидизированных (разжиженных) породных масс****: грязевой, газовый, гидро-, рассольно-соляной (гало-)вулканизм*
						Вулканогенно-осадочный – результат газо-гидротермальных разгрузок, сопряженных с магматическими (эффузивными и эксплозивными) извержениями

Таблица IV.9.2

Типизация и характеристика восходящих авулканогенных инъекций, участвующих в осадконакоплении (Г. А. Беленицкая, 2007, с. 32; с сокращениями)

Инъецируемый материал			
Группа (род)	**Подгруппа (вид)***	**Лито-геохимическая разновидность** и преобладающие компоненты состава***	**Источник**
Флюиды	**Газы**	**II**. УВ, CO_2, H_2S и др.	Подземная флюидосфера
		I. УВ, CO_2, H_2S и др.	
	Жидкие УВ	**II**. Нефть, конденсат	
		I. Нефть, конденсат высокосернистые	
	Подземные воды, рассолы	**II**. Минеральные воды, преимущественно HCO_3-Na типа, часто углекислые, с повышенным содержанием Si, Fe, с характерным комплексом *галофобных* микрокомпонентов (**щелочной гидрокарбонатно-натриевый тип**)	
		I. Рассолы, преимущественно Cl-Na-Ca и Cl-Ca типа, в том числе высокоминерализованные, с характерным комплексом *галофильных* микрокомпонентов, часто H_2S-содержащие (**рассольный хлоридно-кальциевый тип**)	
Текучие породные массы (литокинетические)	***Флюидизированные*** **(разжиженные) породные массы**	**II**. УВ-водно-грязевые массы	Пдземная лито- и флюидосфера
		I. УВ-рассольно-соляные массы	
	Реидные **(пластично-текучие) породные массы, участвующие в диапиризме**	**II**. Глинистые, кремнистые массы	Подземная литосфера
		I. Соляные массы	

* Курсивом выделены термины необщепринятые, предложенные автором.

** **I**, **II** – лито-геохимические разновидности инъецируемых флюидно-породных масс: **I** – галофильная, **II –** галофобная.

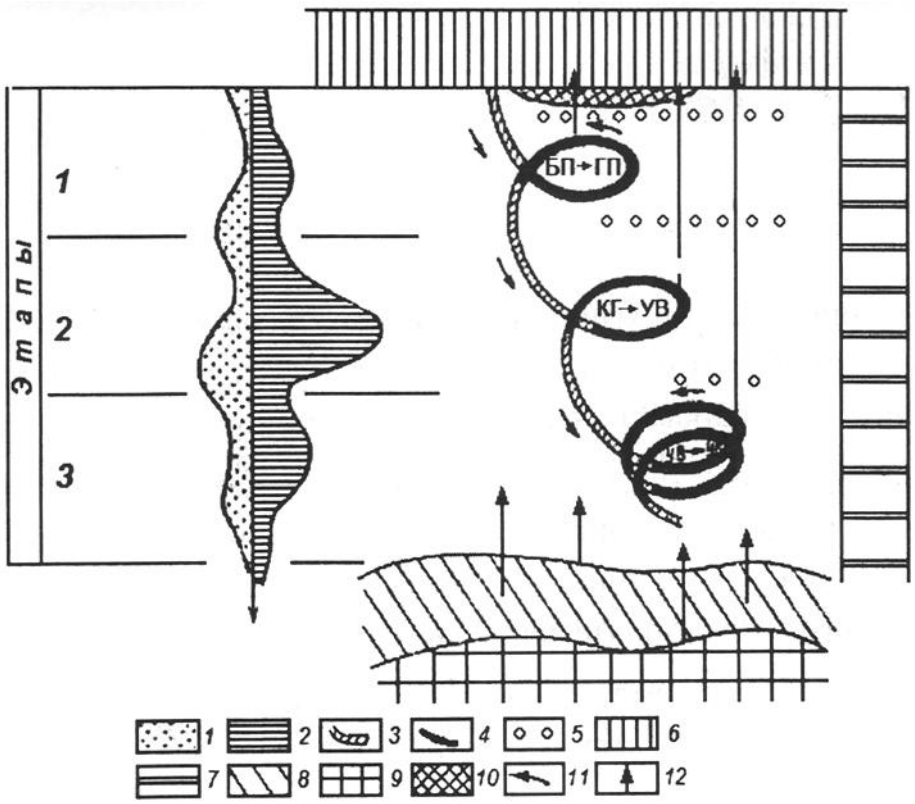
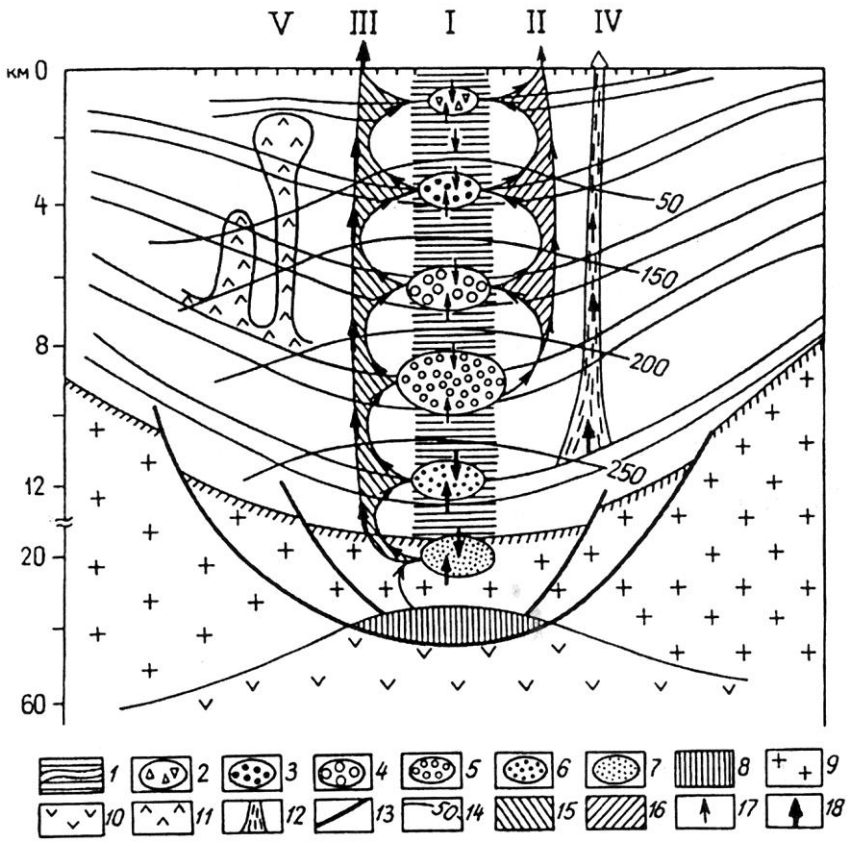


Рис. IV.9.5. Схема деструкционно-синтезного процесса нефтегазообразования (Б. А. Соколов, 1990): *1* – газ; *2* – нефть; *3* – деструкционный подэтаж; *4* – синтезирующий подэтап; *5* – залежи углеводородов; *6* – биосфера; *7* – углеводородная сфера; *8* – земная кора; *9* – верхняя мантия; *10* – газогидратный слой; *11* – направленность преобразования органического вещества в углеводороды (БП – биополимеры, ГП – геополимеры, КГ – кероген, УВ – углеводороды); *12* – направленность перемещения тепломассоносителей

Рис. IV.9.6. Схема взаимодействия процессов погружения, конвекционного прогрева и нефтеобразования в осадочных бассейнах (Б. А. Соколов, 1990): *1* – осадочный разрез в условиях погружения; *2-7* – флюидонасыщенные зоны разуплотнения (*2* – нефтегазовая, *3* – ГЗН, *4* – ГЗГ, *5* – термального газа, *6* – кислых газов, *7* – газорудная); *8* – астеносфера; *9* – земная кора; *10* – верхняя мантия; *11* – соляные купола (V); *12* – глиняные диапиры (IV); *13* – листрические нарушения; *14* – изотермы ºС; *15* – перемещение неуглеводородных теплоносителей (III); *16* – перемещение углеводородных потоков (II); *17* – направление движения УВ(II); *18* – направление движения водно-углекислых флюидов



IV.9.3. Литофизическая зональность

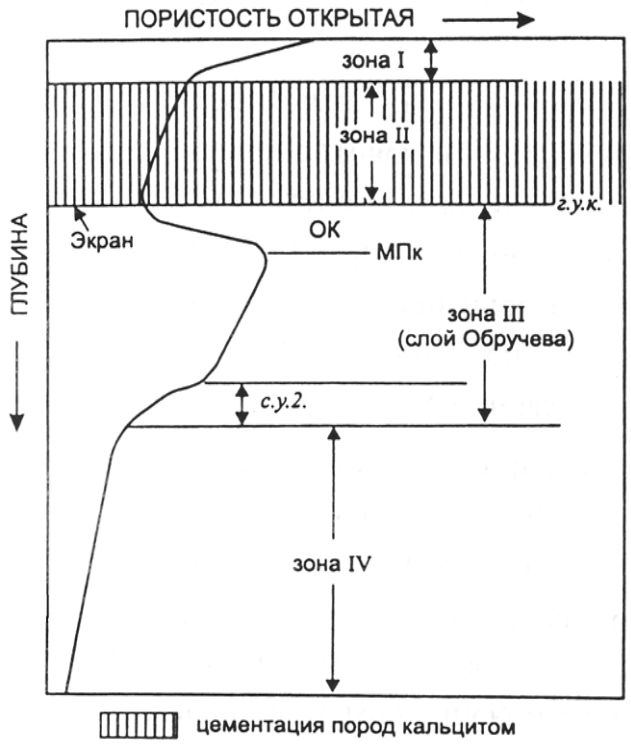


Рис. IV.9.7. Принципиальные особенности распределения пористости в песчаниках и алевролитах в областях погружения (Н. А. Минский, 2007, с. 5; см. также рис. I.11.8):

Зона I, подзона $А_1$ – карст; зона II, подзона $А_2$ – цементация пород кальцитом; зона III – подзона $Б_2^1$ – растворение кальцита и разуплотнение пород; *г.у.к.* – граница устойчивости кальцита, ОК – область оптимальных коллекторов, МПк – вершина аномалии максимальной пористости коллекторов, СО – слой Обручева; *с.у*.2. – ступенчатое уплотнение коллекторов под воздействием гравитационной доминанты; зона IV, подзона $Б_2^2$ – постепенное уплотнение коллекторов при погружении под действием гравитации и в результате цементации псаммитолитов и алевролитов кварцем и алюмосиликатами, подзона $Б_2^3$ – уплотнение псаммитолитов и алевролитов в результате регенерации кварцевых зерен (переход в кварциты), генерации алюмосиликатов и перекристаллизации известняков (переход в мраморы)

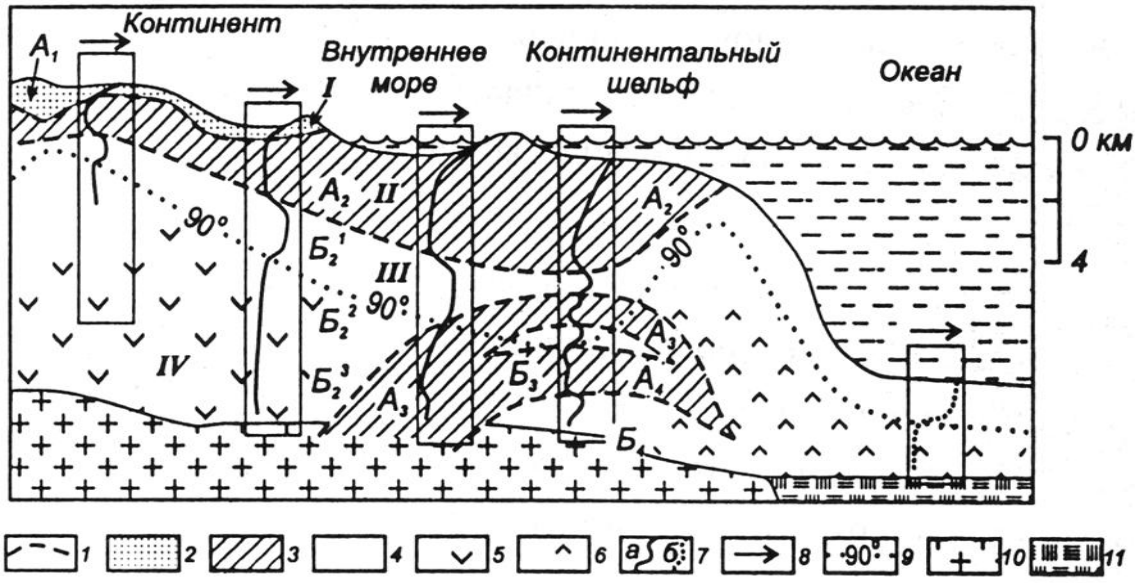


Рис. IV.9.8. Литофизическая зональность стратисферы (принципиальная схема) (Н. А. Минский, 2007, с. 9): *1* – глубинные уровни устойчивости кальцита и монтмориллонита; *2* – карст, зона I (подзона $А_1$); *3* – цементация пород кальцитом, монтмориллонит устойчив, зона II (подзоны $А_2$, $А_3$, $А_4$); *4* – растворение кальцита, превращение монтмориллонита в гидрослюды и хлориты: в зоне III (подзоны $Б_2^1$, $Б_2^2$, $Б_3$, в т. ч. слой Обручева); *5-6* – зона IV (подзона $Б_2^3$ и $Б_4$), где происходит цементация пород, преимущественно: кремнеземом (*5*), цеолитами (*6*); *7* – кривые распределения по глубине, максимальной пористости песчаников и известняков (сплошная линия); *8* – направление возрастания условной пористости; *9* – изотерма 90 ºС; *10-11* – фундамент: *10* – континентального типа, *11* – океанического типа; *12* – разломы

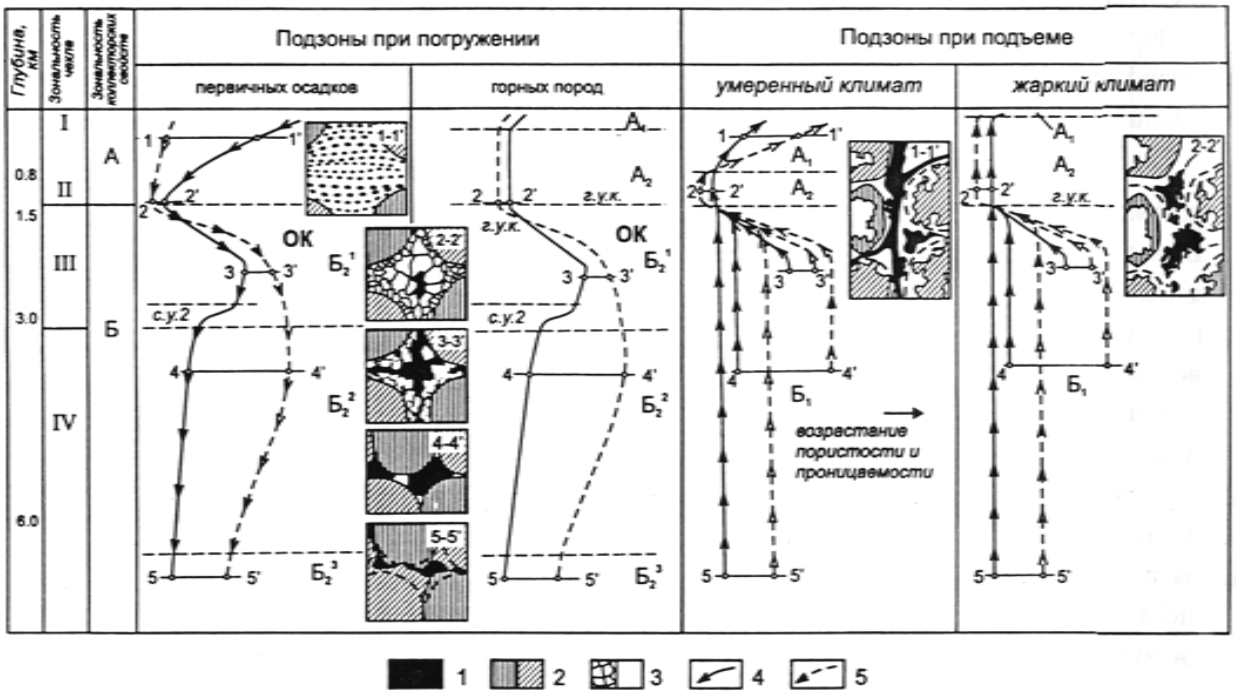


Рис. IV.9.9. Принципиальная схема изменения коллекторских свойств кальцитсодержащих пород с глубиной при иммерсионно-инверсионных перемещениях. Масштаб глубин относится к наиболее распространенной ситуации: открытая гидродинамическая система, геотермический градиент 5,6 ºС / 100 м (Н. А. Минский, 2007, с. 15):

1 – поры и трещины; *2* – кремнезем, силикаты; *3* – кальцит; *4* – максимальная открытая пористость (на уровне 2-2' значения максимальной открытой пористости нередко падают до 0,1 %, на уровне 3-3' иногда превышают 50 %); *5* – максимальная проницаемость (на уровне 2-2' значения максимальной проницаемости падают обычно до 0,1 МД, на уровне 4-4' иногда достигают десятков и сотен Д); МПк – область наибольших (аномальных) значений глубинной пористости; *с.у.*2 – ступенчатое уплотнение коллекторов (возрастание темпа уплотнения в определенном интервале глубин); ОК – зона оптимальных свойств коллекторов (оптимальные свойства при погружении проявляются в виде возрастания пористости, проницаемости, пьезоминимума по отношению к вмещающим глинистым породам и области *с.у.*2); А – зона цементации пород кальцитом, Б – зона растворения кальцита, *г.у.к.* – граница устойчивости кальцита

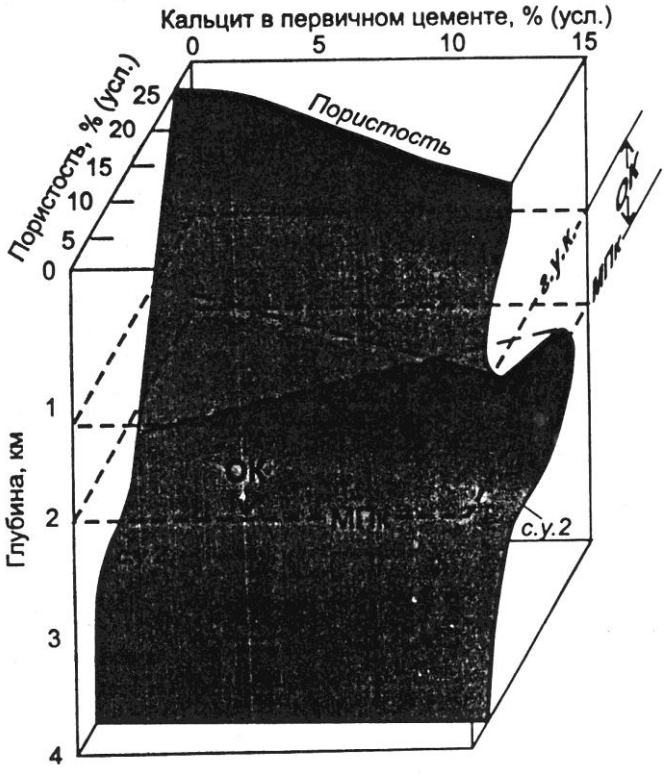


Рис. IV.9.10. Трехмерная модель поверхности, которая отражает зависимость пористости от количества первоначального кальцита в межзерновом пространстве терригенных пород и глубины их погружения (Н. А. Минский, 2007, с. 16):

Модель построена на компьютере по параметрам, опубликованным А. А. Ханиным (1973). *г.у.к.* – граница устойчивости кальцита; ОК – область оптимальных коллекторов; *с.у.*2 – ступенчатое уплотнение коллекторов; МПк – аномалия максимальных значений пористости

IV.10. КОЛЛЕКТОРЫ НЕФТИ И ГАЗА

IV.10.1. Общие представления

Коллектор (от позднелат. collector – собиратель; фр. **reservoir**) – сложное сочетание первичных и вторичных взаимосвязанных пустот в горных породах, заполненных водой, нефтью или газом (Геологический …, 2011, т. 2. с. 60).

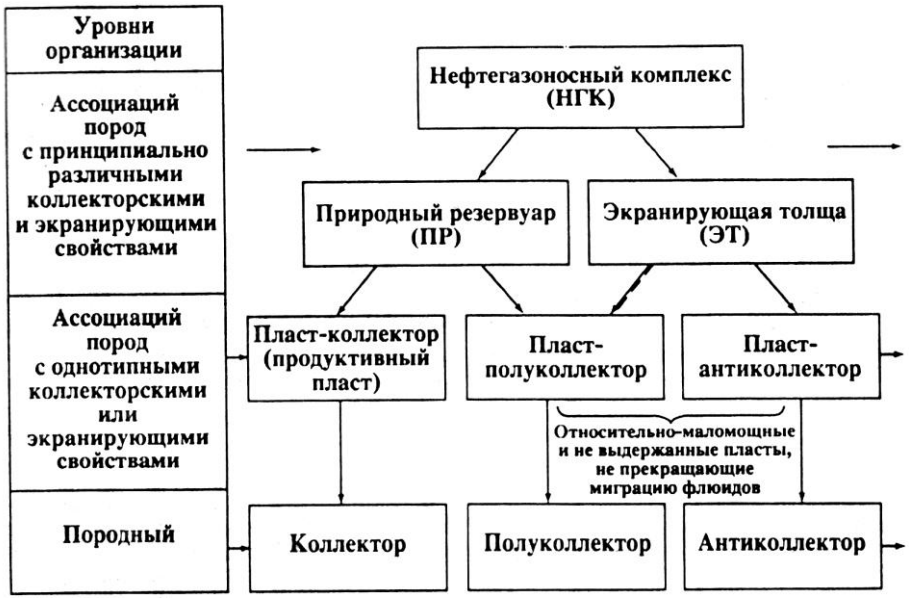


Рис. IV.10.1. Иерархическая схема нефтегазогеологического подразделения стратисферы (В. Г. Кузнецов, 2012, с. 26); см. также рис. I.1.1

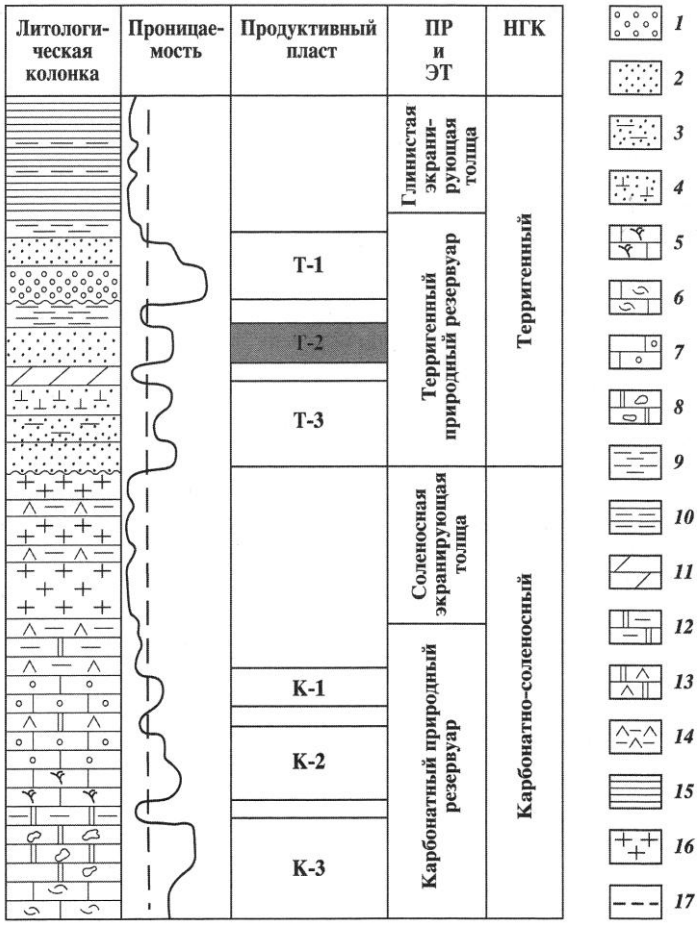


Рис. IV.10.2. Принципиальная схема соотношения понятий коллектор, полуколлектор, антиколлектор, продуктивный пласт, полупокрышка, природный резервуар, экранирующая толща (флюидоупор), нефтегазоносный комплекс (В. Г. Кузнецов, 2012): Породы-коллекторы: *1* – песчаники крупнозернистые, *2* – песчаники среднезернистые, *3* – песчаники мелкозернистые глинистые, *4* – песчаники с карбонатным цементом, *5* – известняки органогенные, *6* – известняки органогенно-обломочные, *7* – известняки оолитовые, *8* – доломиты кавернозные; породы-полуколлекторы: *9* – алевролиты глинистые, *10* – глины алевритистые, *11* – мергели, *12* – доломиты глинистые мелкозернистые, *13* – доломиты сульфатизированные, *14* – ангидриты глинистые; породы-антиколлекторы: *15* – глины тонкоотмученные, *16* – каменная соль; *17* – нижний предел промышленной проницаемости; Т-1, Т-2, Т-3 – продуктивные пласты, сложенные обломочными породами-коллекторами; К-1, К-2, К-3 – продуктивные пласты, сложенные карбонатными породами-коллекторами; ПР – природный резервуар, ЭТ – экранирующая толща (флюидоупор); НГК – нефтегазоносный комплекс

Таблица IV.10.1

Положение природных резервуаров в иерархии нефтегеологического подразделения стратисферы (В. Г. Кузнецов, 2012, с. 27)

Иерархия объектов		
1-й уровень: породный	2-й уровень: ассоциаций пород (строение толщ)	3-й уровень: ассоциаций природных резервуаров и экранирующих толщ
Основные понятия об объектах		
Антиколлектор – порода, практически не способная пропускать сквозь себя флюиды в термобарических условиях ее залегания в земной коре в течение геологического времени. *Полуколлектор* – порода, содержащая флюиды, но не способная отдавать их при разработке, фильтрация через эти породы происходит в геологическом масштабе времени. *Коллектор* – порода, способная содержать, пропускать сквозь себя флюиды и отдавать их при разработке.	*Экранирующая толща* (флюидоупор, покрышка) – геологическое тело, представляющее собой комплекс исключительно или преимущественно пород-антиколлекторов, обладающее достаточной площадью распространения, мощностью и способностью удерживать залежи углеводородов в термодинамических условиях ее залегания в земной коре. *Природный резервуар* – геологическое тело, представляющее собой ассоциацию горных пород-коллекторов, частично полуколлекторов и редко антиколлекторов, в котором могут содержаться и циркулировать флюиды.	*Нефтегазоносный комплекс* (реальный или потенциальный) – закономерная ассоциация природного резервуара и ограничивающих его экранирующих толщ, обладающая геохимическими, гидрогеологическими и другими показателями, благоприятными для образования и сохранения месторождений и залежей углеводородов.
Параметры, характеризующие объекты		
Состав и литологические характеристики пород, тип, морфология и структура пустотного пространства, значения пористости, проницаемости, водо-(нефте-, газо-) насыщенности, давление прорыва и другие петрофизические параметры.	Мощности, площади распространения, состав, строение (композиция) толщ и их изменения в пространстве и по разрезу; характер миграции флюидов; включаются все параметры первого породного уровня и их изменения в объеме данного геологического тела.	Гидрогеологические условия, наличие или отсутствие нефтегазогенерирующих отложений (сингенетичность или эпигенетичность нефтегазоносности), характер ловушек и т. д.; включает все параметры первого и второго уровней – пород и ассоциаций пород.

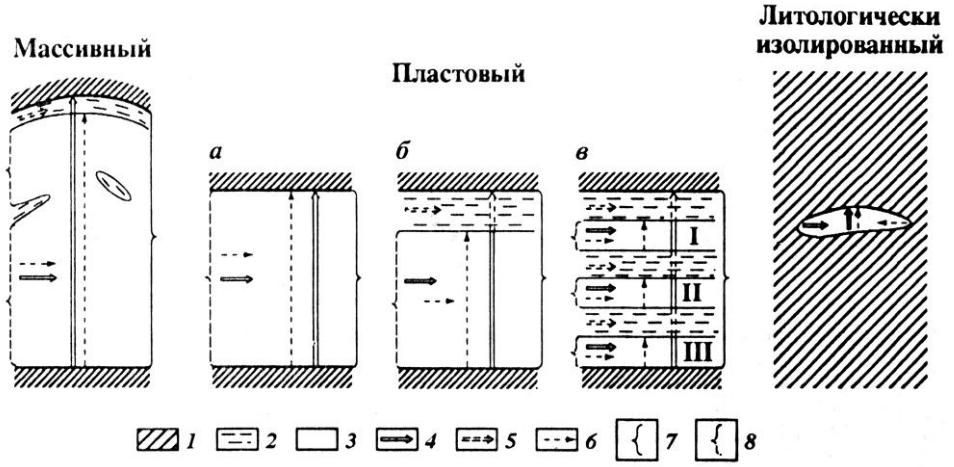


Рис. IV.10.3. Принципиальная схема строения природных резервуаров (В. Г. Кузнецов, 2012, с. 241): Резервуары: массивный; пластовый (*а* – однослойный, *б* – двухслойный с ложной покрышкой, *в* – многослойный с серией пластов-полуколлекторов); литологически изолированный. Толщи: *1* – практически непроницаемые экранирующие, *2* – полупроницаемые, полуколлекторы, *3* – проницаемые, коллекторы. Характер фильтрации флюидов: при формировании месторождений: *4* – интенсивная, *5* – затрудненная; *6* – при разработке; объем природного резервуара: *7* – общий, *8* – эффективный; *I, II, III* – продуктивные пласты

IV.10.2. Терригенные коллекторы

Вопросы, связанные с изучением терригенных пород, рассматривались в I части пособия. В частности, обращено внимание на недостатки, связанные с использованием десятичных чисел при определении размерности частиц (см. рис. I.2.1, I.5.1). В дополнение к ним приведем общие представления, синтезированные на рис. IV.10.4.

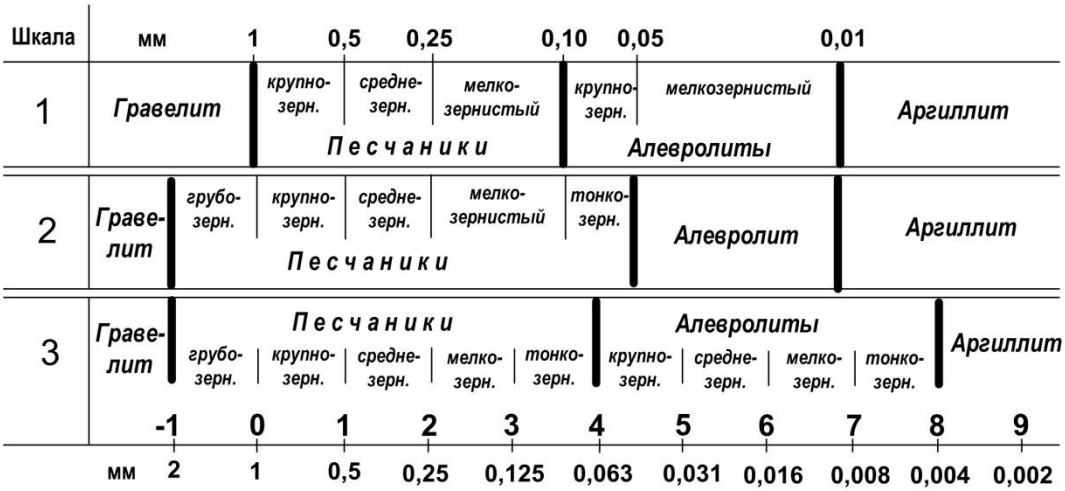


Рис. IV.10.4. Различия в классификации терригенных пород:
шкалы: *1* – десятичная; *2* – десятичная, с уточнением; *3* – $\Phi = -\log_2 d$

Прим.: при описании пород в шкале Ф алевролиты со значениями Ф от 5 до 8 обычно объединяются в мелкозернистые

В I части пособия рассмотрены некоторые представления о фильтрационно-емкостных свойствах пород или ФЕС (тема I.11). В конкретных условиях практические результаты могут существенно расходиться с теоретическими расчетами, что иллюстрирует рис. IV.10.5.

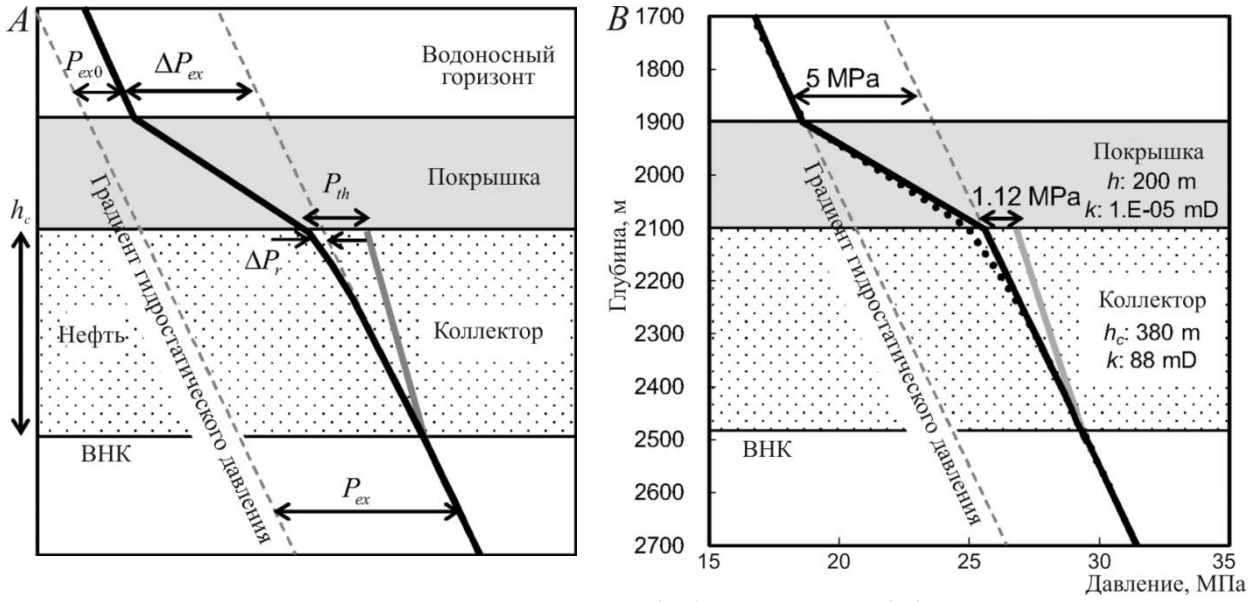


Рис. IV.10.5. Различия в теоретических (P_{th}), расчетных (P_r) и экспериментальных (P_{ex}) значениях гидростатического давления (S. Morya, 2011): *A* – расчетные данные, показывающие второстепенную роль гидродинамики при капиллярной герметизации типичных нефтяных ловушек: эффективная проницаемость водоносного горизонта выше ловушки больше минимальной по расчету; *B* – конкретные данные для одного из объектов

Таблица IV.10.2

Классификация коллекторов (Е. М. Максимов, 2008)

Особенности коллектора	Тип коллекторов			
	Простые	Сложные (смешанные)		
	Поровые	Трещинные		
		Чисто трещинные	Трещинно-поровые	Порово-трещинные
Основной тип пустот, в которых находится пластовый флюид	Межзерновые поры	Трещины	Межзерновые поры и каверны	Межзерновые, обычно очень мелкие поры
Соотношение между межзерновой $K_м$ и трещинной $K_т$ проницаемостями	$K_т < K_м$	$K_т \gg K_м$	$K_т \gg K_м$	$K_т \geqslant K_м$
Пористость m, проницаемость K и сжимаемость скелета породы β, определяющие нестационарную фильтрацию	$m = m_м$ $K = K_м$ $\beta = \beta_м$	$m = m_т$ $K = K_т$ $\beta = \beta_т$	$m = m_м$ $K = K_т$ $\beta = \beta_м$	$m = m_м$ $K = K_м + K_т$ $\beta = \beta_м + \beta_т$
Особенности нефтеотдачи	Двухфазная фильтрация в однородной пористой среде		Обмен воды и нефти (газа) между межзерновыми порами и трещинами	Роль обмена воды и нефти (газа) между межзерновыми порами и трещинами сравнительно невелика
Типы горных пород	Обломочные (обычно песчаники), реже органогенные, карбонатные	Разнообразные по составу породы фундамента, аргиллиты, многие карбонатные	В основном карбонатные	В основном черные сланцы
Дебиты скважин	Различные, в контуре залежи равномерные	Преобладают низкие (вплоть до «сухих» скважин) и на их фоне очень высокие	Различные, в контуре залежи неравномерные	Высокие, неустойчивые, в контуре залежи крайне неравномерные
Часть мировых запасов УВ	Весьма значительная	Ничтожная	Значительная	Небольшая

Примечание. Индексы «м» и «т» означают принадлежность параметров соответственно к межзерновым порам и трещинам.

Таблица IV.10.3

Оценочная классификация терригенных коллекторов нефти и газа

(А. А. Ханин, 1969, с. 234)

Класс коллектора	Название породы	Пористость эффективная (полезная емкость) %	Проницаемость по газу, миллидарси	Характеристика коллектора по проницаемости
I	Песчаник среднезернистый Песчаник мелкозернистый Алевролит крупнозернистый Алевролит мелкозернистый	≥ 16,5 ≥ 20 ≥ 23,5 ≥ 29	≥ 1000	Очень высокая
II	Песчаник среднезернистый Песчаник мелкозернистый Алевролит крупнозернистый Алевролит мелкозернистый	15-16,5 18-20 21,5-23,5 26,5-29	500-1000	Высокая
III	Песчаник среднезернистый Песчаник мелкозернистый Алевролит крупнозернистый Алевролит мелкозернистый	11-15 14-18 16,8-21,5 20,5-26,5	100-500	Средняя
IV	Песчаник среднезернистый Песчаник мелкозернистый Алевролит крупнозернистый Алевролит мелкозернистый	5,8-11 8-14 10-16,8 12-20,5	10-100	Пониженная
V	Песчаник среднезернистый Песчаник мелкозернистый Алевролит крупнозернистый Алевролит мелкозернистый	0,5-5,8 2-8 3,3-10 3,6-12	1-10	Низкая
VI	Песчаник среднезернистый Песчаник мелкозернистый Алевролит крупнозернистый Алевролит мелкозернистый	< 0,5 < 2 < 3,3 < 3,6	< 1	Обычно не имеет промышленного значения

Примечание. Диаметр частиц (в мм): песчаник среднезернистый 0,50-0,25, песчаник мелкозернистый 0,25-0,10, алевролит крупнозернистый 0,10-0,05, алевролит мелкозернистый 0,05-0,01.

Таблица IV.10.4

Оценочная шкала экранирующей способности глинистых пород

(А. А. Ханин, 1969, с. 244)

Группа	Максимальный диаметр пор, км	Абсолютная проницаемость по газу, Д	Давление прорыва газа, МПа	Экранирующая способность
А	≤ 0,01	10^{-6}	≥ 12,0	Весьма высокая
В	0,05	10^{-5}	8,0	Высокая
С	0,30	10^{-4}	5,5	Средняя
Д	2,00	10^{-3}	3,3	Пониженная
Е	10,00	10^{-2}	< 0,5	Низкая

IV.10.3. Карбонатные коллекторы

Таблица IV.10.5

Схема стадийности образования пустот карбонатных отложений различных структурно-генетических типов (В.Г. Кузнецов, 2012)

<table>
<tr><td rowspan="3" colspan="2">Стадии литогенеза</td><td colspan="5">Условия образования и структурно-генетические типы пород</td></tr>
<tr><td colspan="3">мелководные</td><td colspan="2">глубоководные и умеренно глубоководные</td></tr>
<tr><td>биогермные</td><td>состоящие из форменных элементов</td><td>микрозернистые и пелитоморфные</td><td>микрозернистые и пелитоморфные</td><td>органогенные (мел и мелоподобные породы)</td></tr>
<tr><td colspan="7">Пустоты:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Седиментогенез</td><td>Внутрискелетные, межскелетные., межкаркасные, трещин наслоения, рифовых пустот</td><td>Внутрискелетные (преимущественно внутрираковинные); межформенные; межраковинные, междетритовые, межмикрофитолитовые, межоолитовые, межпизолитовые и т. п.</td><td colspan="2">Межкристаллические (межзерновые)</td><td>Внутрираковинные, межраковинные</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Диагенез</td><td>ранний</td><td colspan="5">Доломитизация (?) < контракции: межкристаллические
выщелачивания: каверны</td></tr>
<tr><td>поздний</td><td colspan="5">литогенетических трещин</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Катагенез</td><td colspan="5">Перекристаллизация – межкристаллические
Доломитизация < контракции: межкристаллические
выщелачивания: каверны</td></tr>
<tr><td colspan="5">тектонических трещин</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Гипергенез</td><td colspan="3">стилолитовые (?)</td><td colspan="2">стилолитовые</td></tr>
<tr><td colspan="3">Выщелачивания, главным образом, по первичным пустотам – каверны и карстовые полости</td><td colspan="2">Выщелачивания по трещинам – каверны и расширения трещин</td></tr>
</table>

Таблица IV.10.6

Тип пустот по размерам (М. К. Калинко, 1963)

Размеры, мм	Морфология пустот				
	Тип пор и каверн		Тип каналов	Тип трещин	Раскрытость, мм
<0,0002	Поры	Субкапиллярные	Субкапиллярные	Субкапиллярные	<0,0002
0,0002–0,001		Микропоры	Микропоровые	Микротрещины	0,0002–0,001
0,001–0,01		Тонкие	Тонкопоровые	Волосяные	0,001–0,01
0,01–0,1		Очень мелкие	Очень мелкопоровые	Тонкие	0,01–0,05
0,1–0,25		Мелкие	Мелкопоровые	Очень мелкие	0,05–0,1
0,25–0,5		Средние	Среднепоровые	Средние	0,1–0,5
0,5–1		Крупные	Крупнопоровые	Крупные	0,5–1,0
1–2		Грубые	Грубопоровые	Грубые	1,0–2,0
2–20	Каверны	Мелкие	Мелкокаверновые	Макротрещины	2–5
				Широкие макротрещины	5–20
20–100		Средние	Среднекаверновые	Весьма широкие макротрещины	20–50
100–200		Крупные	Крупнокаверновые		
>200		Пещеры	–	–	

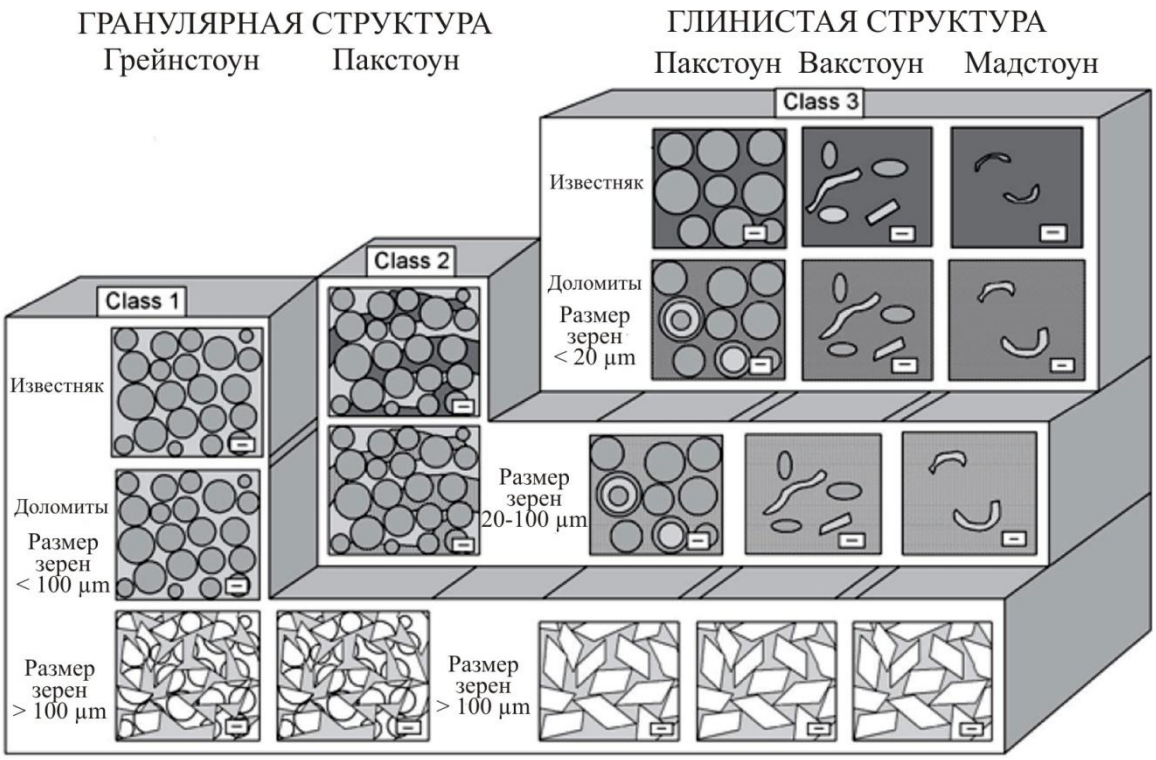


Рис. IV.10.6. Петрофизические и структурные классы, выделенные на основе сходных капиллярных свойств и зависимостей между пористостью и проницаемостью (E. J. Lucia, 1995)

Таблица IV.10.7

Оценочно-генетическая классификация карбонатных коллекторов
(К. И. Багринцева. 1991, с. 241)

Группа	Класс	Абсолютная газопроницаемость, мД	Пористость открытая, %	Остаточная* водонасыщенность, % к объему пор I	Остаточная* водонасыщенность, % к объему пор II	Коэффициент нефтегазонасыщенности	Относительная газопроницаемость, мД	Тип и характеристика коллектора		Характеристика породы: состав	Характеристика породы: Текстура и структура	Характеристика породы: Генезис
А	I	>1000-500	20-35	5	10	0,95-0,9	1-0,9	Кавернозно-поровый и поровый	Высокие: полезные емкость и фильтрационные свойства	Известняки	Биоморфные, органогенно-обломочные и комковатые породы ,слабосцементированные (цемента до 10 %), рыхлая упаковка фрагментов, поры седиментационные, увеличенные унаследованным выщелачиванием до каверн, хорошая сообщаемость пустот, радиусы пор более 30 микрон.	Биогермные, биоморфные, органогенно-обломочные
	II	500-300	16-30	10	15	0,9-0,85	0,95-0,9	поровый				
Б	III	300-100	15-28	12	22	0,88-0,78	0,95-0,8	поровый	Средние: полезная емкость и фильтрационные свойства	Известняки, доломиты и все переходные разности	Органогенно-детритовые, слабоперекристаллизованные, сравнительно сцементированные, цемента 10-20%.Тонко-, мелко- и среднезернистые породы, поры седиментационные и реликтовые, развитие мелкой кавернозностн	Рифовые, шельфовые, органогенные, обломочные
	IV	100-50	12-25	16	30	0,84-0,7	0,9-0,75	поровый				
	V	50-10	12-25	20	38	0,8-0,62	0,75-0,5	поровый и трещинно-поровый				
С		10-1	6-15	30	50	0,7-0,5	0,5-0,3	поровый	Низкая полезная емкость и низкие фильтрационные свойства		Пелитоморфно-микрозернистые, сгустковые и сгустково-детритовые, сильно перекристаллнзованные породы с плохоразличимыми форменными элементами,вновь образованные изолированные пустоты в виде каверн и полостей расширения трещин, возможно, реликтово-седиментационные поры. Интенсивное развитие системы трещин.	Хемогенные, биохемогенные, органогенные сильно измененные
	VI	матрица 10-1	6-10	35	55	0,65-0,45	0,55-0,3	трещинно-поровый, порово-трещинный и трещинный				
		трещины 300-20	1-3	-	-	1,0						
	VII	матрица 1-0,1	2-5	100			0,2	преимущественно трещинный				
		трещины 300-20	1-3 1,5-4,5	- -		1,0 каверны	-	кавернозно-трещинный				

* Даны значения, характерные для нефтяных (I) и газовых (II) месторождений

IV.11. РЕЗЕРВУАРЫ, ЛОВУШКИ И ЗАЛЕЖИ НЕФТИ

IV.11.1. Природные резервуары

Резервуар (фр. **reservoir,** от лат. reservare – сберегать, сохранять) – замкнутый или открытый объем Земли, заполненный твердым, жидким или газообразным веществом с одинаковыми физическими и (или) химическими свойствами (Геологический …, 2012, т. 3, с. 27).

Резервуар (природный) – естественное вместилище углеводородов и природной воды, внутри которого возможна циркуляция флюидов (И. О. Брод, Н. А. Еременко).

Резервуар – совокупность проницаемых пород-коллекторов, ограниченных непроницаемыми породами (А. А. Бакиров).

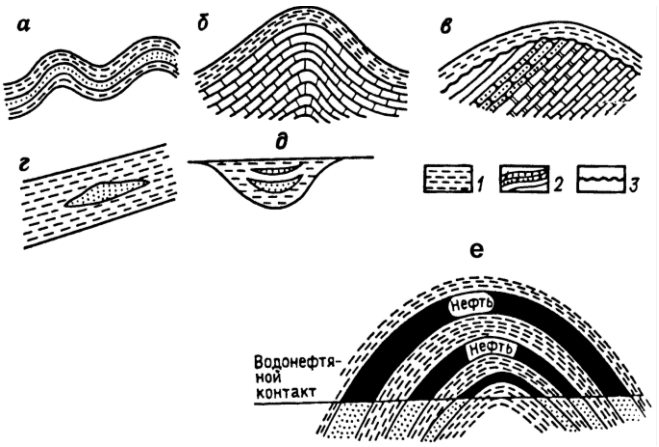


Рис. IV.11.1. Природные резервуары (И. О. Брод, Н. А. Еременко, 1953):

а – пластовый; *б* – массивный однородный; *в* – массивный неоднородный; *г* – литологически ограниченный; *д* – литологически ограниченный в погребенной речной долине; *е* – пластово-массивный.

Породы: *1* – непроницаемые; *2* – проницаемые; *3* – размыв

На соотношение понятий «коллектор» (см. тему IV.10) и «резервуар» имеются разные точки зрения, в том числе и практически как на синонимы. Правильнее представляется расширительное толкование термина «резервуар», предусматривающее равноправное рассмотрение ограничивающих флюидоупоров (покрышек) (Е. Б. Риле и др., 2016).

Важным этапом в развитии учения о природных резервуарах является предложение Б. В. Филиппова рассматривать природные резервуары как не простую бимодальную или двухкомпонентную (породы-коллекторы и породы-флюидоупоры), а трехкомпонентную, с наличием между ними промежуточного слоя – «пород, содержащих подвижные углеводороды в свободной фазе в количествах, отличных от фоновых значений» (Б. В. Филиппов, 1967). Данная модель особенно привлекательна в силу того, что контакты между слоевыми комплексами следует рассматривать не в качестве некоторой плоскости, не имеющей своей толщины, а как самостоятельный геологический объект со своей историей и соответствующими четырехмерными параметрами (длина, ширина, толщина и время): см. III.10.

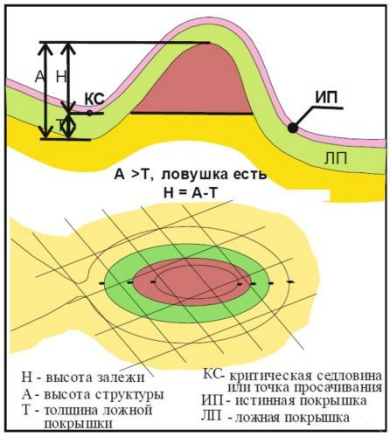


Рис. IV.11.2. Экранированные залежи УВ согласно представлениям о трехслойном строении природных резервуаров (Б. В. Филиппов, 1967; В. Д. Ильин и др., 1982)

Пример использования трехслойной модели приведен на рис. IV.11.3 для объяснения несоответствия между незначительной амплитудой ненарушенной разломом части антиклинали и немного превышающей ее высотой УВ-залежи. Здесь особенно важно привлечение представлений об иерархическом (циклическом) строении продуктивной части толщи, подробно рассмотренное в п. III.6.3.

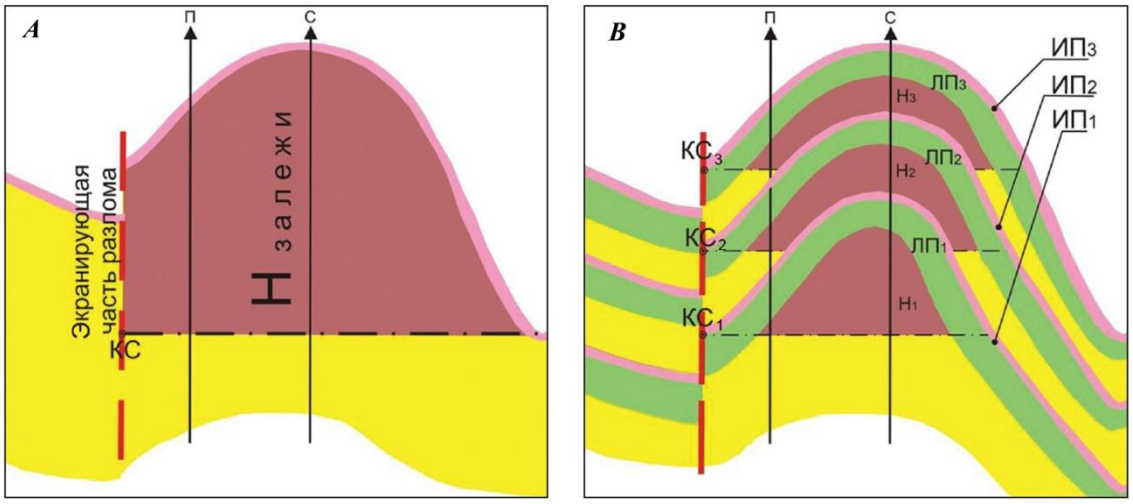


Рис. IV.11.3. Две модели месторождения УВ в пределах структуры, осложненной разрывным нарушением (Е. Б. Риле, Д. И. Валиева, 2012): *А* – традиционная модель тектонически экранированной залежи (двучленное строение природного резервуара); *В* – модель, созданная на основании концепции трехслойного строения природных резервуаров (обозначения см. на рис. IV.11.2)

Таблица IV.11.1

Классификация природных резервуаров нефти и газа по комплексу признаков

(Е. М. Максимов, 2016, с. 45-46; с сокращениями)

Признаки	Классы, типы природных резервуаров	
1.Размер (длина, ширина, площадь, толщина)	1.1. Региональные 1.2. Субрегиональные	1.3. Зональные 1.4. Локальные
2. Форма (в плане, в разрезе)	2.1. Массивные 2.2. Пластовые 2.3. Линзовидные 2.4. Полосовидные	2.5. Гнездовидные 2.6. Шнурковые 2.7. Сложной формы 2.8. Неопределенной формы
3. Тип границ (ограничения, выклинивания)	3.1. Стратиграфически ограниченные сверху, снизу поверхностью несогласий 3.2. Литологически ограниченные с одной, двух, трех и четырех сторон поверхностью фациальных замещений 3.3. Тектонически ограниченные дизъюнктивными нарушениями	
4. Тип пород, из которых они состоят:	4.1. Песчано-алевритовых 4.2. Гравийно-конгломератовых 4.3. Песчано-алеврито-глинистых 4.4. Карбонатных	4.5. Кремнистых 4.6. Трещиноватых аргиллитов 4.7. Пород коры выветривания
5. Степень неоднородности	5.1. Однородные внутреннего строения 5.2. Неоднородные 5.3. Сильно неоднородные	
6. Происхождение (генезис)	I. Морское II. Континентально-морское III. Континентальное IV. Вторичное: тектогенные – зоны дробления, трещиноватости гипергенные – карстовые пустоты выщелачивания коры выветривания (разрыхления, разуплотнения)	

IV.11.2. Ловушки углеводородов

Ловушка нефти и газа (***oil-and-gas trap***) – часть продуктивного горизонта, к которой приурочены залежи нефти и газа. Необходимыми элементами ловушки являются *коллектор* нефти и газа, обеспечивающий емкость резервуара, *покрышка*, препятствующая вертикальному перемещению углеводород. флюида, и экран, препятствующий латеральному перемещению нефти и газа (Геологический словарь ..., 2011, т. 2, с. 148).

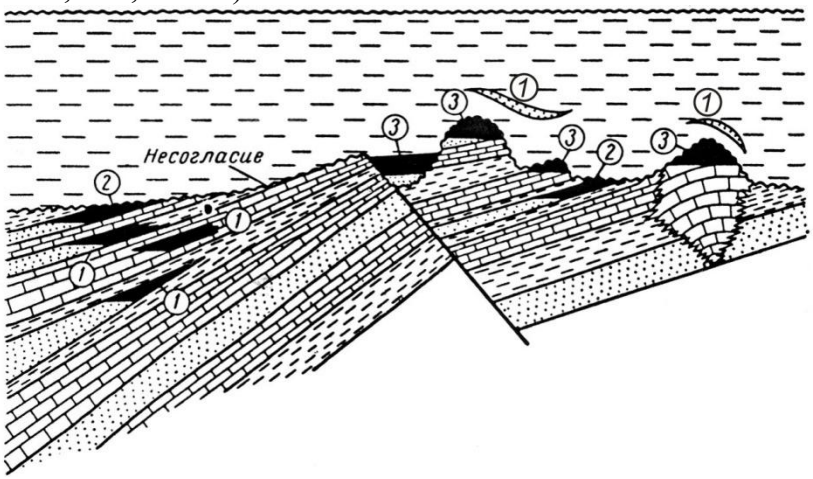


Рис. IV.11.4. Принципиальная схема типов неструктурных ловушек нефти и газа (Стратиграфические…, 1975, с. 18). Видна приуроченность литологических ловушек к зонам фациального замещения, а стратиграфических и палеогеоморфологических – к эрозионным поверхностям и элементам захороненного под ними рельефа. Ловушки: *1* – литологическая; *2* – стратиграфическая; *3* – палеогеоморфологическая

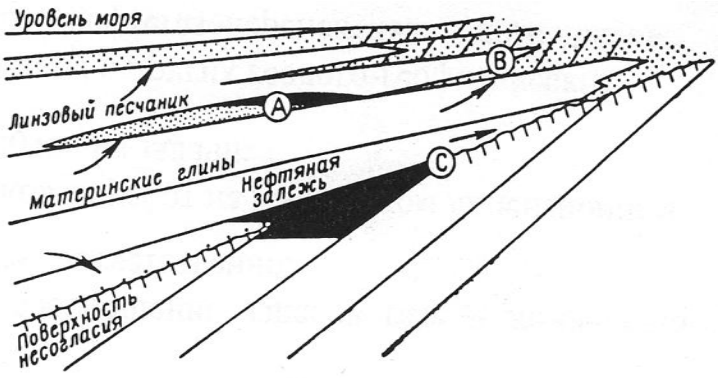


Рис. IV.11.5. Распределение нефти в зонах выклинивания коллекторов (Стратиграфические …, 1975, с. 157). Воды выдавливаются из уплотняющихся глин, унося с собой нефть в растворенном или коллоидном состоянии, и проходят через пески на участках наименьшего сопротивления; там, где воды вновь проходят через тонкие илы или глины при движении к поверхности, нефть экранируется вследствие капиллярной фильтрации

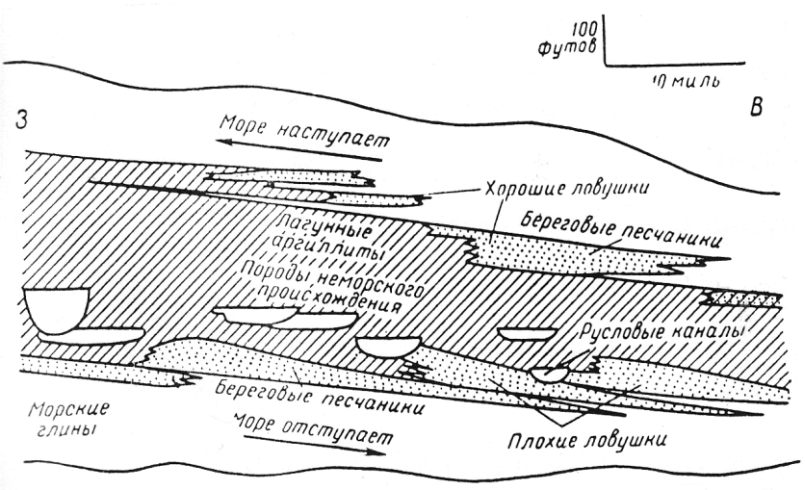


Рис. IV.11.6. Схема цикла верхнемеловых осадков Скалистых гор (Стратиграфические …, 1975, с. 81). Внизу – дельтовидная система русел располагается ближе к суше и вверх по региональному наклону от береговых песчаников, отлагавшихся в течение общей регрессии; вверху – лагунные аргиллиты располагаются ближе к суше и вверх по региональному наклону от береговых песчаников, отлагавшихся в течение общей трансгрессии

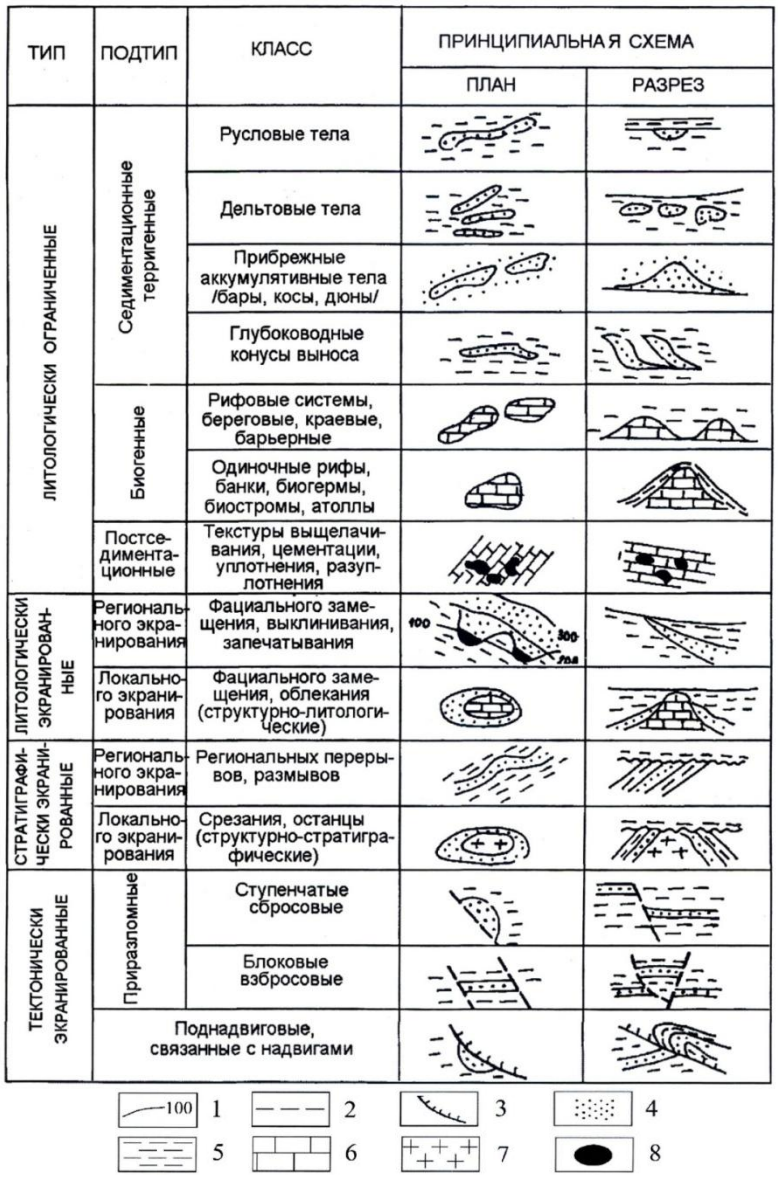


Рис. IV.11.7. Генетическая классификация неантиклинальных ловушек (Н. С. Оконова и др., 1999): *1* – изопахиты; *2* – разломы; *3* – надвиги; *4* – песчаники; *5* – глины; *6* – известняки; *7* – граниты; *8* – нефть

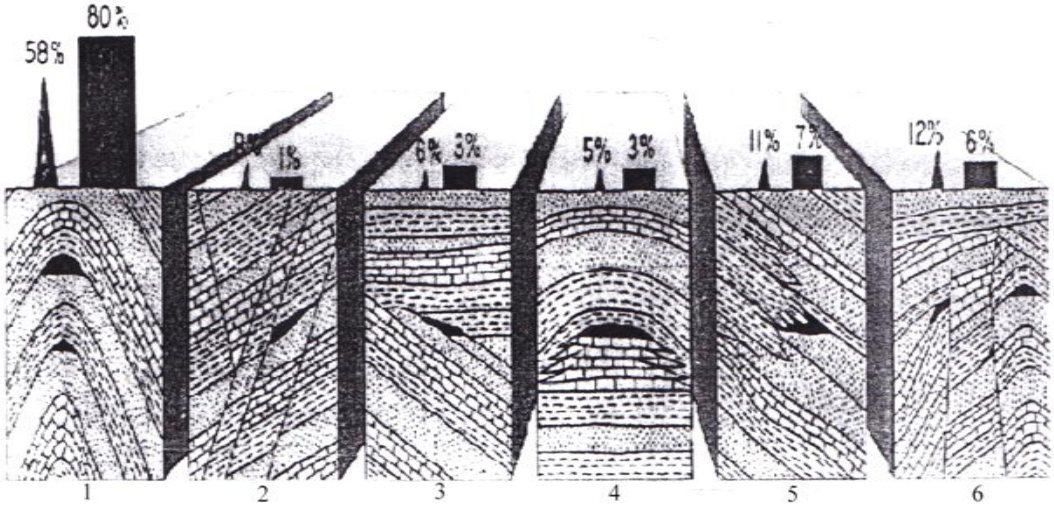


Рис. IV.11.8. Распределение ресурсов нефти (пирамиды) и газа (прямоугольники) по типам ловушек (Mistersukoso xfig22_15): *1* – антиклинальные; *2* – тектонически экранированные; *3* – стратиграфические; *4* – рифовые; *5* – литологического замещения; *6* – комбинированные

IV.11.3. Залежи нефти и газа

Залежь углеводородов (hydrocarbon accumulation) – естественное элементарное скопление УВ *в ловушке нефти и газа*, образованное одним пластом-*коллектором* или их группой под *покрышкой* из относительно непроницаемых пород, контролируемое общим ВНК или ГВК, либо (реже) ограниченное непроницаемыми породами со всех сторон. Все части единой залежи гидродинамически связаны (Геологический …, 2010, т. 1, с. 368).

Месторождения нефти и газа (oil and gas field, oil gas deposits) – геологические структуры, в вертикальном разрезе геологических образований которых имеются *залежи углеводородов*, контролируемые *ловушками нефти и газа* (структурными и неструктурными) (Геологический …, 2011, т. 2, с. 210).

А. А. Бакировым предложено понятие **местоскопление**, поскольку образование залежей нефти и газа преимущественно происходит в результате сложных предшествующих **миграционных** процессов флюидной природы.

Формирование залежи нефти и газа обеспечивается наличием коллектора и флюидоупора (см. IV.10) и благоприятных условий для концентрации УВ (см. IV.11.1, IV.11.2). При соблюдении перечисленных условий завершается их миграция, что иллюстрирует рис. IV.11.9.

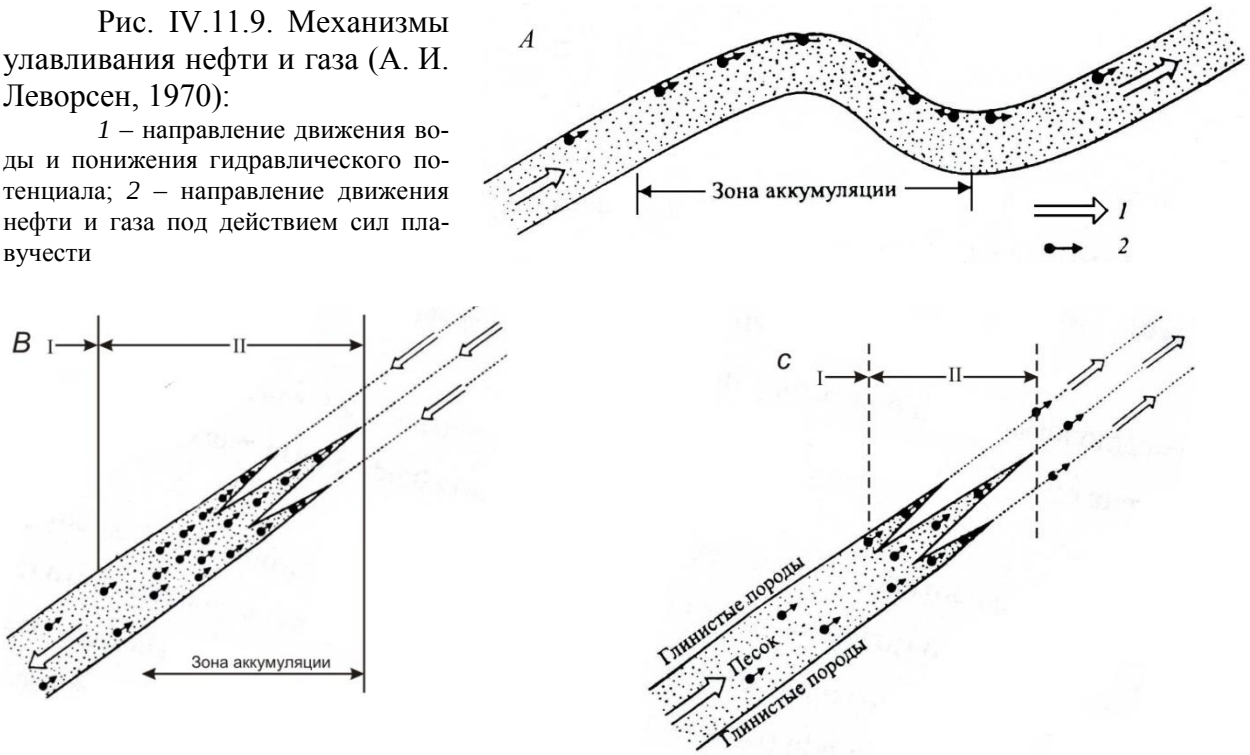


Рис. IV.11.9. Механизмы улавливания нефти и газа (А. И. Леворсен, 1970):

1 – направление движения воды и понижения гидравлического потенциала; *2* – направление движения нефти и газа под действием сил плавучести

A – принципиальная схема улавливания нефти и газа в антиклинальной структуре при влиянии гидродинамических сил на миграцию и аккумуляцию нефти и газа: I – плавучесть усиливается под действием гидродинамических сил; II – плавучесть направлена против действия гидродинамических сил;

B – влияние нисходящего движения воды через литологический барьер зоны пониженной проницаемости и высокого давления вытеснения: влияние сил плавучести уменьшено гидродинамическими силами, и нефть и газ удерживаются перед барьерной зоной. I – сила плавучести направлена против действия гидродинамических сил; II – эффективность сил плавучести уменьшается под действием гидродинамических сил;

C – влияние восходящего движения воды через литологический барьер зоны относительно повышенного давления вытеснения и пониженной проницаемости: гидродинамические силы действуют в том же направлении, что и силы плавучести, способствуя проникновению нефти и газа в мельчайшие поры барьерной зоны и уменьшая тем самым ее удерживающую способность. I – плавучесть усиливается под действием гидродинамических сил; II – эффективность сил плавучести резко повышается под действием гидродинамических сил

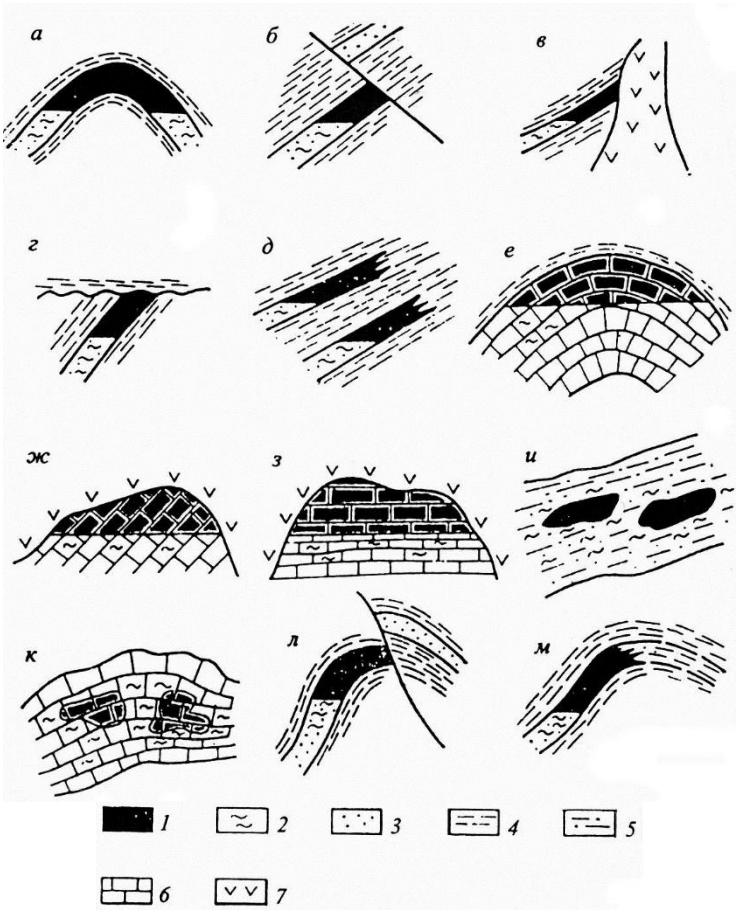


Рис. IV.11.10. Ловушки и залежи нефти и газа (по И. О. Броду, А. И. Леворсену и др.).

Пластовые: а – сводовая; *б, в* – тектонически экранированные; *г* – стратиграфически экранированная; *д* – литологически экранированная.

Массивные: е – в сводовом выступе; *ж* – в эрозионном выступе; *з* – в рифогенном выступе.

Ограниченные со всех сторон: и – в песчаных линзах среди плохопроницаемых пород; *к* – в зонах повышенной проницаемости в известняках и доломитах.

Комбинированные: л – пластовая сводовая, тектонически экранированная; *м* – пластовая сводовая, литологически экранированная.

1 – нефть и (или) газ; *2* – вода; *3* – песчаные породы; *4* – глины; *5* – песчаные глины; *6* – известняки и доломиты; *7* – соли, гипсы, ангидриты

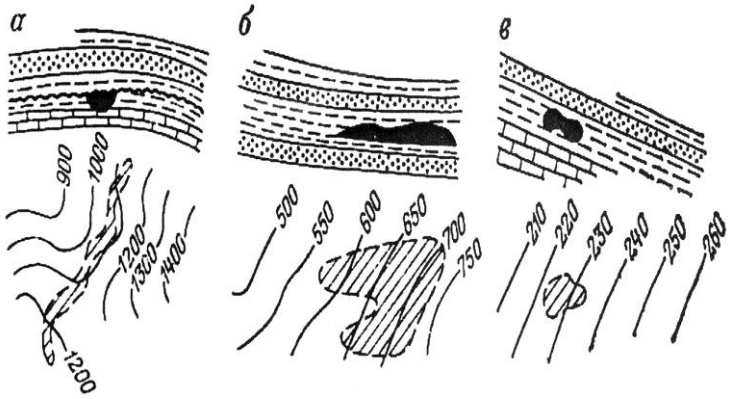


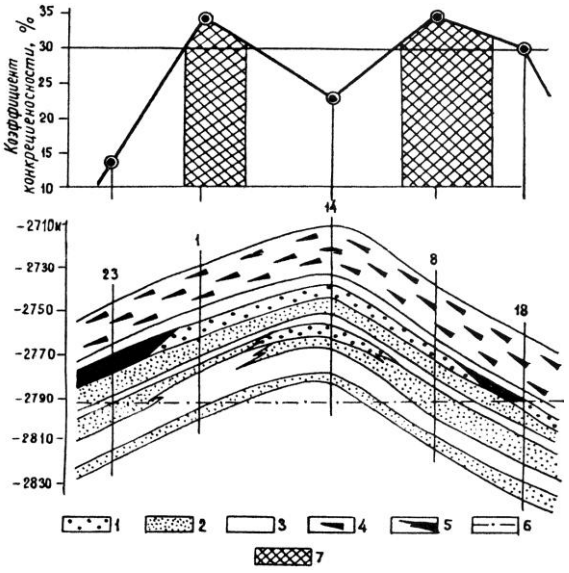
Рис. IV.11.11. Литологически экранированные залежи (А. А. Бакиров, 1982):

а) приуроченные к песчаным образованиям русел палеорек; *б*) к прибрежным баровым образованиям; *в*) к линзам песчаных пород в слабопроницаемых глинистых отложениях

Рис. IV.11.12. Пример использования конкреционного анализа при прогнозировании литологических ловушек (А. И. Сидоренков, 1988):

1 – песчаники; *2* – алевролиты; *3* – аргиллиты; *4* – битуминозные карбонатно-кремнисто-глинистые породы баженовской свиты; *5* – залежь нефти; *6* – водонефтяной контакт; *7* – участки повышенной сложности строения за счет большого числа конкреционных горизонтов.

Зоны высокой конкреционнной карбонатности могут являться латеральным экраном. Васюганское месторождение (Западная Сибирь), горизонт $Ю_1$ (оксфордский ярус)



IV.12. НЕТРАДИЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ И ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫЕ ЗАПАСЫ

IV.12.1. Общие представления; терминология

Понятие «трудноизвлекаемые запасы» (ТрИЗ) появилось в СССР в 70-х гг. прошлого века и обозначало те ресурсы, разработка которых традиционными технологиями не обеспечивала необходимой технологической и/или экономической эффективности освоения. Они в своем большинстве сосредоточены в низкопроницаемых коллекторах, а также могут характеризоваться специфическим составом нефтей (И. В. Шарф, Д. Н. Борзенкова, 2015).

В настоящее время понятие ТрИЗ тесно смыкается с определением «нетрадиционные ресурсы» (unconventional resources), широко используемым в англоязычной практике. Общие представления о таковых приведены на рис. IV.12.1 и в табл. IV.12.1. Как следует из этих данных, те параметры, которые для традиционных коллекторов являются непромышленными (см. табл. IV.10.3), для нетрадиционных служат объектом промышленного освоения, практически не ограничиваясь критическими значениями пористости и проницаемости.

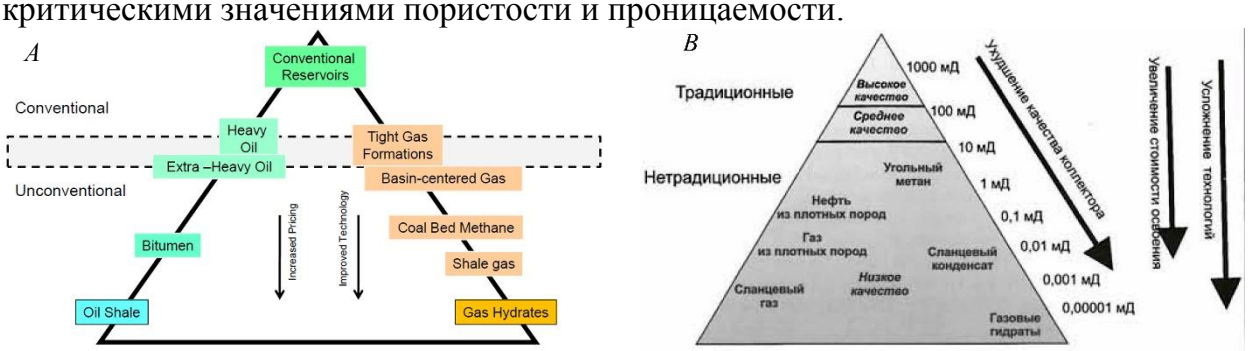


Рис. IV.12.1. Общие представления о резервуарах углеводородного сырья: *A* – ресурсный треугольник (S. A. Holditch, 2003; с изменениями); *B* – российская транскрипция (Нефть и газ …, 2014, с. 27)

Таблица IV.12.1

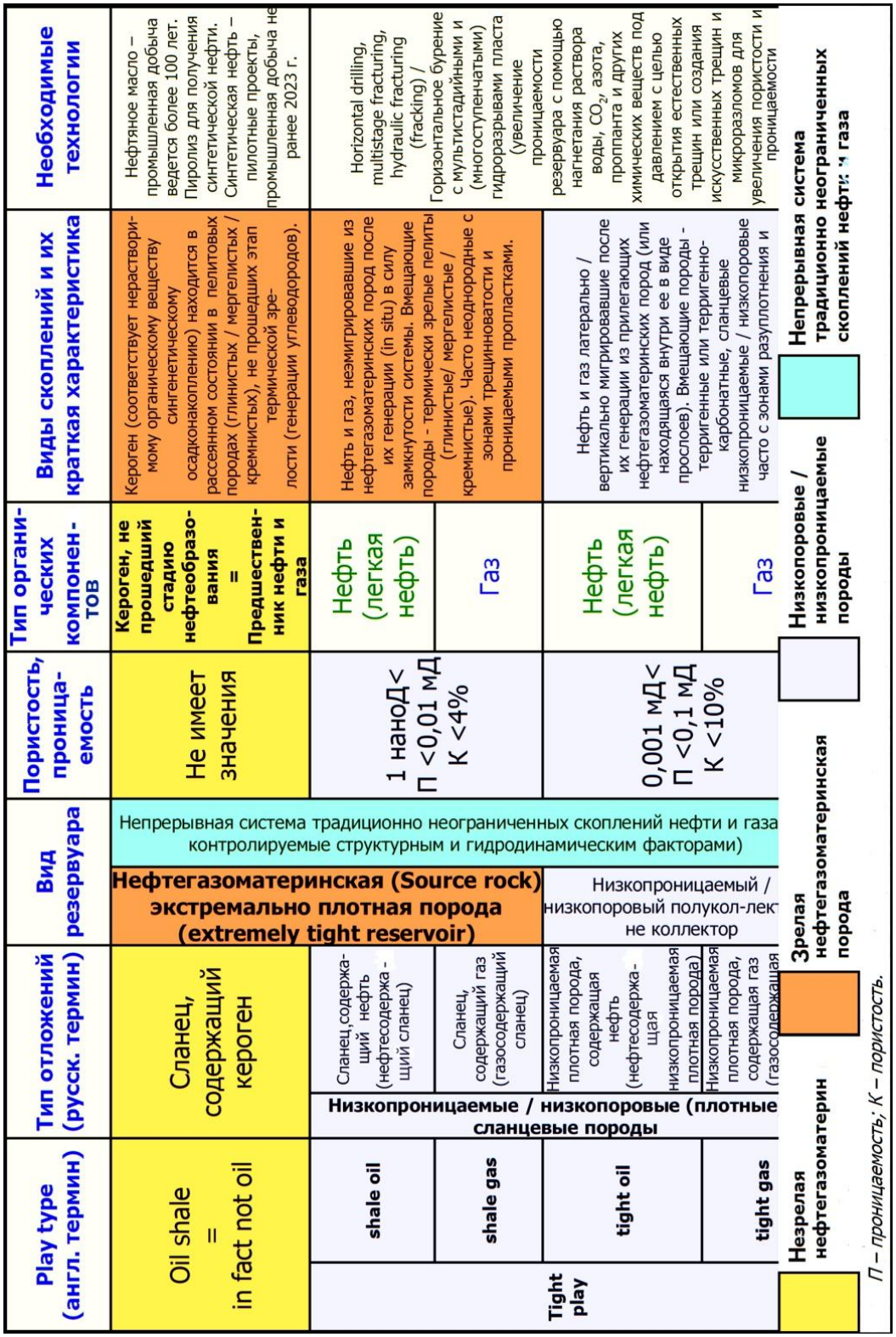
Качественный подход к традиционным/нетрадиционным коллекторам, основанный на характере изменения свойств коллекторов и увязка со стоимостью их освоения при усложнении технологии (Нефть и газ …, 2014, с. 45)

Проницаемость, Дарси	Качество проницаемости горной породы	Коллекторы	Ухудшение качества коллектора	Увеличение стоимости освоения в связи с усложнением технологий
Более 1,00	Очень высокопроницаемые	**Традиционные**	↓	↓
От 1,00 до 0,10	Высокопроницаемые			
От 0,10 до 0,01	Проницаемые			
От 0,01 до 0,001	Среднепроницаемые			
От 0,001 до 0,0001	Низкопроницаемые	**Нетрадиционные**		
От 0,0001 до 0,00001	Сверхнизкопроницаемые			
Менее 0,00001	Экстранизкопроницаемые			
0,000000001	Нанопроницаемые			

Важно отметить один терминологический аспект, нередко ускользающий от внимания российских нефтяников. Он касается понятий «сланцевые нефть и газ» (shale oil and gas) и «нефть и газ плотных пород» (tight oil and gas). Вторые полностью «поглощают» первые и относятся ко всем породам без исключения, содержащим УВ. Первые же включают только те УВ, которые сформировались «обычным» путем, предусматривающим их миграцию из материнских отложений. Общее сравнение используемых терминов приведено в табл. IV.12.2.

Таблица IV.12.2

Терминология сланцевых скоплений нефти и газа (www.ngtp.ru/present/trofimuk_2015.pdf)



IV.12.2. Сланцевый газ и сланцевая нефть

Хотя первая коммерческая газовая скважина в сланцевых пластах была пробурена в США еще в 1821 г., масштабная промышленная добыча **сланцевого газа** начата компанией Devon Energy в начале 2000-х на месторождении Барнетт в Техасе. Общие виды природного газа, а также основные принципы добычи сланцевого газа показаны на рис. IV.12.2.

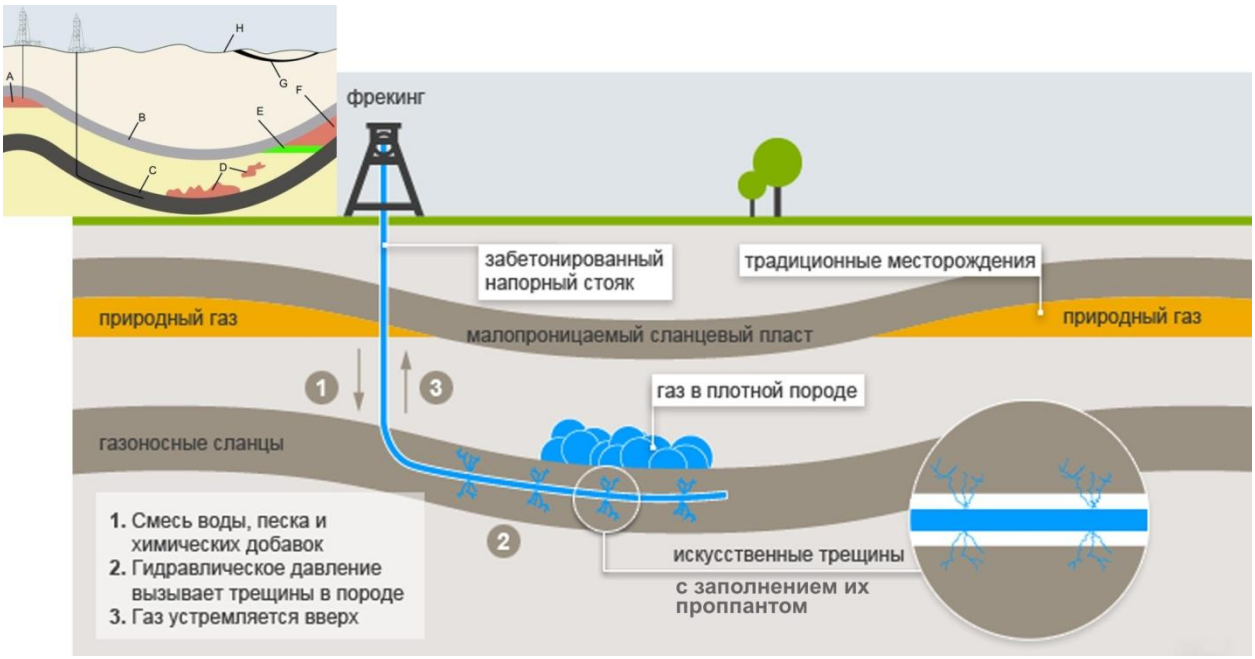


Рис. IV.12.2. Типы природного газа (вверху слева): обычный (A), сланцевый (shale) (C), из «жесткого» песка (tight) (D), попутный (F); угольный метан (G) [B – непроницаемые породы, E – вода, F – нефть, H – земная поверхность] и основная схема его добычи методом фрекинга

Фрекинг, или гидроразрыв пласта (ГРП, англ. Hydraulic fracturing; fracking), – основной метод интенсификации работы нефтяных и газовых скважин и увеличения приёмистости нагнетательных скважин. Метод заключается в создании высокопроводимых трещин в целевом пласте для обеспечения притока добываемого флюида (газ, вода, конденсат, нефть либо их смесь) к забою скважины.

Проппант (англ. propping agent – «расклинивающий агент») – гранулообразный материал, который используется в нефтедобывающей промышленности для повышения эффективности отдачи скважин с применением технологии гидроразрыва пласта (ГРП). Служит для закрепления (предупреждения смыкания под действием горного давления) трещин, создаваемых в ходе ГРП. Представляет собой гранулы сходного размера, с типичным диаметром от 0,5 до 1,2 мм.

Особенность сланцевой нефти (tight oil) заключается в том, что для ее добычи нет необходимости в формировании ловушек любого типа. Формирование нетрадиционных нефтегазовых систем показано на рис. IV.12.3.

Очевидно, что при промышленном освоении охарактеризованных ресурсов определяющее значение имеют технологические и экономические факторы. Однако роль и значение литологической составляющей также могут быть значительными (рис. IV.12.4 и IV.12.5).

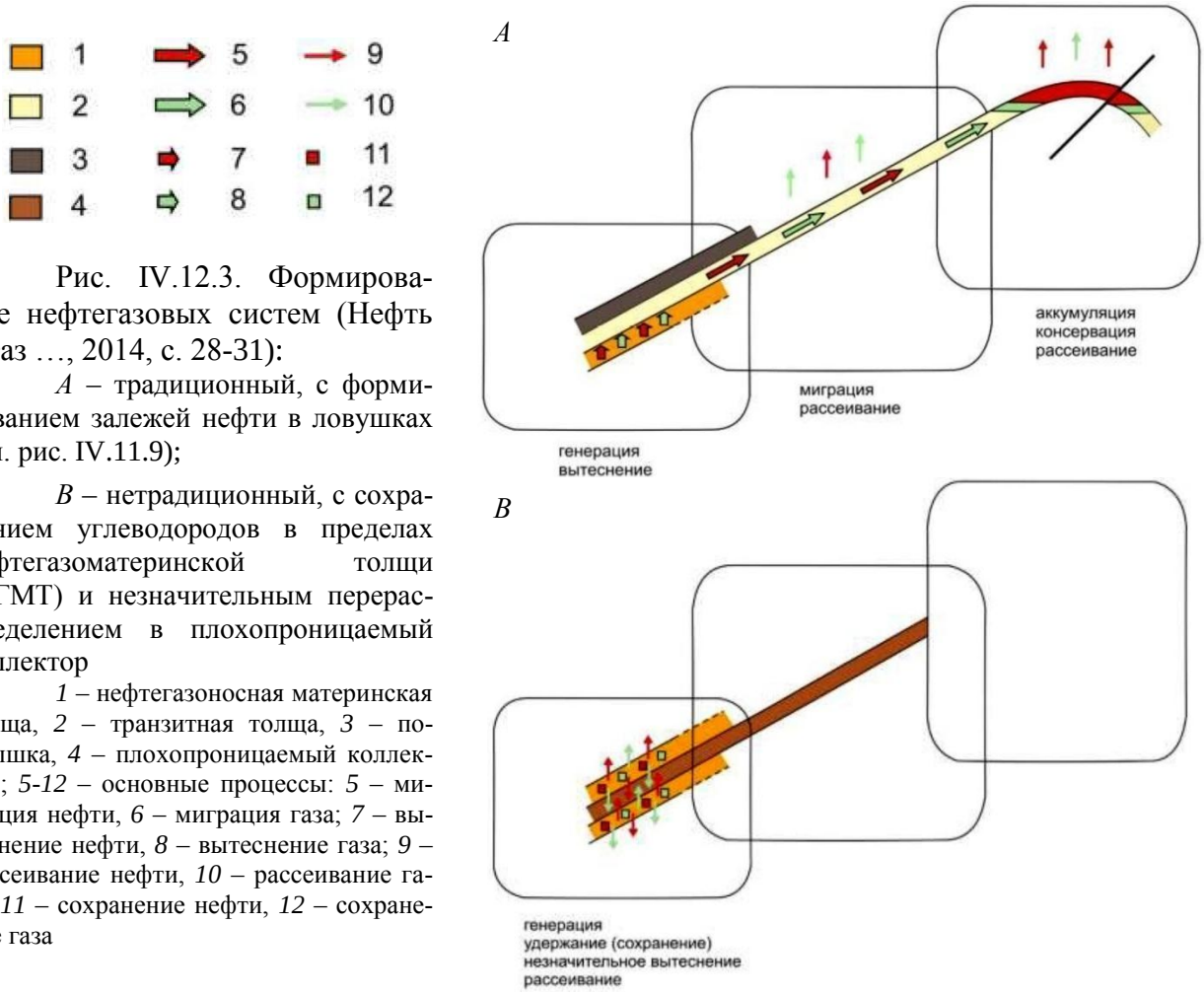


Рис. IV.12.3. Формирование нефтегазовых систем (Нефть и газ …, 2014, с. 28-31):

A – традиционный, с формированием залежей нефти в ловушках (см. рис. IV.11.9);

B – нетрадиционный, с сохранением углеводородов в пределах нефтегазоматеринской толщи (НГМТ) и незначительным перераспределением в плохопроницаемый коллектор

1 – нефтегазоносная материнская толща, *2* – транзитная толща, *3* – покрышка, *4* – плохопроницаемый коллектор; *5-12* – основные процессы: *5* – миграция нефти, *6* – миграция газа; *7* – вытеснение нефти, *8* – вытеснение газа; *9* – рассеивание нефти, *10* – рассеивание газа, *11* – сохранение нефти, *12* – сохранение газа

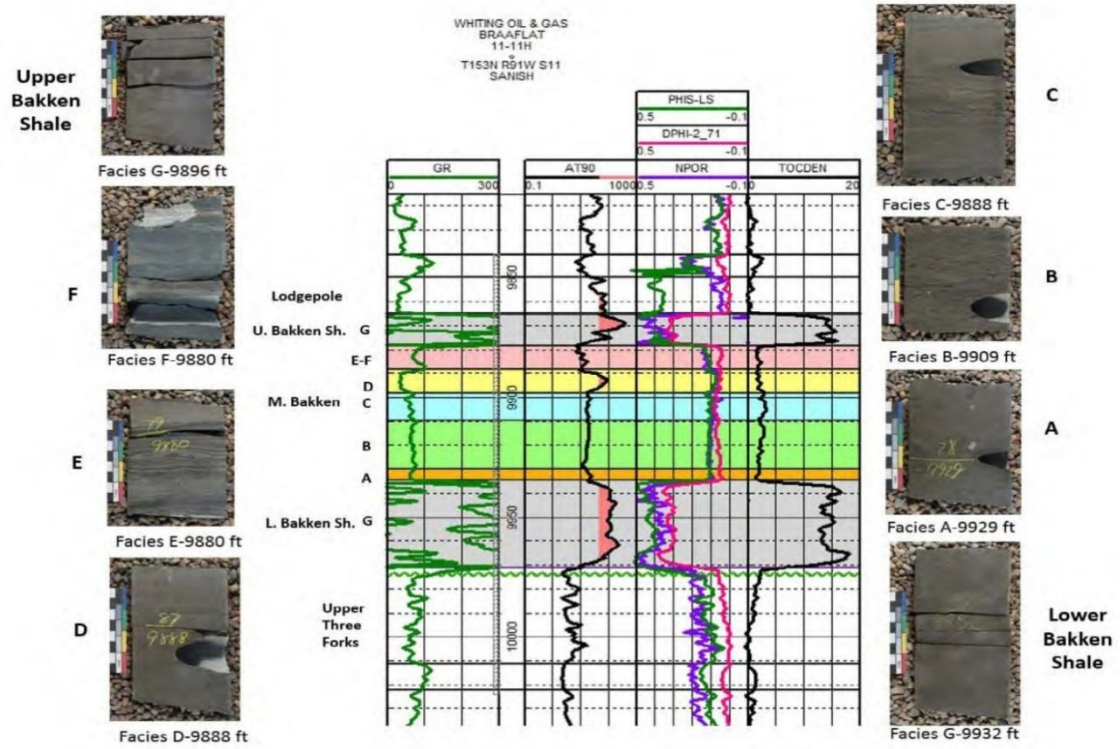


Рис. IV.12.4. Строение формации Баккен (S. A. Sonnenberg, 2015. P. 42)

Хорошо видно, как доманиковые отложения толщиной около 100 футов (30 м), состоящие из отложений, сформированных в разных обстановках (фации A – F), «запечатываются» однородными массивными темно-серыми осадками фации G (нижний и верхний сланцы Баккен)

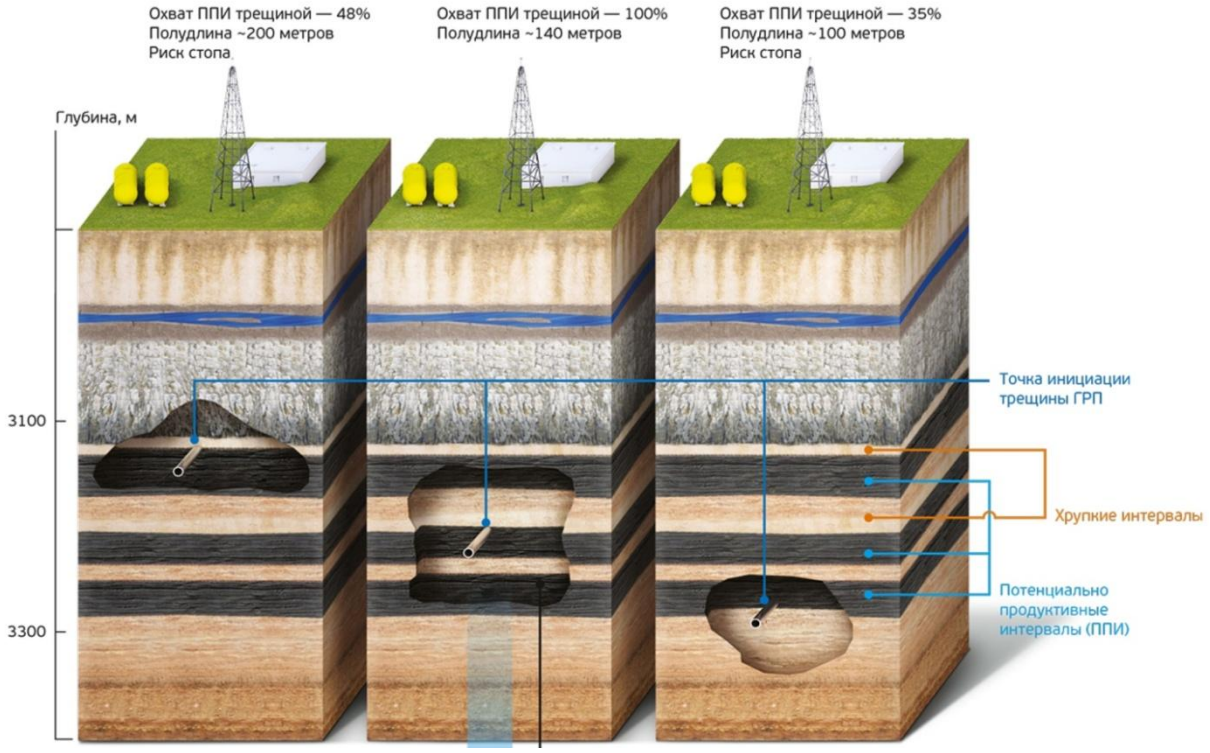


Рис. IV.12.5. Варианты реализации гидроразрыва баженовской свиты (А. А. Вашкевич, 2015)

Размещение горизонтального ствола в центральной части баженовской свиты дает возможность максимального охвата формируемыми трещинами потенциально продуктивного интервала. Минимизируется риск «стопа» (закрытия трещин) по причине смены литологического состава пород.

IV.12.3. Угольный метан и газогидраты

В продолжение общих сведений об углеводородных ресурсах (см. IV.12.1) на рис. IV.12.6 приведены таковые для газосодержащих объектов.

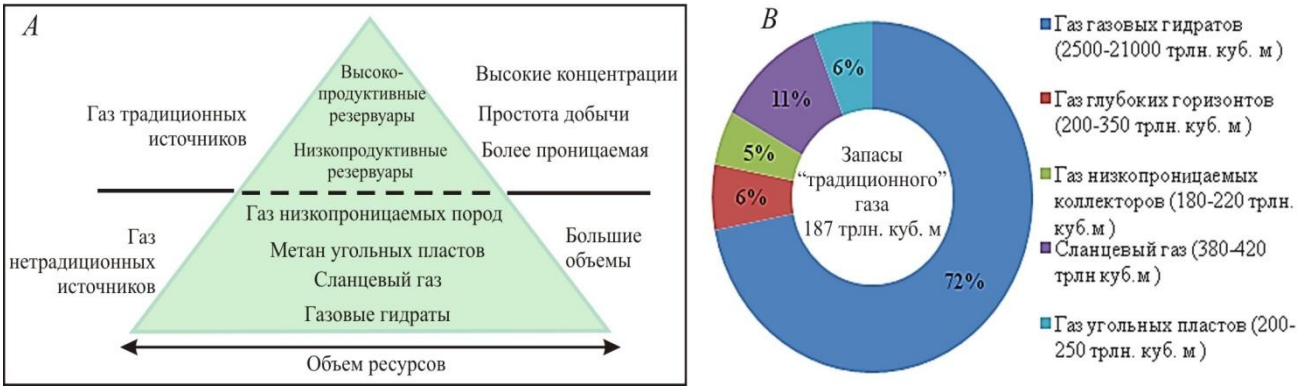


Рис. IV.12.6. Ресурсная база природных газов: *A* – пирамида мировых газовых ресурсов, предложенная в 1979 г. А. Мастерсом (A. Masters) и уточненная в 2006 г. С. Холдитчем (S. Holditch); *B* – мировые ресурсы по состоянию на 2014 г. (оценка Международного энергетического агентства МЭА: BP statistic review)

В предыдущих разделах остались нерассмотренными два весьма важных источника: газ (преимущественно метан) угольных пластов и газогидраты. Оценивая **газ угольных пластов**, целесообразно иметь в виду тесную связь нефтегазоносности и угленосности многих осадочных бассейнов, что иллюстрирует рис. IV.12.7.

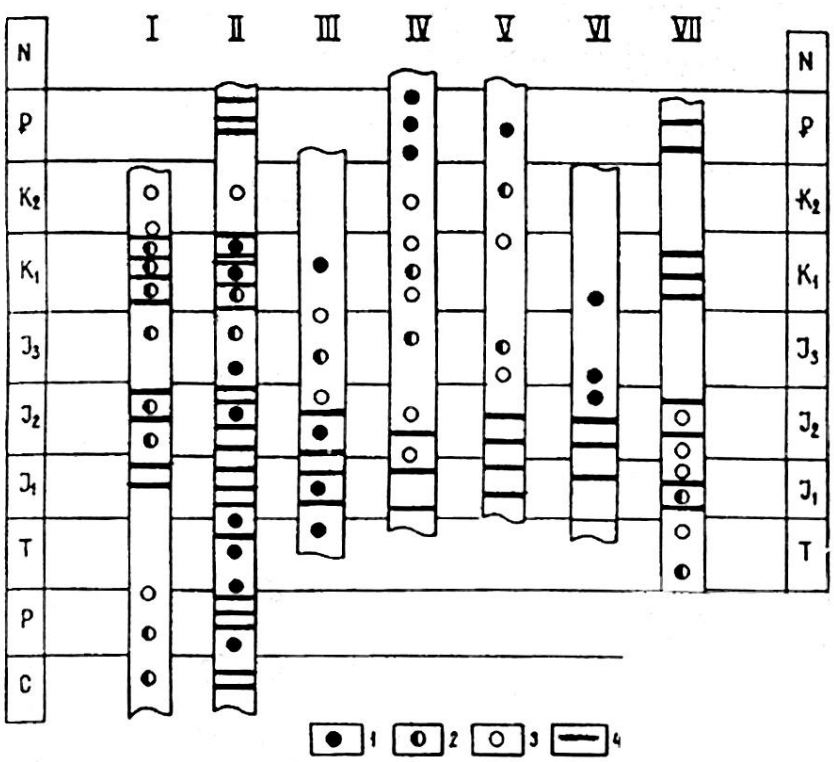


Рис. IV.12.7. Угленосность нефтегазоносных бассейнов стран СНГ (М. В. Голицын и др., 2002, с. 14): *1* – нефть; *2* – конденсат; *3* – газ; *4* – уголь.

Нефтегазоносные области и провинции: I – Западносибирская (север); II – Западносибирская (юг); III – Южномангышлакская; IV – Южноферганская; V – Сурахан-Вашская; VI – Тургайская; VII – Лено-Вилюйская

На настоящее время ситуация с освоением газоугольных ресурсов продолжает оставаться почти не решенной, что в образно-художественном виде можно охарактеризовать следующим образом:

« … Жили на Земле три брата-близнеца, и все звались одним именем – Метан. Были они могучи и даже могли рождать огонь. Пришла пора, и братья расстались. Старший брат в обличии газа затаился в породных пустотах, средний – спрятался в воде, меньший – в угле. Так и жили они порознь, пока не нашли их люди.

Старший брат сразу поставил свою энергию на службу человеку, два других не хотят это сделать до сих пор. Растворенный в угле даже мешает добыче угольного топлива: соединяясь с кислородом, он взрывается и образует выбросы. Растворенный в воде – закупоривает трубопроводы, по которым спешит к людям старший брат – газообразный метан» (И. Л. Эттингер, 1988, с. 154).

Главная причина того, что промышленное извлечение метана из угля пока реализуется только в малых объемах, заключается в его нахождении в виде *твердого раствора* или **клатрата** (см. п. III.5.2).

Клатратными называются соединения, образующиеся в результате обратимого внедрения молекул одного сорта («молекул-гостей») в межкристаллическое пространство молекул другого сорта («молекул-хозяев») без возникновения химических связей. Всегда можно подобрать условия, способствующие появлению такого типа соединений, и условия выделения включенных молекул. Включение возможно только при том условии, что полость в кристаллах «молекул-хозяев» соответствует размерам «молекул-гостей». Это обеспечивает высокую селективность процесса (И. Л. Эттингер, 1988, с. 60-61).

Наиболее вероятно, что при образовании угля имела место окклюзия – захват частицами и включение метана внутрь образующегося осадка (будущего угля) с последующим зарастанием метановых молекул. Происходит сингенетическое соосаждение углеобразующих частиц и метана. При этом метан переходит в конденсированное состояние. Некоторое представление о структуре клатратов дают рис. IV.12.8 и табл. IV.12.3.

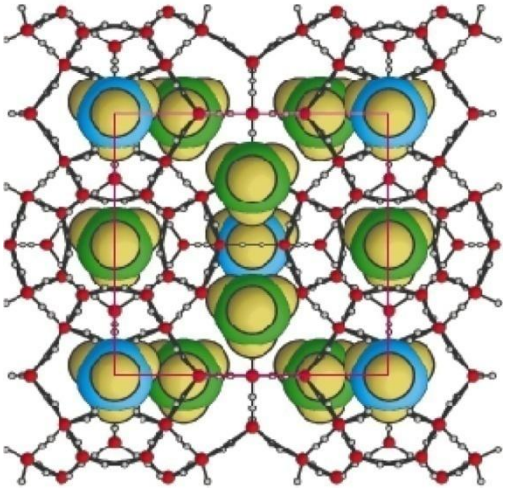


Рис. IV.12.8. Структурный мотив клатрата КС-1 (см. табл. IV.12.2) с молекулами метана в D- (голубой цвет) и T-плоскостях (зеленый цвет). Выделена элементарная ячейка (Ю. А. Дядин, А. Л. Гущин, 1998)

Таблица IV.12.3

Основные структуры клатратных каркасов

(Ю. А. Дядин, А. Л. Гущин, 1998; с сокращениями)

Тип, структура	Параметры ячейки *a*, c (Å), плотность полого каркаса ρ, г/см^3	Формула элементарной ячейки
Кубическая I КС- I	*a* = 12,0 ρ = 0,796	6T· 2D·46H_2O
Кубическая II КС- II	*a* = 17,1 ρ = 0,812	8H· 16D·136H_2O
Гексагональная III (структура H) ГС-III	*a* = 12,3 *c* = 10,2 ρ = 0,768	E· 2D′·3D·34H_2O
Тетрагональная I ТС- I	*a* = 23,5 *c* = 12,3 ρ = 0,757	4P·16T· 10D·172H_2O

Естественно, что свободный газ может стать жидкостью или твердым телом в определенных условиях, что, как правило, связано с понижением температуры либо с повышением давления. Такой механизм показан на рис. III.5.5. Именно с ним связано формирование **газовых гидратов** или **газогидратов** (см. п. III.5.2). В дополнение к этим сведениям приведем общую схему формирования газогидратов в природе (рис. IV.12.9). Пока они рассматриваются как «топливо будущего», но пример сланцевого газа показывает, что это будущее может наступить весьма быстро.

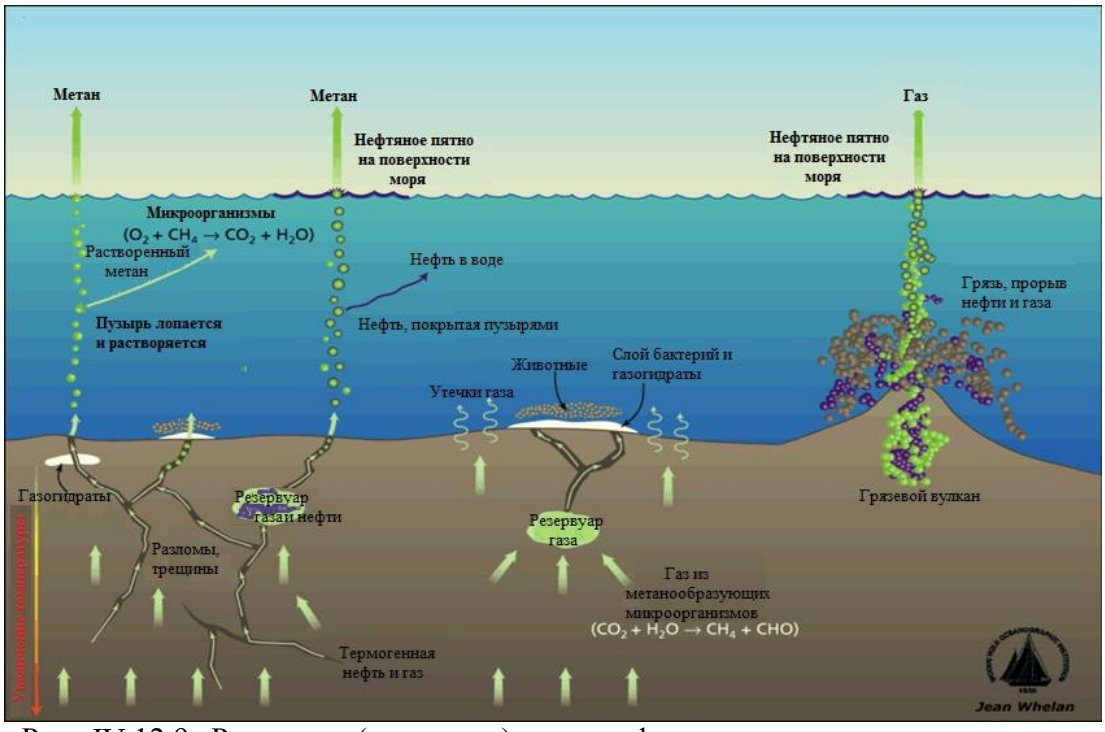


Рис. IV.12.9. Разгрузка (дегазация) недр и формирование газовых гидратов (J. K. Whelan, 2004)

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И НЕЛИНЕЙНАЯ ЛИТОЛОГИЯ

IV.13. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

IV.13.1. Общая теория систем; системность в геологии

Системный анализ – мощное оружие взаимодействия для исследователей любых процессов и явлений. Его основы в виде **общей теории систем** (ОТС) заложены в конце 1930-х и сформулированы в начале 1950-х гг. Л. фон Берталанфи, будучи предвосхищены *тектологией* А. А. Богданова.

Карл Лю́двиг фон БЕРТАЛА́НФИ (нем. *Ludwig von Bertalanffy*; 19 сентября 1901 г. – 12 июня 1972 г.) – австрийский биолог, постоянно проживавший в Канаде и США с 1949 г. Первооснователь обобщённой системной концепции под названием «Общая теория систем» (Bertalanffy L. Von, 1956, 1962). Постановщик системных задач – прежде всего в сфере разработки математического аппарата описания типологически несходных систем. Исследователь изоморфизма законов в различных сегментах научного знания (Википедия).

Алекса́ндр Алекса́ндрович БОГДА́НОВ (настоящая фамилия – **Малино́вский**, другие псевдонимы – *Вернер, Максимов, Рядовой*; 10 (22) августа 1873 г. – 7 апреля 1928 г.) – российский учёный-энциклопедист, революционный деятель, врач, мыслитель-утопист, писатель-фантаст, один из крупнейших идеологов социализма. В 1911 г. отошёл от активной политической деятельности и сосредоточился на разработке своих идей о новых науках – тектологии, и «науки об общественном сознании»; предвосхитил некоторые положения системного подхода и кибернетики. С 1926 года – организатор и директор первого в мире Института переливания крови; погиб, производя на себе опыт.

В трехтомной работе «Тектология» (1913-1922) Богданов предложил объяснять процессы развития природы и общества на основе принципа равновесия, заимствованного из естествознания. Все развивающиеся объекты природы и общества представляют собой, по Богданову, целостные образования, или системы, состоящие из многих элементов.

Равновесное состояние системы Богданов рассматривает не как раз и навсегда заданное, а как «динамическое» или «подвижное» равновесие. Оно выступает как постоянное взаимодействие прогрессивно развивающейся системы с окружающей средой, приводящее со временем к её неравновесности и последующей неустойчивости (кризису), очередной структурной перестройке, создающей новую устойчивость и новое состояние равновесия на более высоком витке её дальнейшего развития.

Системные представления охватывают все области знаний (рис. IV.13.1); в табл. IV.13.1 приведены основные свойства систем.

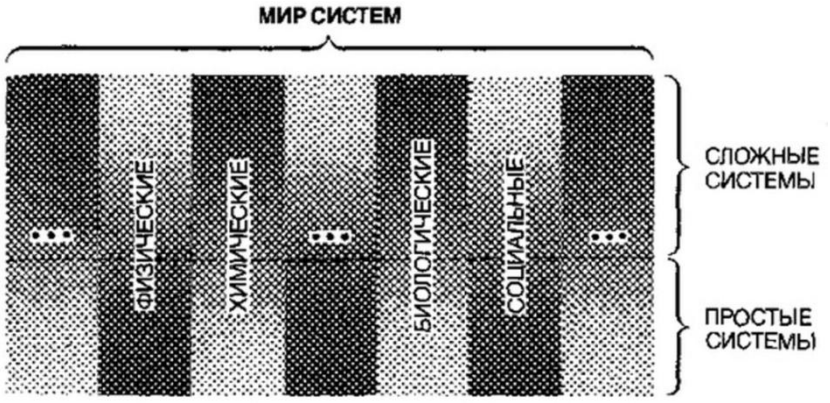


Рис. IV.13.1. Отношения между кибернетикой и другими науками (Ф. Н. Перегудов, Ф. П. Тарасенко, 1989, с. 27)

Таблица IV.13.1

Основные свойства систем

Свойство	Характеристика
Целостность	Характеризует систему как целое, которое затем можно членить на компоненты, и при этом не компоненты составляют целое, а, наоборот, целое порождает при своем членении компоненты
Эмерджентность	Характеризует принципиальную несводимость свойств системы к сумме свойств слагающих ее компонентов (см. табл. I.1.1)
Эквифинальность	Способность достигать конечного состояния независимо от изменений в начальных условиях системы
Иерархичность	Свойство, характеризующее систему в случае, если она представляет собой один из компонентов более широкой системы (макросистемы), а каждый элемент в ее составе, в свою очередь, может рассматриваться как система для составляющих ее элементов
Полимодальность	Возможность описания системы на основе построения множества различных моделей, каждая из которых описывает лишь определенный ее аспект

Для геологических систем важным является уровень общности знания и путь его получения (рис. IV.13.2).

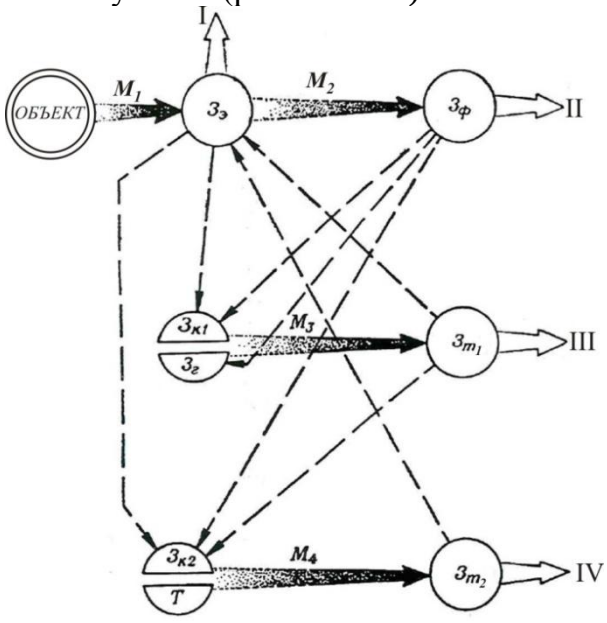


Рис. IV.13.2. Соотношение геологических знаний разных уровней общности (В. В. Груза, Ю. Р. Ткачев, 1978)

Конкретные исследования объектов (M_1) предоставляют опытные или эмпирические знания (*Эз*), которые могут использоваться либо непосредственно (I), либо после их обработки (M_2), с установлением некоторых закономерностей Зф (путь II).

Наличие знаний генерализованного характера (Зг), вкупе со знаниями о конкретных объектах ($Зк_1$) позволяют получить новые теоретические знания $Зm_1$, посредством применения специальных методик обобщения M_3. Полученные результаты могут использоваться уже с замещением опытных данных (путь III).

Эта же система может повторяться и на более высоком уровне обобщения: теоретические построения (*Т*) с использованием обобщающих исходных сведений ($Зк_2$) – современные методы обработки сведений M_4 и получение принципиально новых сведений $Зm_2$ с их практическим использованием (путь IV).

В несколько упрощенном виде такой подход к получению геологических знаний был показан на примере **зет-системы** (Z-системы) Ю. А. Косыгина (см. рис. II.6.1). Характеристика использованных при этом систем приведена в табл. IV.13.2.

Таблица IV.13.2

Характеристика статических, динамических и ретроспективных систем
(Ю. А. Косыгин, 1974, с. 21)

Класс	Тип	Элементы	Отношения	Связи	Принципы исследования	Время	Результаты
Системы, имеющие оригинал	Статический	Геологические тела	Пространственные	Атомно-молекулярные и гравитационные	Специализации	Фиксированное	Геологические и геофизические карты и разрезы. Графики с фиксированным временем. Петрографическое описание
	Динамический	Геологические процессы и состояния	Пространственно-временные	Причинно-следственные	Физики, химии и механики	Физическое	Графики с временем в качестве одной из переменных
Системы, не имеющие оригинал	Ретроспективный	Реконструированные геологические события и процессы	Реконструированные отношения последовательности	Реконструированные причинно-следственные	Актуализма	Логическое	Палеогеографические карты и разрезы. Карты фаций, схемы генезиса и эволюции

IV.13.2. Геологическое моделирование

Понятия «модель», «моделирование» имеют очень расширенные и многозначные трактовки – от абстрактной модели Солнечной системы до конкретной модели какого-то объекта в самом разном масштабе. В наиболее общем определении **модель** – это *объект-заместитель, который имеет сходство с прототипом и служит средством описания, и/или объяснения, и/или прогнозирования поведения прототипа адекватно целям исследования* (Системный анализ//Гуманитарная энциклопедия: gmarket.ru). Соотношение между изучаемыми системами и их моделями показано на рис. IV.13.3 (см. также рис. II.6.2).

Рис. IV.13.3. Процесс моделирования системы (www.gmarket.ru)

Для нефтегазовой геологии весьма приемлемыми выглядят следующие определения (К. В. Дойч, 2011, с. 367-368):

Модель – в научном и техническом контексте обычно означает численное выражение физических или математических величин. Значение сильно зависит от конкретного контекста. Так, например, вариограммная *модель* – это уравнение, задающее вариограмму для всех расстояний и направлений, а *модель* коллектора – это координатно-привязанный набор данных по фациальному составу, пористости и проницаемости, покрывающий весь исследуемый объем.

Моделирование – создание реализаций из распределения вероятностей, которые могут быть определены в аналитическом виде или пригодны для анализа только после создания множества реализаций. В построениях обычно участвует несколько переменных (рис. IV.13.4).

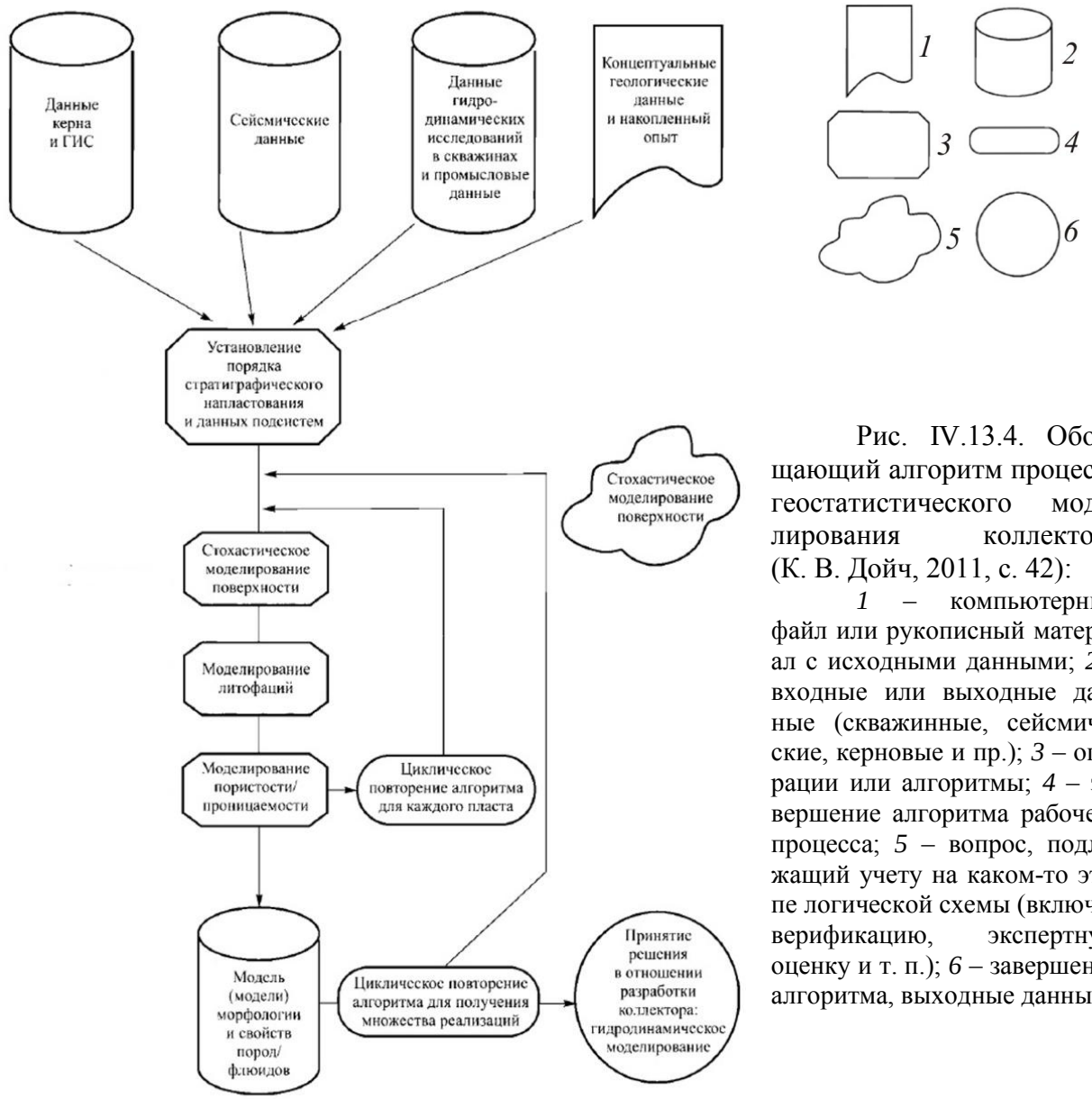


Рис. IV.13.4. Обобщающий алгоритм процесса геостатистического моделирования коллектора (К. В. Дойч, 2011, с. 42):

1 – компьютерный файл или рукописный материал с исходными данными; *2* – входные или выходные данные (скважинные, сейсмические, керновые и пр.); *3* – операции или алгоритмы; *4* – завершение алгоритма рабочего процесса; *5* – вопрос, подлежащий учету на каком-то этапе логической схемы (включая верификацию, экспертную оценку и т. п.); *6* – завершение алгоритма, выходные данные

В приведенных выше, достаточно «мягких» определениях – «модель» и «моделирование» – уже содержатся предостережения от излишне прямого, и тем более жестко детерминированного употребления этих понятий. В более развернутом виде они могут быть представлены следующим образом.

Чем не является геостатистическое моделирование (О. Дюбрюль, 2009, с. 61-62).

- ✓ Геостатистика – это не алгоритм выбрасывания монеты для определения фаций в межскважинном пространстве.
- ✓ Геостатистика – это не замена отсутствующей информации о геологии месторождения.
- ✓ Геостатистика не может заменить геолога, геофизика или инженера-промысловика.
- ✓ Геостатистика – это не автоматический метод, позволяющий получить результат нажатием одной кнопки.
- ✓ Геостатистика – это не альтернатива «детерминированным подходам». В геостатистике известная информация рассматривается как детерминированная, а неизвестная – как вероятностная.

Не существует такого понятия, как «абсолютная» или «объективная» мера неопределенности. Геостатистическая изменчивость зависит от выбранной модели и ее параметров, которые могут оказаться неверными при поступлении новой информации.

Перечисленные предостережения по сути отражают современную модификацию (как бы «версию 2.0») событий рубежа 1960-1970-х, ознаменовавшихся активной попыткой «математизации» геологии (Ю. А. Воронин, Э. А. Еганов, 1972; Геология и математика, 1977 и др.). Завершившись почти безрезультатно, эти исследования в настоящее время получают «новую жизнь» благодаря современному программному обеспечению, предоставляющему возможности почти неограниченного перебора вариантов. В целом это соответствует общим принципам моделирования (см. приведенные выше определения).

Рассматривая **морфологию** как учение о **форме** геологических тел (греч. morphe – форма и logos – наука, знание), следует различать *три* ее составных элемента: *морфометрию* как изучение размера форм (греч. metron – мера); *морфографию* как описание форм (греч. grapho – пишу) и *морфогенезис* как изучение происхождения форм (греч. genesis – происхождение). Такое понимание впервые, применительно к рудным залежам, четко сформулировано в работе (Д. А. Зенков, 1962). К этому дополним, что морфометрическую и морфографическую характеристики можно объединить понятием *морфоструктуры* (лат. structure – строение): рис. IV.13.5.

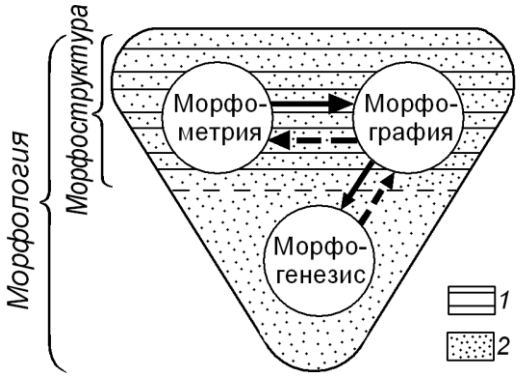


Рис. IV.13.5. Морфология как учение о форме геологических тел: ее составляющие и взаимоотношения между ними:

1 – морфоструктура; *2* – морфология в целом

Из приведенного явственно следует, что, говоря о морфологии тех или иных геологических тел (в нефтегазовой литологии, чаще всего, коллекторов), имеется в виду их морфография, или морфоструктура. Для суждений же именно о морфологии необходимо привлекать сведения о генезисе объектов, что устанавливается с помощью фациального анализа и получило мощный импульс при широком распространении объемных исследований вида 3D.

IV.13.3. 3D-моделирование и четырехмерные модели

Широкое внедрение в практику нефтегазогеологических исследований объемных сейсмических исследований вида 3D (см. IV.6) позволило принципиально по-новому подойти к решению всех вытекающих вопросов (табл. IV.13.3; рис. IV.13.6).

Таблица IV.13.3

Последовательность процедур интегрирования сейсмических материалов при создании геологической модели (Рекомендации …, 2014, с. 12)

Стадия создания модели	Процедуры интегрированной интерпретации
1. Структурная модель	1.1. Увязка данных бурения и сейсморазведки
	1.2. Определение скоростной модели среды
	1.3. Трассирование стратиграфических границ, выявление и трассирование разломов
	1.4. Построение структурных карт кровли и подошвы на основе сейсмических структурных карт
2. Литофациальная модель	2.1. Построение палеосейсмических разрезов
	2.2. Расчет атрибутов и импедансов
	2.3. Расчленение пласта на литофации по данным бурения (ГИС) с учетом особенностей рисунка сейсмической записи, палеорельефа, зональности атрибутов и импедансов
	2.4. Картирование литофаций, зон выклинивания коллекторов
3. Модель ФЕС	3.1. Изучение количественных связей Кп, Рэф между скважинными данными и сейсмическими атрибутами и/или импедансами. Выбор наиболее информативных и надежных связей
	3.2. Построение прогнозных карт ФЕС
	3.3. Прогноз положения барьеров проницаемости, высоко- и низкопроницаемых зон
4. Модель флюидонасыщения	4.1. Картирование контуров залежей по структурным картам
5. Подсчет запасов	5.1. Оценка удельных объемов
	5.2. Оценка общих и удельных объемов

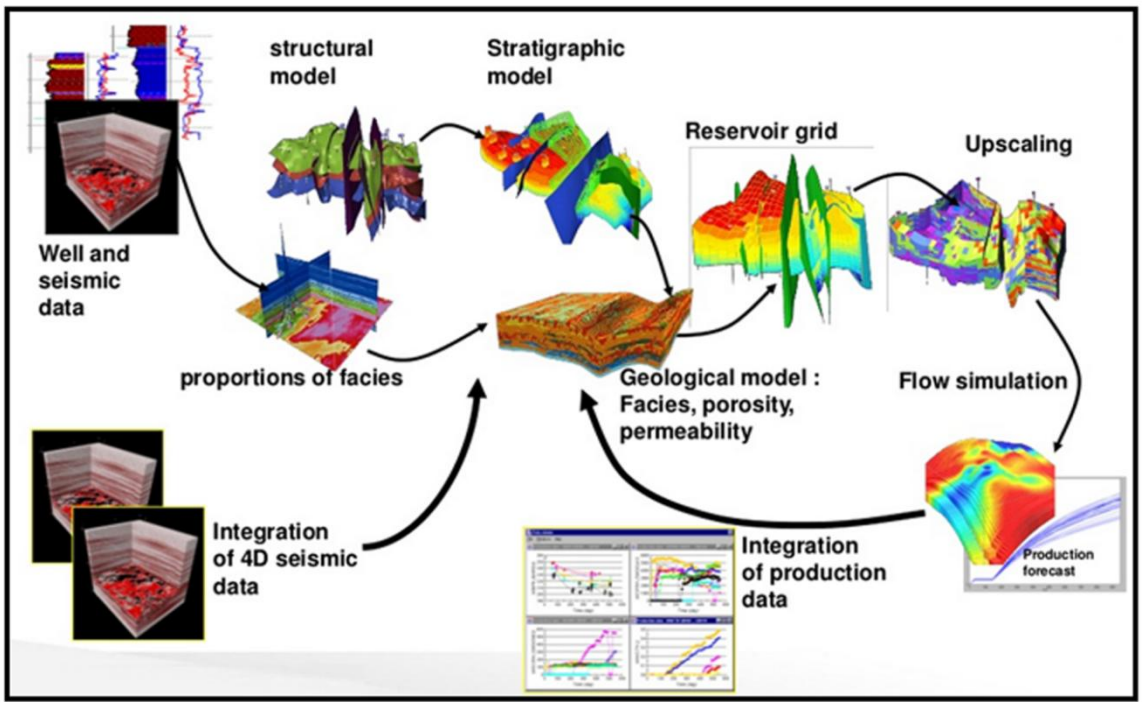


Рис. IV.13.6. Последовательность операций при обработке информации (www.info@oil-gasportal.com//Integrated Reservoir Modelling)

При любых форматах работ следует помнить, что от их масштаба и детальности, как правило, напрямую зависят представления о сложности объекта (рис. IV.13.7, IV.13.8). Приведенные сведения подтверждают известное геологическое присловье о том, что «полностью разведанным месторождение может считаться только после его окончательной отработки».

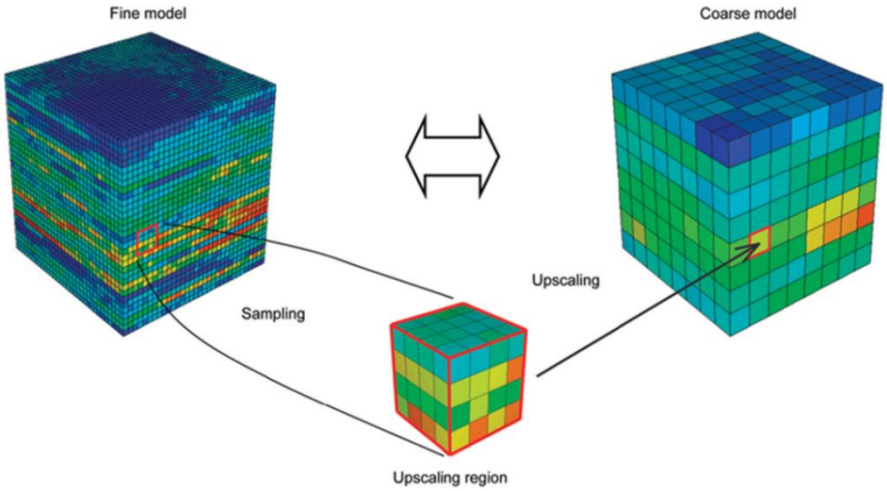


Рис. IV.13.7. Изменение представлений о сложности строения объекта в зависимости от детальности сведений (www.info@oil-gasportal.com// Integrated Reservoir Modelling)

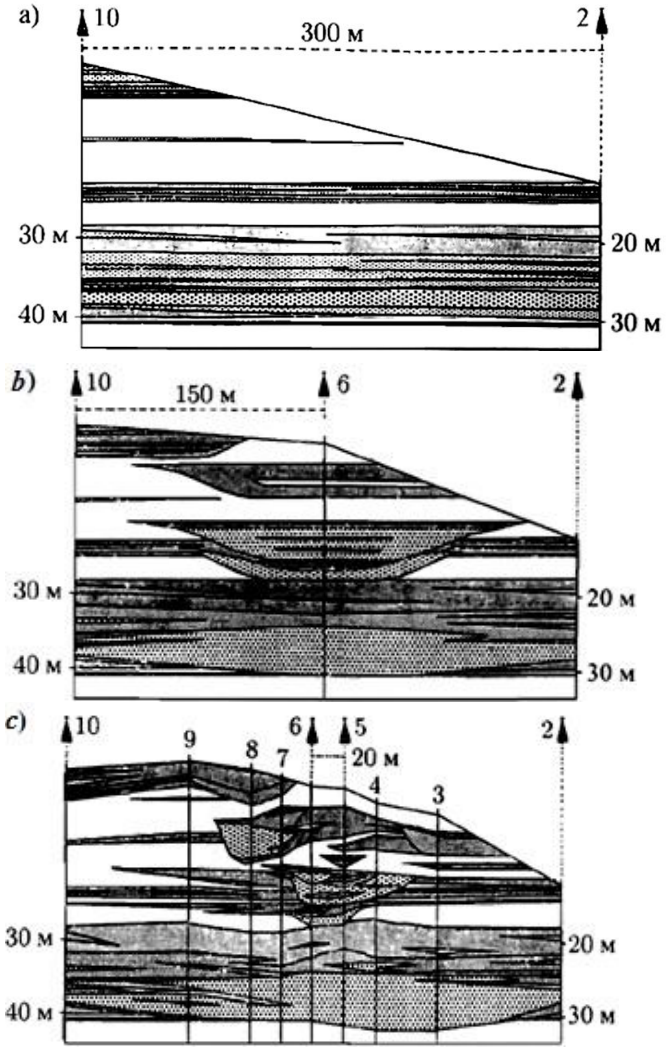


Рис. IV.13.8. Изменение геологической модели по мере поступления новых данных. Различные виды геометрии продуктивных пластов в среднеюрской свите дельтового типа на побережье Йоркшира, полученные с применением различного количества скважин при корреляции данных (P. F. E. A. Homewoord, 1992); из: О. Дюбрюль, 2009, с. 213:

a – при расстоянии между скважинами в 300 м продуктивные пласты имеют вид непрерывных слоев песка;

b – при расстоянии между скважинами в 150 м в 6-й скважине вскрывается канал;

c – если при моделировании используются 9 скважин, отстоящих друг от друга на 20 м, то в верхней части разреза вскрываются 3 канала, а начальная геометрия песчаного слоя значительно видоизменяется

Подвключение в программу исследований четвертой, временно́й координаты предоставляет возможность строить 4D модели – как в режиме реального (см. рис. IV.13.4), так и геологического времени. Последние особенно важны для полноценного изучения нефтегазоносных бассейнов (М. П. Антипов и др., 2004).

IV.13.4. Марковские процессы

Весьма эффективным **методом** изучения стохастических (вероятностных) процессов являются **марковские цепи**, названные так по фамилии известного русского математика А. А. Маркова (1856-1922). Главным для них является оценка зависимости вероятности перехода в последующие состояния от предшествующего, то есть наличие т. н. **эффекта памяти**. Нормальные цепи Маркова (последовательности смены ограниченного числа состояний) характеризуются конечным числом расстояний между анализируемыми состояниями. Вероятность перехода между ними является постоянной величиной для всей анализируемой цепи. Если соответствующая каждому переходу вероятность, или «память», распространяется только на один шаг (от предшествующего состояния к последующему), такую цепь называют простой, или первого порядка. Соответственно, существуют более сложные цепи – II, III, … N порядков, в которых при вычислении условной вероятности перехода учитывают не два, а сразу три и более состояний. В этом случае вероятность появления состояния «а» оценивается при условии, что до этого было состояние «б», появившееся после «в», и т. д.

При выполнении исследований наибольшую информацию несет матрица *эмпирических частостей перехода*, процедуру получения которой иллюстрирует рис. IV.13.9.

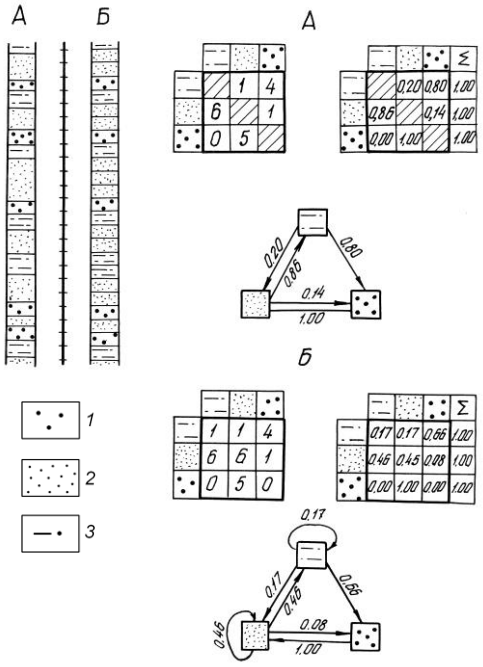


Рис. IV.13.9. Анализ марковских свойств для разрезов из трех состояний (*1* – гравелит, *2* – песчаник, *3* – алевролит):

А – вне зависимости от толщины (размера) слоя, то есть слой «сам в себя» не переходит;

Б – та же колонка проранжирована равномерным шагом (слои меньшей толщины условно увеличены до минимального размера, а большей – разделены на соответствующее количество единиц)

Генезис слоев	Кол.	БУ	БМ	БП	БД	БЗ	КС	АР	АП	ОЗ	Т
БУ	3		0.67	0.33							
БМ	103	0.01		0.47	0.38		0.06	0.04	0.01	0.02	0.01
БП	134	0.02	0.42		0.03	0.05	0.22	0.01	0.03	0.15	0.07
БД	35		0.69	0.11			0.03	0.17			
БЗ	22		0.13	0.09			0.33	0.05		0.27	0.13
КС	70		0.04	0.38	0.01	0.10		0.01	0.03	0.29	0.14
АР	18		0.22	0.16	0.22		0.06		0.28	0.06	
АП	20			0.25			0.05	0.25		0.20	0.25
ОЗ	59		0.17	0.24	0.02	0.10	0.29		0.03		0.15
Т	36		0.08	0.31		0.06	0.14	0.06	0.16	0.19	

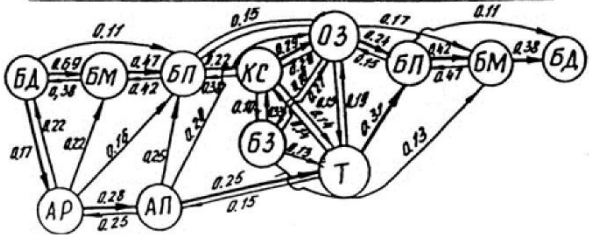


Рис. IV.13.10. Марковские процессы: матрица переходных вероятностей (вверху) и модель седиментационного процесса (внизу). Данные по 600 слоям скв. 175 Улугхемского каменноугольного бассейна

Расшифровку буквенных обозначений фаций см. в табл. II.5.8: БУ – удаленный (открытый) бассейн; БМ – подвижное и БП – малоподвижное бассейновое мелководье; БД – дельта; БЗ – залив; КС – мелкие прибереговые водотоки; АР – русловый и АП – пойменный аллювий; ОЗ – застойные озера; Т – торфяные болота

Использование математического аппарата марковских цепей для решения геологических задач содержится в работах А. Б. Вистелиуса (1966, 1980), Дж. Харбуха и Г. Бонэм-Картера (1974) и др. Иллюстрация решения литологических задач приведена на рис. IV.13.11 и IV.13.12.

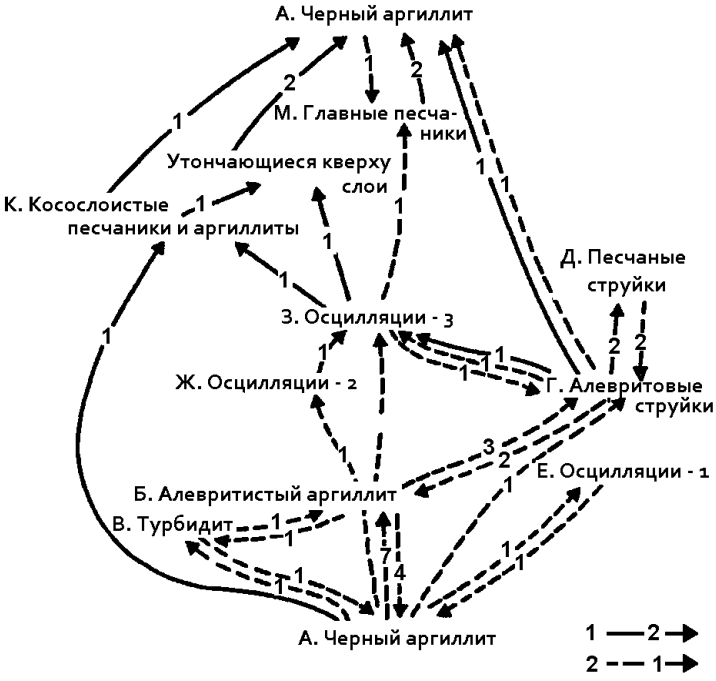


Рис. IV.13.11. Диаграмма взаимоотношений фаций для дельтовой формации Абботсхэм, показывающая, сколько раз фации находятся в вертикальном контакте друг с другом, и типы границ между ними (Обстановки…, 1990, т. 1, с. 16):

1 – резкий контакт между фациями, встречен дважды; *2* – постепенный контакт между фациями, встречен один раз

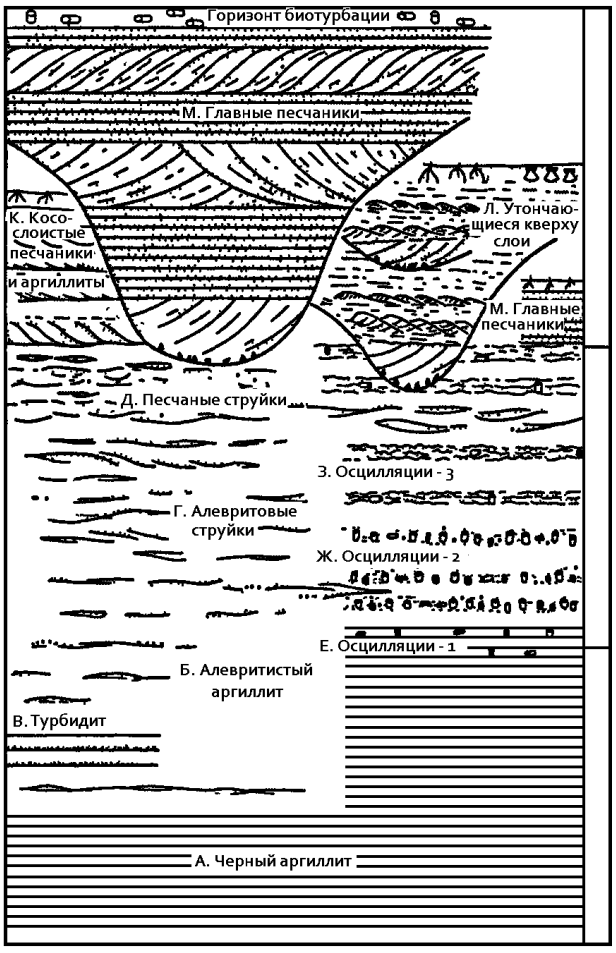


Рис. IV.13.12. Наглядное изображение фаций формации Абботсхэм и их взаимоотношений, показанных на рис. IV.13.11

IV.14. ПРОВЕРКА ПОСТРОЕНИЙ И РЕКОНСТРУКЦИЙ

IV.14.1. Верификация

Проверке или верификации фациальных реконструкций посвящена отдельная тема во II части пособия (II.6). Это обусловлено невозможностью «прямого» наблюдения геологических процессов как в силу необратимости времени, так и в связи с его особой длительностью. В целом подход, изложенный в теме II.6, удовлетворяет принципам эволюционной эпистемологии (К. Поппер, 1983; Эволюционная …, 2000), которая выглядит следующим образом:

$P_1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_2$.

Привлекая зет-систему Ю. А. Косыгина, охарактеризованную в п. II.6.1, проведем следующее сравнение.

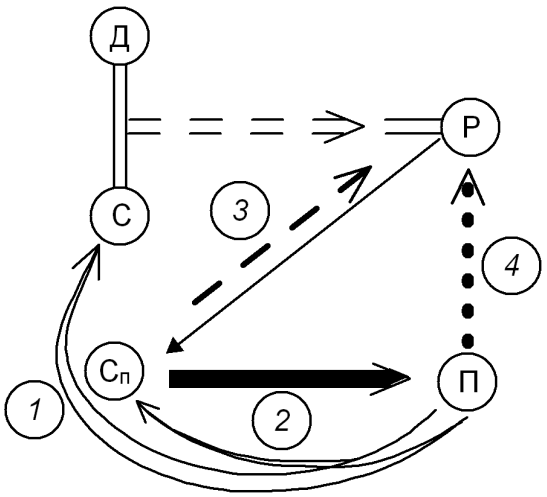


Рис. IV.14.1. Зет-система (см. рис. II.6.1, В):

Пути верификации моделей Z-системы (Д – динамические, С – квазистатические, Р – ретроспективные, $С_п$ – прогнозные), исходя из практического результата (П) (Ю. А. Косыгин, 1983: с дополнениями):

1 – наиболее общая проверка; *2* – трансляция представлений на новый объект; *3* – детализация представлений об объектах; *4* – «внутренняя» верификация результатов для конкретного метода

Здесь P_1 – это проблема (ретроспективные системы Р на рис. IV.14.1); TT – пробные теории (tentactive theories), соответствующие прогнозным моделям Сп. Данные теории подвергаются критическому процессу устранения ошибок (error elimination) EE. В геологии такой подход реализуется путем построения прогнозных моделей (П на рис. IV.14.1). Поскольку прямая проверка нереальна, она выполняется путем верификации на новом материале, а выявленные ошибки и недостатки порождают новые проблемы P_2. При этом различие между старой (P_1) и новой (P_2) проблемами может быть самым разным, но в целом оно указывает на эволюцию познания.

Верификация на **пути 4** соответствует «внутренней» проверке самого метода. Она заложена в основу *фациально-циклического анализа* (см. п. II.8.1) и освещена в п. II.6.2. В п. II.6.3 охарактеризована «внешняя» проверка исследований, что соответствует **пути 3** на рис. IV.14.1.

Путь 2 реализован коллективом литологов УГГУ при изучении тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района, что отражено в цикле из четырех монографий (Угленасыщенность …, 2006; Состав и генезис …, 2007; Строение и корреляция …, 2009; Стратиграфия и палеогеография …, 2010). Некоторые из полученных результатов отражены в предлагаемом пособии; еще один показан на рис. IV.14.2. В принципе в перечисленном нет ничего удивительного, поскольку сам ФЦА разработан для угленосных отложений, с их репером в виде угольных пластов – как легко распознаваемых в разрезе, так и характеризующихся специфическими условиями образования.

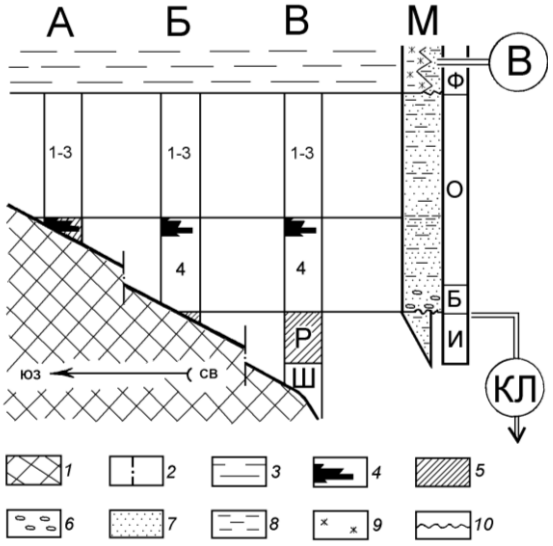


Рис. IV.14.2. Генерализованная модель, отражающая постоянство строения тюменской свиты:

индексы вверху: А – сокращенный, Б – полный, В – наращенный за счет нижнеюрских отложений разрез тюменской свиты (цифры: литоциклы II порядка, Р – радомская пачка, Ш – шеркалинская свита); М – сводная модель строения раннемезозойской угленосной формации (И – инициальная, Б – базальная, О – основная и Ф – финальная части). *Буквы в кружках и двойные стрелки* – направления, показывающие на принципиальное замещение морских отложений континентальной угленосной толщей (васюганский горизонт – В), а также приращение в Красноленинском (КЛ) районе основной части угленосной формации шеркалинской свитой.

Обозначения: *к разрезу тюменской свиты (колонки А – В)*: *1* – доюрский фундамент; *2* – границы тектонических блоков; *3* – морские глинистые отложения абалакской и даниловской свит; *4* – горизонт с повышенной угленасыщенностью; *5* – инициальная часть разреза, «запечатывающая» фундамент; *к сводной модели (колонка М)*: *6* – конгломераты и гравелиты, *7* – песчаники, *8* – алевролиты и аргиллиты, *9* – пестроцветные породы, *10* – внутриформационные перерывы и несогласия

Наиболее сложен **путь 1**, предусматривающий полную верификацию всех представлений, включая базовые (см. рис. IV.14.1). Его реализация выполнена для **безугольных** отложений викуловской свиты Каменного месторождения Западной Сибири (Состав, строение…, 2011): рис. IV.14.3.

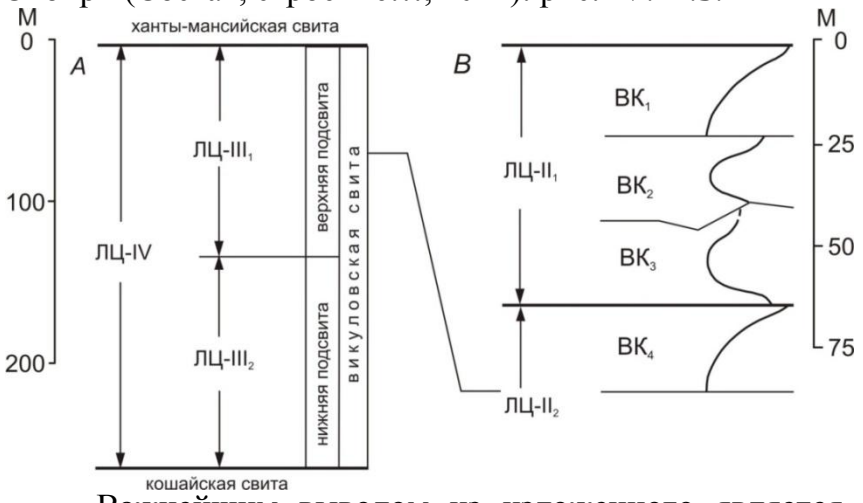


Рис. IV.14.3. Циклическое строение викуловской свиты (*А*) и ее верхней части (*В*). Кривой справа показана направленность смены отложений в условной трансгрессивности (слева направо)

Важнейшим выводом из изложенного является получаемая возможность **сравнительного** анализа различных объектов, что иллюстрирует рис. IV.14.4.

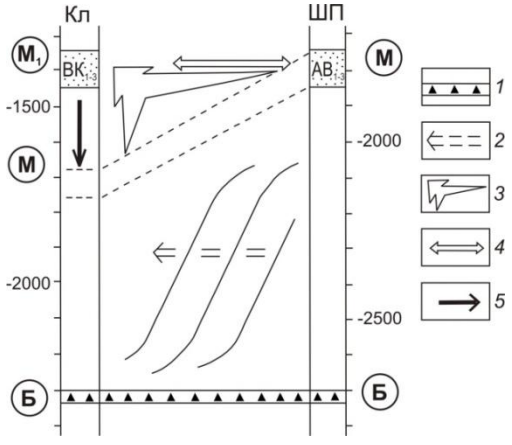


Рис. IV.14.4. Сравнительный анализ в изучении горизонтов $АВ_{1-3}$ и $ВК_{1-3}$ (Кл – Красноленинский свод, ШП – Широтное Приобье); глубины около колонок условные; в кружках – отражающие горизонты:

1 – баженовская свита («нулевой» горизонт); *2* – продвижение неокомских клиноформ с востока на запад; *3* – смещение по разрезу финально-седиментационных этапов (см. рис. IV.14.3); *4* – тождественность (эквифинальность) горизонтов $АВ_{1-3}$ и $ВК_{1-3}$; *5* – прогноз перспектив фроловской свиты

IV.14.2. Валидация

Вопросы валидации представлений вкратце были рассмотрены в самом начале пособия (см. п. Вв. 1; рис. Вв. 3, Вв. 4). Там уже было показано, что понятия верификации и валидации близки по смыслу, но не идентичны. Применительно к созданию программных продуктов это проиллюстрировано на рис. IV.14.5, а для сделанных выше заключений о верификации зет-системы – на рис. IV.14.6.

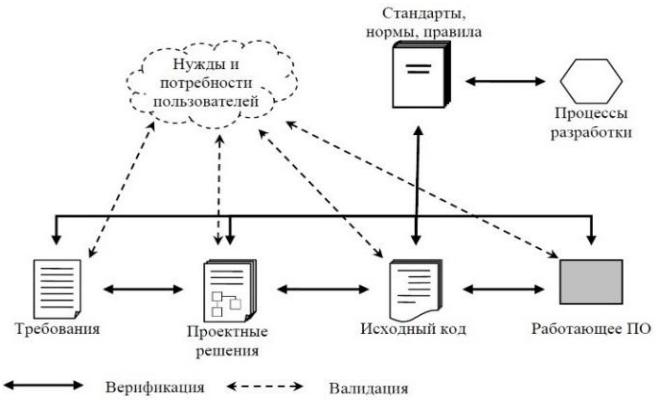


Рис. IV.14.5. Верификация и валидация при создании программного обеспечения (В. В. Кулямин, 2008, с. 8)

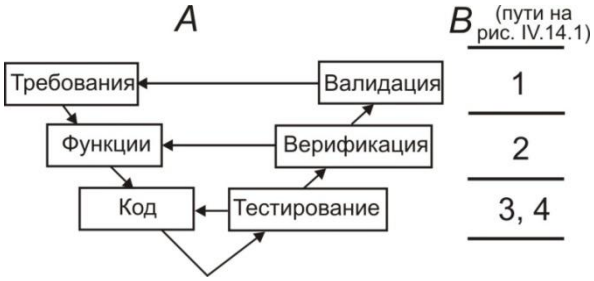


Рис. IV.14.6. Соответствие оценки объектов анализа (*A*) с путями верификации, показанными для зет-системы (*B*): см. рис. IV.14.1

Именно как валидацию ряда изложенных в представленном пособии позиций можно рассматривать предложенные А. А. Поляковым модельные схемы формирования УВ-залежей (рис. IV.14.7) и дельта-системы (рис. IV.14.8)

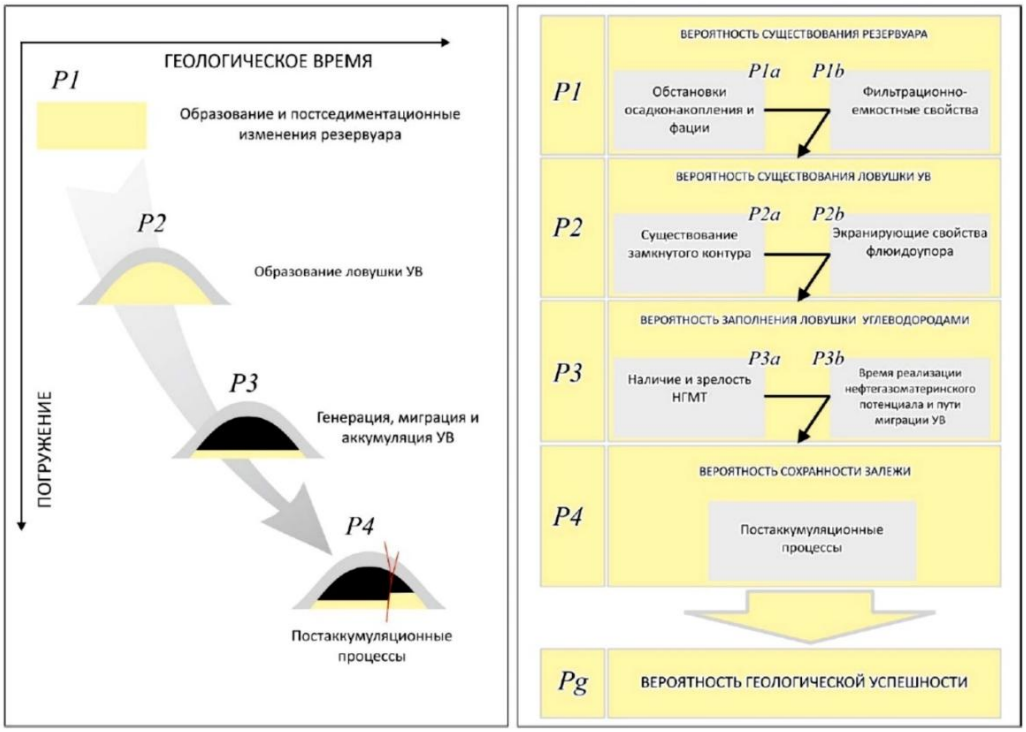


Рис. IV.14.7. Графическая схема оценки вероятности формирования залежей углеводородов (УВ): P – факторы, оцениваемые по шкале вероятностной оценки P_g (от невозможного 0 % до однозначно установленного 100 %)

Схема составлена А. А. Поляковым (2017, с. 13) на основе представлений, разработанных в рамках CCOP (Coordinating Committee for Offshore Prospecting in Asia: CCOP … 2000) и с учетом зет-системы Ю. А. Косыгина (1983)

Приведенная на рис. IV.14.8 «дельта-система» валидизирует ряд изложенных в пособии сведений. Это относится к излюбленному в литологии показу сведений в виде треугольника; применении понятия «дельта», имеющего отчетливо палеогеографический аспект; использовании основных принципов построения моделей по принципу актуализации и т. д.

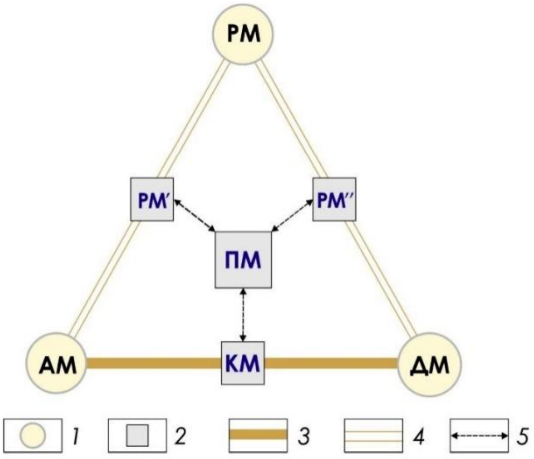


Рис. IV.14.8. Дельта-система (А. А. Поляков, 2017, с. 20): АМ – априорная модель; ДМ – динамическая модель; КМ – концептуальная модель; РМ – ретроспективные модели: РМ′ – первого типа, с фиксированным временем (например, палеогеографические реконструкции), РМ′′ – второго типа (последовательность событий в пространственно-временно́й связи); ПМ – прогнозная модель. Модели: *1* – аналитические; *2* – синтетические; *3* – синтез по распространенной аналогии; *4* – построение ретроспективной модели по принципу актуализма; *5* – построение и мониторинг прогнозной модели

По существу, показанная «дельта-система» возвращает нас к исходным представлениям, отображенным на рис. IV.14.6, А. В более детальном виде, отражающем современное состояние программного обеспечения, они представлены на рис. IV.14.9.

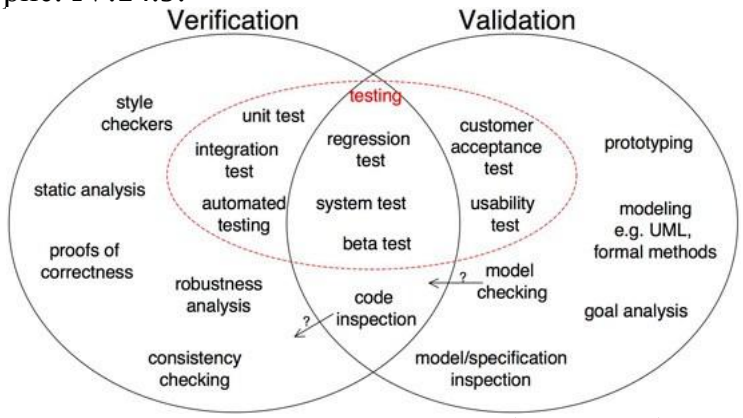


Рис. IV.14.9. Ранжирование технических приемов верификации и валидации в программном обеспечении (http: //www.easterbrook.ca /steve/2010/11/the-difference-between-verification-and-validation)

Понятия «моделирование» (modelling) и «model checking» (проверка модели) относятся к построению и анализу абстрактных моделей разных видов (рис. IV.14.10). Из рис. IV.14.9 следует, что необходимо различать понятия «моделирование» (modelling) и «проверка модели» (Modell checking), введенные в начале 1980 г. (E. M. Clarke, E. A. Emerson, 1981; J. Quielle, J. Sifakis, 1982). Это проиллюстрировано на рис. IV.14.10.

Рис. IV.14.10. Принципиальная схема Model checking: автоматизированного подхода, позволяющего для заданной модели поведения системы с конечным числом состояний и логического требования проверить, выполняется ли это свойство в рассматриваемых состояниях данной модели (С. Э. Вельдер, 2006)

IV.15. ЛИТОЛОГИЯ В РАКУРСЕ СМЕНЫ ПАРАДИГМ

IV.15.1. Общие представления

Понятие и термин «парадигма» (греч. paradeigma – пример, модель, образец), введенные в обиход американским науковедом Т. Куном в 1962 г., подразумевают под собой совокупность фундаментальных научных установок, представлений и терминов, принимаемую и разделяемую научным сообществом, объединяющую большинство его членов и обеспечивающую преемственность развития науки (Т. Кун, 1977). Парадигмы не незыблемы, не вечны, как бы об этом ни пеклись главы разнообразных научных школ; они сменяемы, поскольку являются производными и зависимыми от меняющейся *картины мира* (М. Хайдеггер, 1993). Наиболее общие представления о глобальных (принципиальных) парадигмах и их сменах (англ. paradigm shift) приведены в табл. IV.15.1, а сравнение принципов линейной и нелинейной парадигм – в табл. IV.15.2.

Таблица IV.15.1

Схема эволюции представлений в преломлении изменения глобальных парадигм (В. С. Стёпин, 2000, с дополнением)

Парадигма	Основное содержание, примеры	Обобщенная формула	Изучаемые процессы, зависимости
Классическая	Человек задает вопрос природе (объекту), природа отвечает. Ньютоновская механика	Субъект ↔ Средства ↔ (Объект)	Линейные (linear)
Неклассическая	Человек задает вопрос природе, природа отвечает. Но ответ теперь зависит и от свойств изучаемого объекта, и от способа вопрошания, контекста вопроса. Теория относительности	Субъект ↔ [Средства ↔ Объект]	Нелинейные (nonlinear)
Постнеклассическая	Человек задает вопрос природе, природа отвечает. Однако теперь ответ зависит и от свойств объекта, и от способа вопрошания, и от способности понимания вопрошающего субъекта. Синергетическая методология в открытом «диалоге с природой»	{Субъект ↔ Средства ↔ Объект}	Внелинейные (outlinear)

Таблица IV.15.2

Сравнительная характеристика принципов линейной и нелинейной парадигм (Ilichinski, 1996, p. 53)

Контекст	Линейный	Нелинейный
Сложное поведение	Сложное поведение требует сложных моделей	Простые модели часто бывают достаточными для описания сложных систем
Паттерны поведения	Каждый качественно различный паттерн (англ. pattern – образец, модель) поведения требует различного уравнения	Качественно различные паттерны могут описываться теми же самыми основными уравнениями
Описание поведения	Каждый качественно различный тип требует нового уравнения или множества уравнений	Одно уравнение является гаванью (harbors) множества качественно различных паттернов поведения
Эффекты малых возмущений	Малое возмущение индуцирует малые изменения	Малые возмущения могут привести к большим последствиям
Как понимать систему	Система может быть понята через свои простые компоненты и их анализ	Система может быть понята через взаимодействия между ее компонентами: смотри на всю систему
Источник беспорядка	Беспорядок в основном является результатом непредсказуемых сил вне системы	Беспорядок может возникнуть на основе самоорганизации внутри системы

Окончание табл. IV.15.2

Контекст	Линейный	Нелинейный
Природа наблюдаемого порядка	Порядок, раз установленный, является всеобъемлющим и проявляется как локально, так и глобально	Система может проявлять себя локально беспорядочно, но обладать глобальным порядком
«Цель»	Цель заключается в разработке «уравнений», описывающих поведение, определяемых изолированным эффектом одной переменной во времени	Цель заключается в понимании того, каким образом система как единое целое реагирует на различные контексты, без доминирования какой-либо одной переменной
Тип «решений»	Цель заключается в поиске «оптимального» решения	Не существует оптимального решения того, как система в целом реагирует на различные контексты, без доминирования какой-либо одной переменной
Предсказуемость	Предполагая, что «корректная» модель может быть построена, а начальные условия точно установлены, все можно предсказать и контролировать	Долгосрочное предсказание может быть недосягаемым даже в принципе; поведение может быть предсказуемым только для короткого промежутка времени
Природа причинного потока	Причинность течет «снизу-вверх»	Причинность течет как «снизу-вверх», так и «сверху-вниз»

Изучению нелинейных процессов посвящены работы И. Р. Пригожина.

Илья́ Рома́нович ПРИГО́ЖИН (фр. Ilya Prigogine; 12 (25) января 1917 – 28 мая 2003) – бельгийский физик и физикохимик российского происхождения (семья эмигрировала из Советской России в 1921 г.). Лауреат Нобелевской премии по химии 1977 года, виконт Бельгии. В его честь назван астероид (11964) Пригожин. Иногда И. Р. Пригожина называют «Ньютоном XX века».

«С середины 40-х годов XX века работает над проблемами неравновесной термодинамики. Установил, что процессы, протекающие в системах, далеких от равновесия, могут трансформироваться во временные и пространственные структуры. Система становится чувствительной к своим собственным флуктуациям (случайным отклонениям от среднего значения), которые могут превратиться в фактор, направляющий глобальную эволюцию системы (порядок через флуктуации). Главное внимание уделял изучению того, как диссипация порождает порядок во времени и пространстве. В 1971 году была опубликована первая его работа по теории диссипативных структур "Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations". И. Пригожин вместе со своими сотрудниками разработал упрощенную теоретическую модель для описания феномена самоорганизации, который можно наблюдать за порогом химической нестабильности. Эта модель была названа "брюсселятором" в соответствии с именем Брюссельской научной школы, где она была изобретена. Уравнения реакции-диффизии составляют ядро математической модели, первоначально предназначенной для описания определенного типа химической нестабильности и образования временных структур (осцилляций процессов во времени) – химических часов. Наиболее известный пример такого рода нестабильности – реакция Белоусова-Жаботинского, исследованная в России в начале 60-х годов (см. "Наука и жизнь", № 7, 1984 г.).

«Изучение закономерностей эволюции открытых неравновесных систем и спонтанного возникновения в них порядка (их самоорганизации), несмотря на происходящее в них рассеяние (диссипацию) энергии и даже благодаря ему, привело И. Пригожина к созданию теории диссипативных структур, одного из направлений общего междисциплинарного движения, называемого в России вслед за немецким физиком Германом Хакеном синергетикой.

Будучи увлеченным, разносторонним и универсально мыслящим ученым, Пригожин предпринимает попытку навести мосты между естественными и гуманитарными науками. От конкретной модели сложного поведения в химии Пригожин продвигается к глубоким мировоззренческим обобщениям о смене научной парадигмы и радикальных изменениях в видении мира. Эволюционная парадигма охватывает всю химию, а также существенные части биологии и социальных наук. Происходит открытие нового мира необратимости, внутренней случайности и сложности.

Пригожин развивает философию нестабильности. Особое внимание он уделяет рассмотрению проблемы времени, происхождению стрелы времени, природе необратимости. Сущность происходящей в наши дни научной революции состоит, с его точки зрения, в том, что современная наука о сложном опровергает детерминизм и настаивает на том, что креативность проявляется на любом уровне природной организации. Природа содержит нестабильность как существенный элемент; как правило, имеет место не единичная бифуркация (от лат. bifurcus – раздвоение – приобретение новых качеств динамической системой при малом изменении ее параметров), а целые их каскады. В результате возникают новые непредсказуемые макроструктуры, поэтому мы не можем прогнозировать, что произойдет: будущее открыто. Это означает, что даже фундаментальные естественные науки становятся науками историческими, в них появляется темпоральный, зависящий от времени элемент, наступает "конец определенностей", что и нашло отражение в названии последней книги Пригожина. Мир находится в становлении, участниками которого сделались мы сами. Мы призваны вести диалог с природой; тем самым человеческая креативность встраивается в креативность природы в целом. Мы живем в эпоху флуктуаций и бифуркаций, когда индивидуальные действия являются существенными. Поэтому конец определенностей в науке означает начало особой ответственности человека за судьбы природы и человечества» (Е. Н. Князева, 2002).

Осознание нелинейной науки неотъемлемо связано с изучением нелинейных открытых систем, являющихся объектом *синергетики* (греч. syn – вместе + ergos – действие, действующий) – понятия, впервые использованного Г. Хакеном (1980). Ее положение в общей системе знания отражено на рис. IV.15.1. На нем хорошо видно, что синергетика представляет собой синтез философского осмысления проблем, математического моделирования и предметного знания, продолжая идеи тектогенеза А. А. Богданова и лежащие в основе общей теории систем (см. п. IV.13.1).

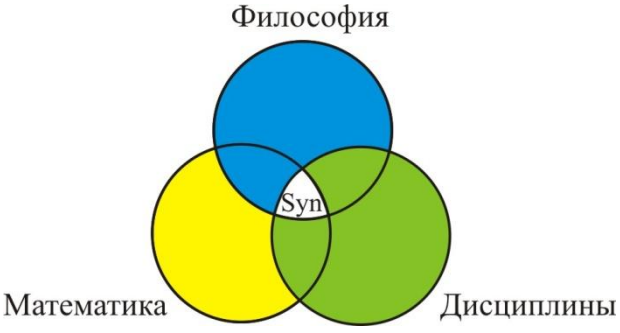


Рис. IV.15.1. Генезис аутентичной синергетики, где под дисциплинами понимается весь спектр естественных и гуманитарных наук (В. Г. Буданов, 2007)

IV.15.2. Смена парадигм в геологии и «золотые гвозди» нелинейной литологии

Вопросы, связанные с неизбежной сменой парадигм в современных науках о Земле, в частности, разобраны Д. Г. Егоровым (Д. Г. Егоров, 2004). Суть проблемы содержится в следующем.

«В настоящее время в науках о Земле происходит смена парадигмы. С одной стороны, это связано с возросшим уровнем естественно-научных знаний о Земле, с другой – с влиянием на методологию наук о Земле идей синергетики. По нашему мнению, развитие синергетической парадигмы в науках о Земле не просто междисциплинарное заимствование методов и подходов; меняется стиль геологического мышления о таких ключевых представлениях, как "соотношение причина – следствие", "эволюционизм – редукционизм", "система как набор материальных объектов – система как поток", "целое как сумма частей – целое есть качественно новое образование", "эмпирический индуктивизм – гипотетико-дедуктивный метод", изменения представления об интуиции геологического времени в связи с концепцией самоорганизации и т. д. В то же время мы не принимаем иррационального истолкования процесса смены парадигм (в духе Т. Куна и П. Фейерабенда), а предлагаем модель перехода на основе концепции разделения логических уровней мышления. Таким образом, смена парадигмы в науках о Земле не вполне соответствует представлениям Т. Куна о "переключении гештальта восприятия" (после которого не остается связи с предшествовавшими научной революции концепциями). Скорее, речь идет о расширении поля осознания в науках о Земле, куда наряду с линейными процессами, адекватно трактуемыми в рамках классических представлений, попадают и нелинейные процессы с обратной связью» (Д. Г. Егоров, 2004, с. 10-11).

Необходимость и сущность такой смены парадигм в принципе уже была показана при общей оценке фациальных исследований в геологии (см. II.1) и в концептуальном виде изображена на рис. IV.15.2.

Неизбежный переход к неклассической парадигме для литологии может базироваться на учете нескольких основных позиций, не вполне соответствующих «классической» парадигме, но легко укладывающихся в нелинейную концепцию (рис. IV.15.3).

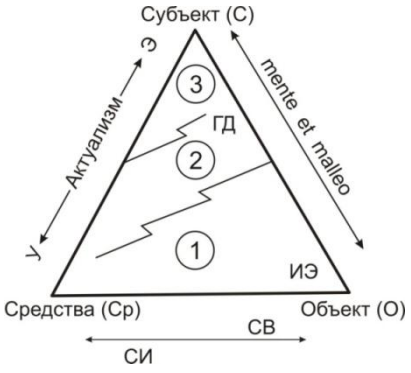


Рис. IV.15.2. Смена парадигм в геологии (см. также табл. IV.15.1):

– парадигмы (цифры в кружках): 1 – классическая, 2 – неклассическая, 3 – постнеклассическая;

– сторона «Средства-Объект»: СИ – сравнительно-исторический анализ (подход); СВ – структурно-вещественный метод (подход);

– сторона «Средства-Субъект»: У – униформизм, Э – эволюция;

– сторона «Объект-Субъект»: ИЭ – индуктивно-эмпирический метод (подход), ГД – гипотетико-дедуктивный метод (подход)

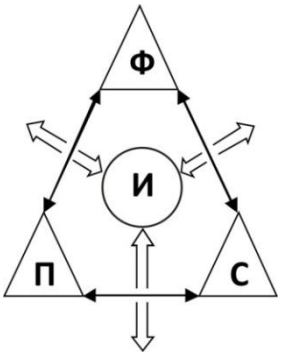


Рис. IV.15.3. Основные концептуальные аспекты нелинейной литологии (см. также рис. IV.7.10):

И – иерархия слоевых единиц;

Ф – фациальный анализ;

П – перерывы в осадконакоплении;

С – скольжение слоев.

Двойными стрелками показаны инварианты для разных уровней организации

Такой путь созвучен концепции «золотых гвоздей» (golden spike), используемой в стратиграфии (см. п. IV.3.2). В более широком смысле под ним предлагается понимать *определенную законченность, в некотором роде квазиабсолютность того или иного явления, в непосредственной фазе его реализации и на конкретном этапе изучения*.

При таком, очень нестрогом, подходе понятие «золотых гвоздей» полностью ассоциируется с «лоскутным», или пэтчворк (patchwork), лежащим в основе предложенного пособия (см. п. Вв. 1). Отметим, что такое сравнение соответствует верификации излагаемых представлений по «внешнему» пути 1 на зет-системе (см. рис. IV.14.1). Примерный перечень «золотых гвоздей» для терригенных отложений и примеры их реализации в отложениях Западной Сибири приведены в табл. IV.15.3.

Таблица IV.15.3

«Золотые гвозди» в терригенных отложениях

«Золотые гвозди» (ЗГ)		Нелинейная составляющая	Примеры реализации в отложениях Западно-Сибирского осадочного мегабассейна (ЗСОМБ)
Номер	Основное значение		
1	Обязательность использования логарифмической шкалы	Исходная неравномерность распределения, подчеркнутая дефицитом фракций	Горизонт «рябчик» ($АВ_1^{1-2}$), похожие интервалы в других частях разреза
2	Близкая скорость древнего и современного осадконакопления	Скачкообразные изменения в чередовании слоев, обусловленные перерывами (прерывистая непрерывность)	Существенная длительность кажущихся «мгновенными» стратиграфических границ (например, нижнеплитного и собственно плитного этажей)
3	Скольжение литологических границ (s. ℓ.)	Диахронность литологически однородных тел, с зубчатостью их границ по простиранию	От текстур «восходящей ряби» до неокомских клиноформ
4	Общая иерархичность в строении осадочных толщ	Эмерджентное свойство, в целом являющееся неотъемлемой и главной характеристикой систем	Достижение эквифинальности в строении частей разреза (одинаковый результат при разных начальных условиях)
5	Многопорядковая цикличность, рассматриваемая как витки спирали	Инверсия в строении циклов (литоциклов, циклотем, циклитов)	Детальное изучение для тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района
6	Фациальный анализ как пример комплексирования признаков	Включение объекта исследований в непосредственный процесс изучения	Использование фациально-циклического анализа при изучении тюменской и викуловской свит
7	Проверка (верификация) исследований на всех этапах	Основной принцип моделирования, особенно важный для принципиально непроверяемых геологических объектов (процессов)	Реализована для тюменской свиты как связующего звена в юрских отложениях Северной Евразии

IV.15.3. Нелинейно-литологические модели

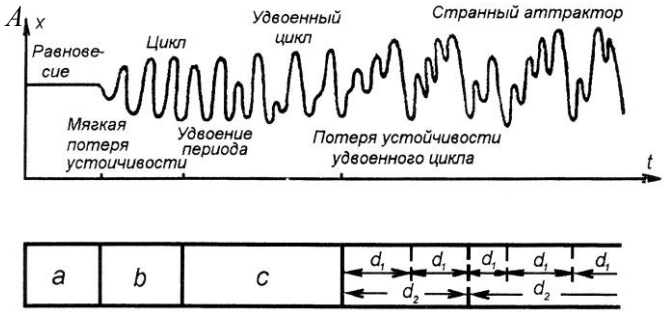


Рис. IV.15.4. Иерархия цикличности с позиции теории катастроф, лежащей в основе нелинейных представлений: *A* – сценарий хаотизации (В. И. Арнольд, 1990, с. 25); *B* – привязка режимов циклической седиментации (см. темы III.6-III.8): отложение монотонных толщ (*a*); ритмитов (*b*); простых циклитов (*c*) и литоциклов I (d_1) и II (d_2) порядков

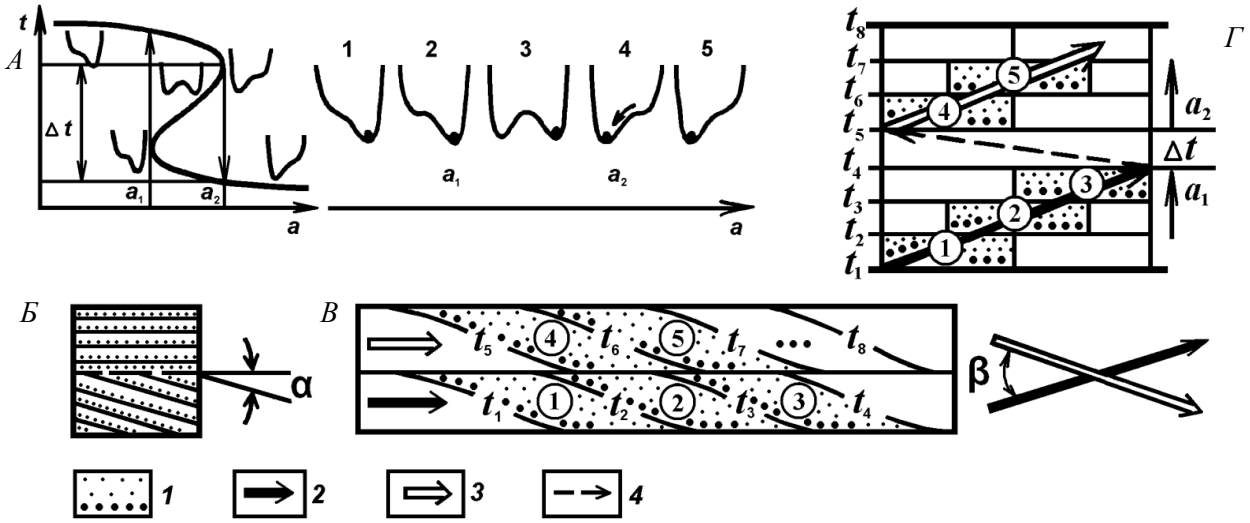


Рис. IV.15.5. Модельное представление о диахронности границ:

A – изменение состояния системы (a, *t*) при изменении состояния a (Г. Г. Малинецкий, 2005, с. 135); *Б* – наблюдаемый разрез «двухэтажного» строения, в котором нижняя часть соответствует положению шарика в яме 1-3, а верхняя – 4, 5 (см. *A*); *B* – седиментологическая модель, иллюстрирующая изменение состояния системы в положениях 1-5 (см. *A*) во временные отрезки t_1-t_8; *Г* – временна́я последовательность формирования седиментологической модели (см. *B*). Между положениями 3 и 4 (см. *A, B*) – скачок, физически мгновенный для общей модели, но *имеющий существенную длительность для «геологического» времени* (!). *1* – инварианты слойков, слоев и (или) их комплексов, часто имеющих градационное строение, *2* – перемещение слоевых единиц при положении шарика в правой ямке (см. *A*); *3* – то же, в левой ямке; *4* – катастрофический скачок (для *Г*)

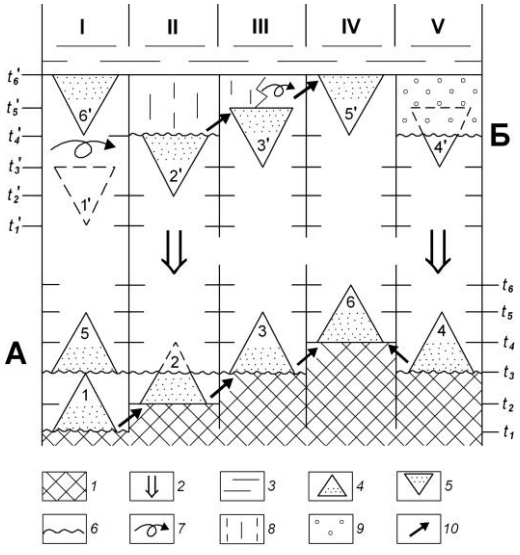


Рис. IV.15.6. Модель, иллюстрирующая последовательность формирования завершенной терригенной осадочной толщи (формации):

А – инициальная часть с базальным горизонтом; Б – финальная часть; римские цифры (вверху) – части территории (тектонические блоки); t_1, …, t_6; t_1', … t_6' – временные интервалы для частей А и Б соответственно. *1* – фундамент осадочной толщи; *2* – последовательное опускание территории, обусловливающее возможность накопления и сохранения (закрепления) в геологической истории осадочного комплекса; *3* – перекрывающие (обычно глубоководные, иногда – пестроцветные аридные) отложения; направленная смена размерности частиц с их уменьшением (*4*) или увеличением (*5*) вверх по разрезу (соответственно, проциклиты и рециклиты Ю. Н. Карогодина, см. рис. III.7.8); *6* – несогласия и (или) эрозионные врезы; *7* – перемыв отложений, в т. ч. неоднократный; *8* – ненакопление отложений; *9* – эрозия; *10* – смещение областей с осадконакоплением, зафиксированным в геологической истории, в соответствии с законом Головкинского (см. п. IV.5.1)

Одну из ключевых позиций в нелинейных представлениях занимает понятие **аттрактор** (лат. attrachere – привлекать, притягивать) – компактное подмножество фазового пространства динамической системы, все траектории из некоторой окрестности которого стремятся к нему при времени, стремящемся к бесконечности. Именно последняя характеристика – продолжительность времени, присущая геологическим объектам, особенно привлекательна для эндолитологических рассуждений и построений, раскрывающих литологию «изнутри». На рис. IV.15.7 показаны их основные типы и примеры реализации.

Рис. IV.15.7. Основные виды аттракторов (В. И. Арнольд, 1990, с. 25): *a* – цикл-аттрактор; *b* – удвоение цикла-аттрактора; *c* – хаотический или странный аттрактор (аттрактор Лоренца); см. также рис. IV.15.4

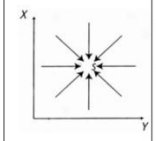
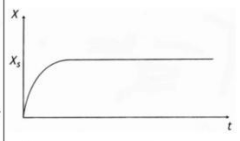
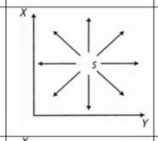
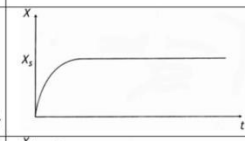
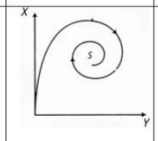
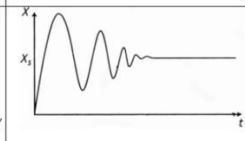
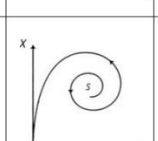
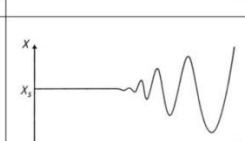
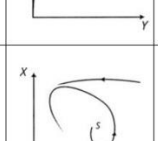
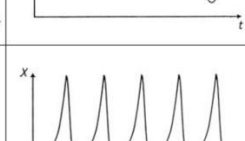
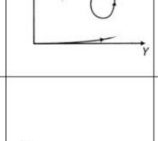
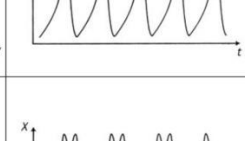
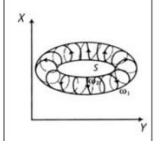
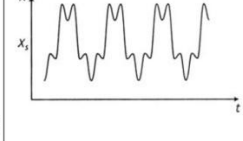
Аттрактор	Фазовый портрет	Динамика во времени	Примеры общего характера	Примеры реализации: общая седиментология; Западно-Сибирский осадочный мегабассейн
Устойчивый узел			Химические реакции, процессы горения, эксперимент Бенара и многие другие системы в стационарном состоянии	Формирование слоя в конкретной точке рассматриваемого геологического пространства; фация как порода, сформированная в определенных условиях
Неустойчивый узел			Системы разной природы при выходе из стационарного состояния	Перерывы в осадко (слое) накоплении – от диастем до глубоких размывов
Устойчивый фокус			Самые разные природные и технические системы при выходе из автоколебательного режима	Инвариантно, по мере усложнения: · ритмиты; · простые литоциклы (гемициклы) · литоциклы первых порядков
Неустойчивый фокус			Самые разные природные и технические системы при переходе в автоколебательный режим	Вовлечение территории Западно-Сибирской плиты в режим осадконакопления, с ее перманентным разрастанием в позднетриасовое-среднеюрское время
Предельный цикл			Часы, электрические цепи, реакция Белоусова-Жаботинского, процессы горения, ламинарное движение, гейзеры, турбидитные потоки и др.	Многопорядковая цикличность с четкой иерархией. «Вкладыши» литоциклов
Инвариантный тор			Реакция Белоусова-Жаботинского, конвекция Бенара, вихри Тейлора, электрические цепи и др.	Для вертикальной (стратиграфической) компоненты – формирование устойчивых комплексов, в т. ч. нефтегазоносных. Для латеральной (тектонической) компоненты – блоковость «клавишного», либо «шахматного» порядка
Странный аттрактор			Турбулентные потоки жидкости и газа, реакция Белоусова-Жаботинского, магнитное динамо, динамика климата и др.	Коэволюция седиментологических и тектонических процессов – от s. str. для инверсии циклов до s. l. для общей истории геологического развития осадочного бассейна или его части

Рис. IV.15.8. Основные типы аттракторов в динамических системах (П. М. Горяинов, Г. Ю. Иванюк, 2001, с. 59; Г. Ю. Иванюк, П. М. Горяинов, 2009, с. 175) и примеры их реализации в терригенных отложениях

IV.15.4. Самоорганизованная критичность: режимы с обострением

Как в теории систем, так и в синергетике широко используется понятие самоорганизации (англ. self-organization), введенное в науку в 1947 г. У. Эшби (Ashby). Его место в общей структуре принципов организации природы показано на рис. IV.15.9.

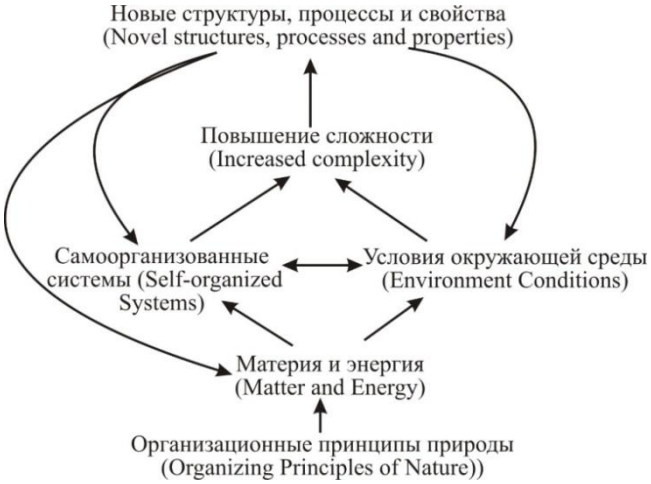


Рис. IV.15.9. Принципы организации природы (www.self-organization – systems, net/ch14. html)

Существенный прогресс в понимании процессов самоорганизации получен благодаря концепции **самоорганизованной критичности** или СОК (self-organized criticality), предложенной в конце 1980-х гг. П. Баком (П. Бак, 2014). Ею определено, что при динамически уравновешенном *критическом* состоянии даже незначительные возмущения могут привести к событиям или лавинам любых, даже самых больших масштабов. Основные представления СОК рассмотрены на примере «уголка с песком», что выглядит весьма символично по отношению к седиментологии (рис. IV.15.10).

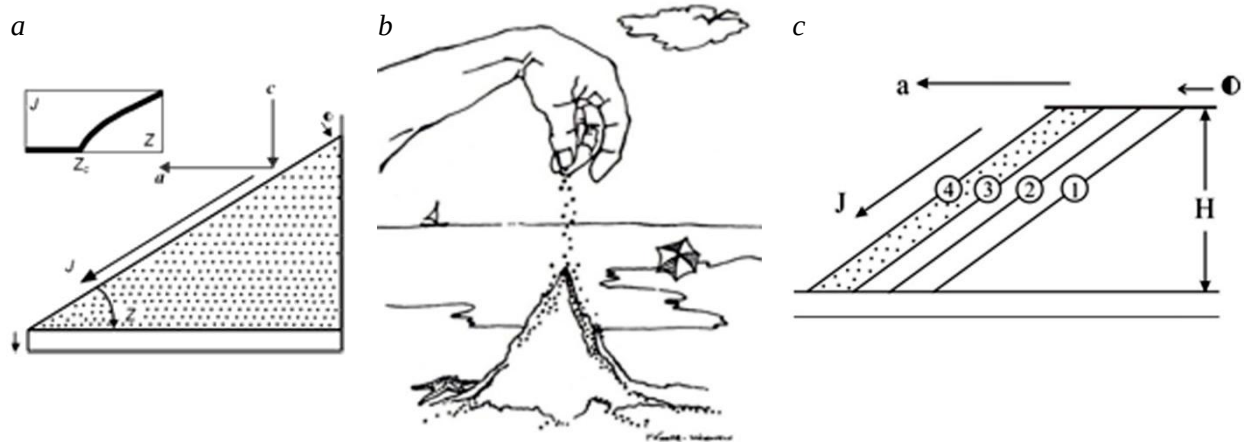


Рис. IV.15.10. Самоорганизация и критичность (П. Бак, 2014, с дополнениями):

a – уголок с песком. Состояние песка определяется углом наклона поверхности *z*. При его изменении происходит непрерывный фазовый переход (зависимость параметра порядка от управляющего параметра приведена на врезке) от неподвижного состояния ($J = 0$) к состоянию непрерывного тока песка ($J > 0$). При токе $J = 0$ система самоорганизуется в состояние с критическим наклоном $z = z_c$;

b – куча песка. Песчинки поступают в одно место. В какой-то момент постепенное осыпание, превзойдя силы сцепления, транслируется в лавину, затрагивающую большой объем. К этому моменту система (куча песка) далека от равновесия и находится в критическом состоянии. Крутизна склона в целом остается достаточно постоянной, определяясь самоорганизацией (см. *a*);

c – латеральное наращивание слоя песка по вектору «а». При постоянном поступлении материала формируется постоянная высота слоя *H*, определяемая устойчивостью откоса с силами сцепления частиц ($J > 0$). 1 – 4 – этапы продвижения формирующихся слойков

Мгновенное, или лавинное, событие в системе СОК в определенной степени ассоциируется с понятием, получившим название **режимы с обострением** (англ. blow up). Они представляют динамический закон, при котором некоторая исследуемая величина (или величины) обращается в бесконечность за конечный промежуток времени (в реальности вместо ухода в бесконечность наблюдается фазовый переход, что присуще СОК: см. рис. IV.15.). Режимы с обострением формируются в результате действия механизма нелинейной положительной обратной связи. Их основные типы показаны на рис. IV.15.11, а в табл. IV.15.4 показано использование для некоторых режимов осадко- и нефтегазонакопления.

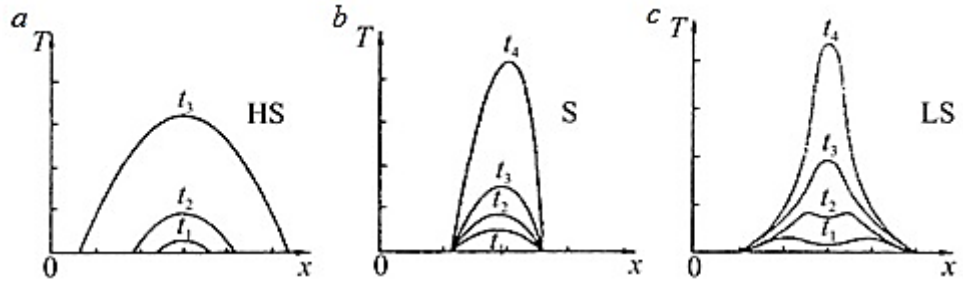


Рис. IV.15.11. Развертывание процессов в открытой нелинейной среде (темпомиры) (Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов, 2005, с. 240-241): *a* – *HS*-режим (разбегающейся от центра волны); *b* – *S*-режим «горения», развития с обострением; *c* – *LS*-режим «сходящихся волн горения»

Таблица IV.15.4

Применимость понятия «режимы с обострением» к изучению геологических процессов

Режим (см. рис. IV.15.11)	Краткая характеристика	Геологическое содержание (примерные наброски)
HS (total blow-up)	Режим обострения во всем пространстве	Развертка HS-режима обеспечивает нахождение на периферии информации о прошлом, а в центре – о будущем системы, что соответствует механизму спрединга, описанному в п. III.14.3 (см. рис. III.14.8) и IV.2.2 (см. рис. IV.2.3; IV.2.4)
S (single blow-up)	Режим обострения на конечном интервале	Данный режим принципиально соответствует флюидодинамической или автоколебательной модели нефтегазообразования Б. А. Соколова (см. рис. IV.9.5, IV.9.6)
LS (single blow-up)	Режим обострения в одной точке	Возможность локализации некоторых специфических условий осадконакопления на ограниченных площадях (например, сверхмощных угольных пластов). Определенное несоответствие «мгновенности» режимов blow-up микшируется понятием геологического времени, имеющего квазибесконечное измерение

IV.16. ЛИТОЛОГИЯ В ТРАНСДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Проекцией тектологии А. А. Богданова и общей теории систем Л. фон Берталанфи (см. IV.13) на реалии XXI века является достаточно четкое осознание необходимости взаимодействия различных дисциплин, имеющей четыре разноуровневые составляющие.

Виды дисциплинарного взаимодействия (T. Augsburg, 2005).

- ***Мультидисциплинарность***: механическое соединение усилий нескольких дисциплин для решения какой-либо проблемы. В этом альянсе каждая из дисциплин сохраняет свою методологическую специфику, незыблемость дисциплинарных границ и независимость («кооперация без интеракции»).
- ***Кроссдисциплинарность*** (от англ. cross – перекрёстный; скрещенный): исследование, проводимое внутри одной дисциплины с позиций другой.
- ***Междисциплинарность***: интеграция знаний и методов нескольких дисциплин для решения какой-либо проблемы, при которой напряжение методологических и инструментальных заимствований может сохраняться.
- ***Трансдисциплинарность*** **(**термин предложен в 1970 г. Жаном Пиаже) – сфера исследований, формирующаяся за пределами дисциплинарных различий или поверх них, учитывает специфику современного и постсовременного производства знаний как целостного (комплексного) процесса.

IV.16.1. NBICS-конвергенция

Понятие конвергенции (от лат. convergo – сближаюсь, схожусь) соответствует сближению или схождению в параметрах, характеризующих исследуемые объекты, которые изначально были далеки друг от друга (к примеру, режим LS: см. рис. IV.15.11, табл. IV.15.4). Оно широко используется в ряде областей знания, включая геологию, получив принципиально новый импульс уже в XXI веке, в виде понятия NBIC-конвергенции (рис. IV.16.1).

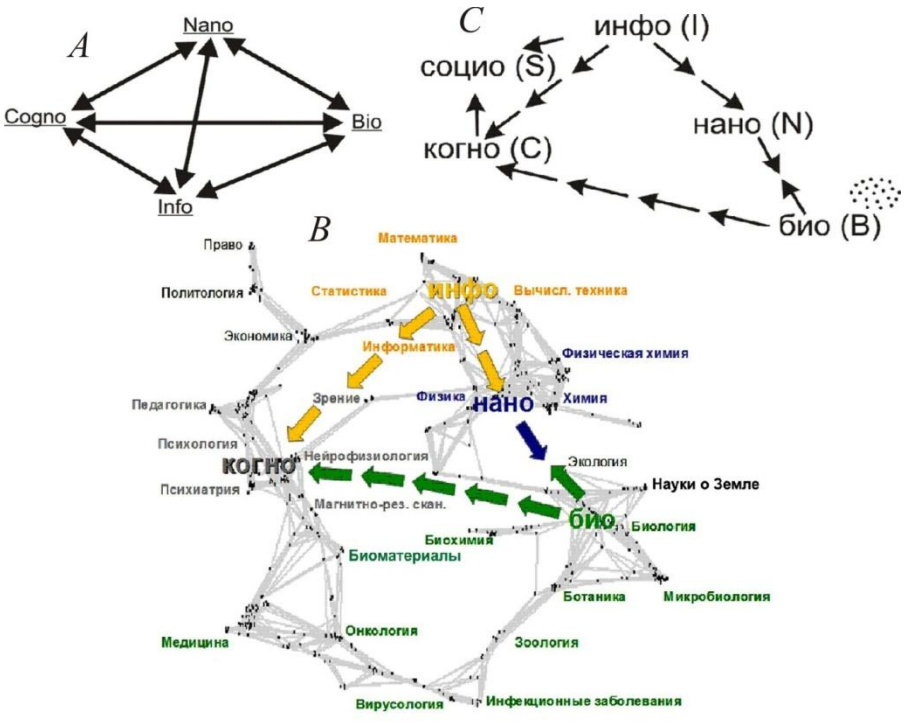


Рис. IV.16.1. NBIC-(НБИК) конвергенция: *A* – первоначальный тетраэдр как синергийная комбинация четырех равноправных быстро развивающихся областей науки и техники, по первым буквам соответствующих областей знания (N – нано, B – био, I – инфо, C – когнито) (Converging…, 2002); *B* – карта пересечений новейших технологий, основанная на анализе взаимных цитирований в более 1 млн статей из 7 тыс. журналов (24,5 млн ссылок) (K. W. Boyack e. a., 2005; K. Börner, 2006 и др.); *C* – дополнение пятой, «социологической» вершины); (S); крапом показано место наук о Земле

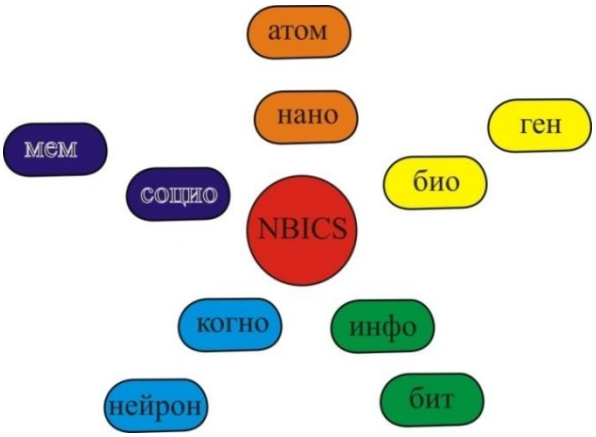


Рис. IV.16.2. Базовые нанообъекты NBICS-конвергенции:

· *атом* (греч. atomos – неделимый) – наименьшая часть химического элемента, являющаяся носителем его свойств;

· *ген* (греч. genos – род) – структурная и функциональная единица наследственности живых организмов;

· *бит* (от англ. binary digit – двоичное число; также bit – кусочек, частица) – единица измерения количества информации;

· *нейрон* (греч. neurone – волокно, нерв) – структурно-функциональная единица нервной системы; клетка, которая обрабатывает, хранит и передает информацию;

· мем (англ. meme, от греч. mimema – подобие) – единица культурной информации (Р. Докинз, 1976). Мемом может считаться идея, символ, образ действия и др., осознанно или неосознанно передаваемые от человека к человеку посредством речи, письма, жестов и пр. Это репликаторы (англ. replicators), то есть объекты, которые для размножения копируют сами себя

Понятие NBICS-конвергенции удачно коррелируется с **гибридным мышлением** (Hybrid Thinking), представляющим собой органичную дисциплину для принятия решений по насущным проблемам путем интерактивного мышления. Таковое преобразует инновационные и стратегические изменения через творческие усилия, ориентированные на человека; оно возможно технически, устойчиво экономически и достижимо в социальном плане (рис. IV.16.3).

Рис. IV.16.3. Гибридное мышление является «дисциплиной дисциплин» для решения насущных (злободневных) проблем (N. Gall e. a., 2010)

Перечисленные подходы характеризуют новую, четвертую промышленно-технологическую революцию (industry 4.0) как конвергенцию технологий, размывающую границы между физической, цифровой и биологической сферами (рис. IV.16.4). Фактически она была предвосхищена еще в работах Н. Д. Кондратьева, выполненных почти 100 лет назад (см. п. III.6.1).

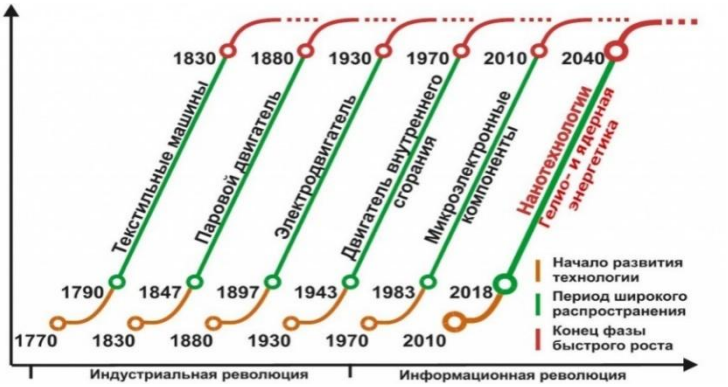


Рис. IV.16.4. Смена технологических укладов (С. Ю. Глазьев, 2011, с. 330): Industry 1.0 – паровой двигатель; I.2.0 – электроэнергия; I.3.0 – электроника и автоматизация производства; I.4.0 – нанотехнологии

IV.16.2. Литология в рамках междисциплинарных исследований

Возможности, раскрывающиеся при использовании методологических приемов в других областях знания, огромны. Ниже это проиллюстрировано тремя примерами из работы, посвященной *фьючерсным* (англ. future, futures; от лат. futurum – будущее) сделкам: контрактам, которые обязывают купить или продать актив в будущем по фиксированной цене в определенный фонд, а также операциям на фондовой бирже.

Пример 1. Модели перелома и модели тенденций, отражающие закономерности в процессах на рынках ценных бумаг и товарных фьючерсных контрактов. На рис. IV.16.5 и IV.16.6 приведены, соответственно, принципиальный вид одной из пяти основных типов моделей – «голова и плечи» и ее конкретная конфигурация. Очевидно соответствие последней кривым геофизических исследований скважин (ГИС), что делает возможным использовать приведенный подход для интерпретации ГИС, в том числе (и прежде всего) с «качественных» литологических позиций.

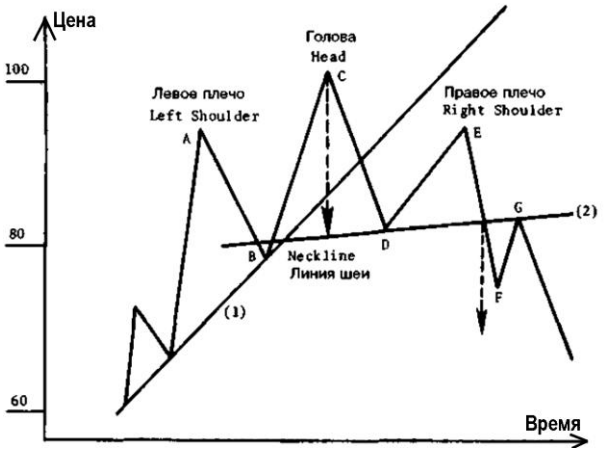


Рис. IV.16.5. Пример модели «голова и плечи» для вершины рынка (Д. Д. Мэрфи, 1996, с. 100). Левое и правое плечо (A и E) находятся примерно на одной высоте. Голова (C) выше, чем каждое из плеч. Обратите внимание, что каждый последующий пик сопровождается снижением объема торговли. Модель считается завершенной, когда цена закрытия фиксируется ниже линии «шеи» (линия 2). Минимальный ценовой ориентир равен вертикальному расстоянию от голов до линии шеи, отложенному вниз от точки прорыва линии шеи. При последующем подъеме возможен возврат до уровня линии шеи, но ценам не удается пересечь ее

Приведенный пример вполне может быть использован при описании коллекторов сложного строения, с позиций выявления закономерностей их строения.

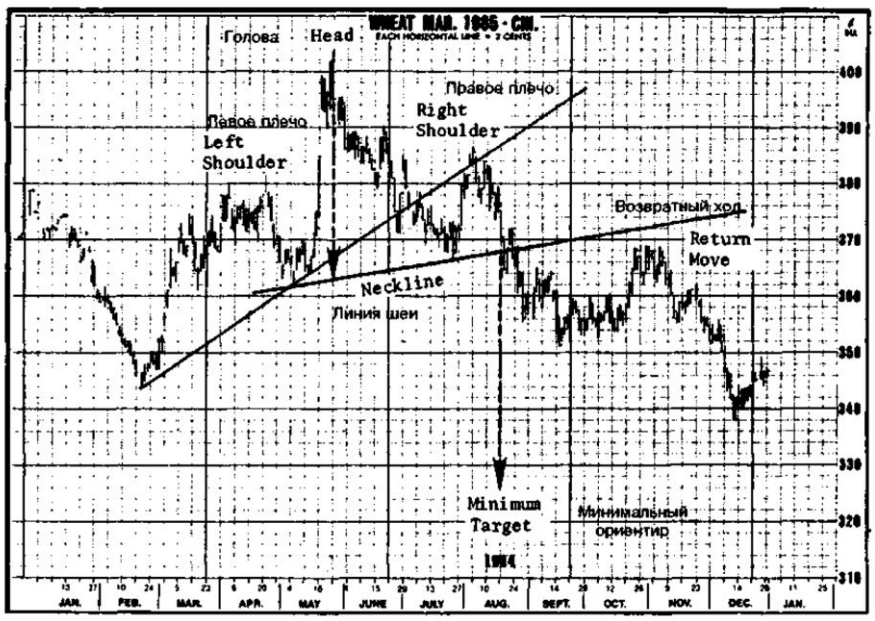


Рис. IV.16.6. Модель «голова и плечи» для вершины (Д. Д. Мэрфи, 1996, с. 100). Обратите внимание на три пика, из которых "голова" выше, чем каждое из "плеч". Основная восходящая линия тренда была прорвана прежде, чем сформировалось правое "плечо". Взгляните также, как цены вновь поднимаются до уровня линии "шеи", после того как наступил перелом тенденции вниз. Расстояние от головы до линии "шеи", отложенное вниз от точки прорыва линии "шеи", соответствует минимальному ценовому ориентиру

Пример такого описания может использоваться при характеристике кривых ГИС по конкретному интервалу (циклу, комплексу и т. п.).

Пример 2. «Ценовые пробелы», или области на графике торгов, где не заключаются сделки. Их характеристики приведены на рис. IV.16.7.

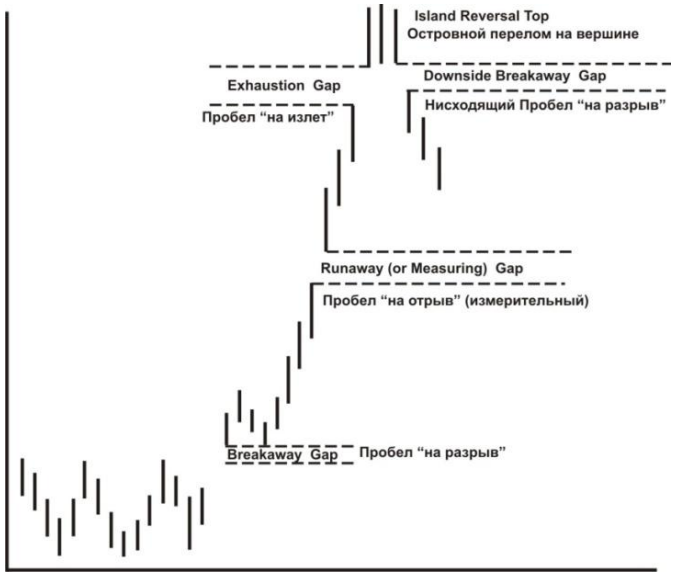


Рис. IV.16.7. Три типа пробелов на графике (Д. Д. Мэрфи, 1996, с. 92). Пробел "на разрыв" дает сигнал о завершении модели основания. Пробел "на отрыв" приходится на середину ценового движения (почему и называется еще "измерительным" пробелом), восходящий пробел "на излет" и следующий за ним в течение недели нисходящий пробел "на разрыв" образуют "островной перелом" на вершине. Обратите внимание, что пробелы "на разрыв" и "на отрыв" не были заполнены по мере движения цен вверх. На практике так обычно и происходит

Сравнивая с классификацией перерывов, приведенной в табл. III.10.4, определим, что «простые» пробелы вполне сопоставимы с диастемами (d_1 и d_2), а более длительные пробелы «на отрыв» – с ритмитовыми и циклитовыми перерывами ($П^{II}$, $П^{III}$). Пробелы «на разрыв» ассоциируются с формированием базальных горизонтов; «на отрыв» – стратиграфическим перерывом, а нисходящий пробел «на разрыв» – формированием конденсированных разрезов (В. П. Алексеев, Э. О. Амон, 2017; см. п. III.10.3).

Пример 3 относится к формированию «простых циклов» и отображен на рис. IV.16.8, с соответствующими пояснениями. Главное – это принципиальная схожесть описанных процессов.

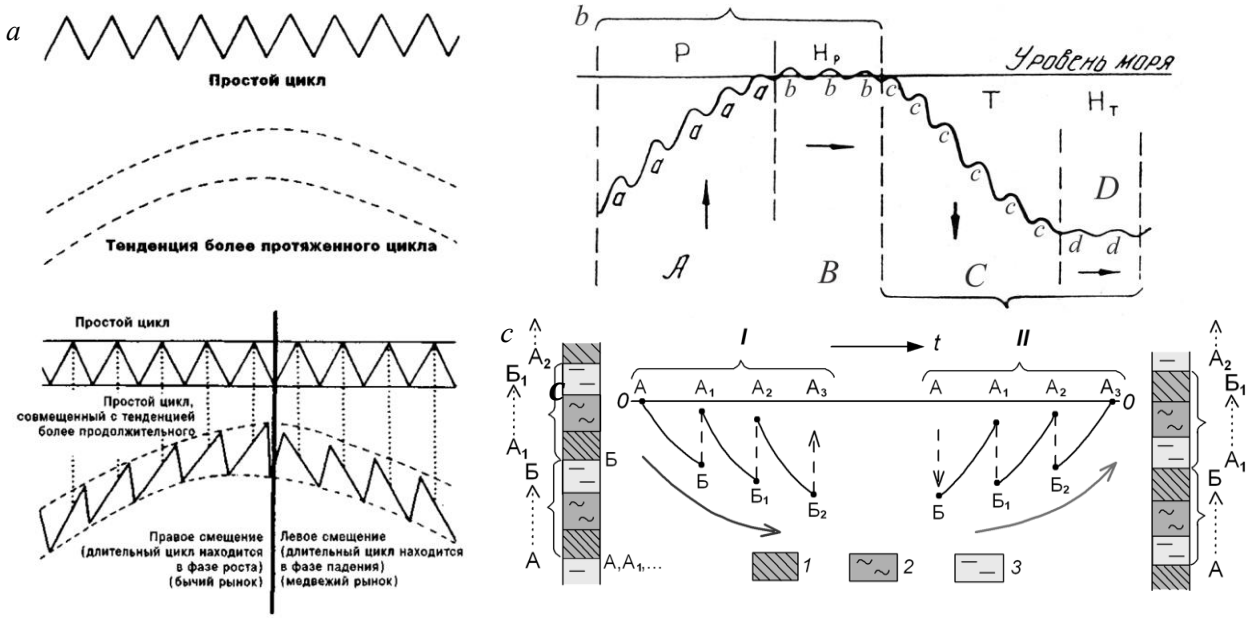


Рис. IV.16.8. Тенденции изменения цикличности: *a* – пример левого и правого смещений (Д. Д. Мэрфи, 1996, с. 385). Сверху вниз: простой цикл – тенденция более протяженного цикла (воздействие на простой цикл тенденции более протяженного цикла). Когда более длительный цикл находится в фазе подъема, то пик простого цикла смещается вправо. В фазе падения более длительного цикла пик простого цикла смещается влево. Правое смещение является бычьим признаком, левое – медвежьим;

b – кривая цикла 2-го порядка, состоящего из циклов 1-го порядка (см. рис. III.8.3);

c – формирование неполных циклов (гемициклов) на фоне трансгрессии (I) или регрессии (II) (см. рис. III.8.4)

* * *

Как и определено введением к четвертой части пособия, её первая половина (IV.1 – IV.8) посвящена бассейновому анализу, то есть получению как можно более полного представления о *строении* изучаемого объекта. Решение этой проблемы проведено во взаимосвязи литологии с основными геологическими дисциплинами – тектоникой (в основном в ракурсе тектоники литосферных плит, или литогеодинамики: IV.1, IV.2) и стратиграфии (как в «классическом» варианте, так и в рамках секвенс-стратиграфических реконструкций: IV.3, IV.6). Особое внимание уделено корреляции отложений – важнейшей геологической задаче. Подчеркнуто, что её решение должно осуществляться при обязательном учете *основного фациального закона* (Головкинского – Иностранцева – Вальтера), предусматривающего диахронность слоевых границ в терригенных толщах (IV.4, IV.5, IV.7). Эти изменения должны непременно учитываться и при палеогеографических реконструкциях (IV.8), которые выполняются на базе фациальных исследований, освещенных во второй части пособия. В целом решение многоплановых задач, стоящих перед литологией, выполняется, в образном рассуждении, как «снаружи» изучаемого объекта (s. l.) посредством многоаспектной оценки его местоположения в общем геологическом континууме, так и «изнутри» его (s. str.), путем исследований деталей строения, вплоть до самых мелких.

Второй блок четвертой части (IV.9 – IV.12) кратко освещает нефтегазогеологическую проблематику (которая в принципе является объектом других учебных дисциплин), вновь в преимущественно литологическом ракурсе. Это относится как к литофизической зональности в разрезе нефтегазоносных бассейнов, так и к новым проблемам, встающим при освоении трудноизвлекаемых ресурсов.

В третьем блоке (IV.13 – IV.16) главное внимание уделено собственно методологическим вопросам. Пытливому обучающемуся наверняка будут небезынтересны представления о смене парадигмы, заключающейся в широком распространении представлений о нелинейности многих, в том числе геологических процессов. Геология как весьма специфическая отрасль знания пока все еще остается мало затронутой указанной сменой парадигм; в литологии же этот процесс вообще делает только первые шаги. В данном контексте затрагиваемый вопрос может быть еще более актуален, потому что он предназначен для достаточно свежих умов, не особенно отягощенных многознанием достаточно «тяжеловесной» (особенно в геологии) «классической» парадигмы, в которой анализируемый объект (геологическое тело) нередко отделен не только от вопрошающего субъекта, но и от методов исследования, т. е. средств вопрошания.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

Кузнецов В. Г. Литология. Основы общей (теоретической) литологии: учебное пособие для вузов. М.: Научный мир, 2011. 360 с.

Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция. М.: Научный мир, 2004. 526 с. (Тр. ГИН РАН, вып. 543).

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

Дополнительная

Бурлин Ю. К., Яковлев Г. Е. Бассейновый анализ. М.: МГУ, 2002. 74 с.

Горяинов П. М., Иванюк Г. Ю. Самоорганизация минеральных систем. Синергетические принципы геологических исследований. М.: ГЕОС, 2001. 312 с.

Изотова Т. С., Денисов С. Б., Вендельштейн Б. Ю. Седиментологический анализ данных промысловой геофизики. М.: Недра, 1993. 176 с.

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

Максимов Е. М. Нефтегазовая литология. Тюмень: ТИУ, 2016. 353 с.

Моделирование нелинейной динамики глобальных процессов. М.: Изд-во МГУ, 2010. 412 с.

Петрологический атлас ископаемого органического вещества России. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. 604 с.

Холодов В. Н. Геохимия осадочного процесса. М.: ГЕОС, 2006. 608 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 574).

Черников О. А. Литологические исследования в нефтепромысловой геологии. М.: Недра, 1981. 237 с.

Чернова О. С. Седиментология резервуара: учебное пособие по краткому курсу. Томск: Изд-во ЦППС НД, 2007. 295 с.

К теме IV.1. «Литогеодинамика осадочных бассейнов»

Гончаров М. А., Талицкий В. Г., Фролова Н. С. Введение в тектонофизику. М.: КДУ, 2005. 496 с

Литогеодинамика и минерагения осадочных бассейнов. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. 480 с.

Хаин В. Е., Халилов Э. Н. Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа. М.: Научный мир, 2009. 520 с.

К теме IV.2. «Тектоника и литология»

Каледа Г. А. Изменчивость отложений на тектонических структурах (ее значение для поисков полезных ископаемых). М.: Наука, 1985. 192 с

Максимов Е. М. Тектоника и геологические формации Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. 370 с.

Машкович К. А. Методы палеотектонических исследований в практике поисков нефти и газа. М.: Недра, 1976. 221 с.

К теме IV.3. «Стратиграфия и литология»

Гладенков Ю. Б. Биосферная стратиграфия (проблемы стратиграфии начала XXI века). М.: ГЕОС, 2004. 120 с. (Труды ГИН РАН. Вып. 551).

Прозоровский В. А. Начала стратиграфии: учебник. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. 228 с.

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

К теме IV.4. «Корреляция отложений»

Методические рекомендации к корреляции разрезов скважин. М.: ООО «Издательский дом Недра», 2013. 112 с.

Методы корреляции угленосных толщ и синонимики угольных пластов. Л.: Наука, 1968. 381 с.

Салин Ю. С. Стратиграфическая корреляция. М.: Недра, 1983. 157 с.

К теме IV.5. «Основной фациальный закон»

Высоцкий Б. П. Иоганнес Вальтер и его роль в развитии геологии. М.: Наука, 1965. 176 с.

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

Соколов В. А. Александр Александрович Иностранцев (1843-1919). М.: Наука, 1981. 103 с.

К теме IV.6. «Секвенсная стратиграфия»

Габдуллин Р. Р., Копаевич Л. Ф., Иванов А. В. Секвентная стратиграфия: учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2008. 113 с.

Позаментьер Г. В., Аллен Дж. П. Секвенсная стратиграфия терригенных отложений. Основные принципы и применение: пер. с англ. М.-Ижевск: ИКИ, 2014. 436 с.

Сейсмическая стратиграфия – использование при поисках и разведке нефти и газа: пер. с англ. / под ред. Ч. Пейтона. М.: Мир, 1982. 846 с.

К теме IV.7. «Осложнения при корреляции: решение задач»

Методика корреляции разрезов континентальных угленосных толщ. Л.: Наука, 1970. 184 с.

Несмеянов С. А. Корреляция континентальных толщ. М.: Недра, 1977. 198 с.

Никашкин А. М., Рыльков А. В. Геолого-математическое моделирование корреляции осадочных толщ: учебное пособие. Тюмень: ОАО «Тюменский дом печати», 2013. 192 с.

К теме IV.8. «Литология и палеогеография»

Жижченко Б. П. Методы палеогеографических исследований в нефтегазоносных областях. М.: Недра, 1974. 376 с.

Рухин Л. Б. Основы общей палеогеографии Л.: Гостоптехиздат, 1959. 557 с.

Свиточ А. А., Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Палеогеография: учебник. М.: Изд. центр «Академия», 2004. 448 с.

К теме IV.9. «Нефтегазоносные бассейны; флюидодинамика»

Дмитриевский А. Н. Системный литолого-генетический анализ нефтегазоносных осадочных бассейнов. М.: Недра, 1982. 230 с. (Избранные труды. М.: Наука, 2008. Т .1. С. 24-250).

Минский Н. А. Литофизическая зональность осадочного чехла платформ и ее влияние на распределение месторождений нефти, газа и гидротермальных руд. М.: ГЕОС, 2007. 150 с.

Соколов Б. А. Новые идеи в геологии нефти и газа: избранные труды. М.: Изд-во МГУ, 2001. 480 с.

К теме IV.10. «Коллекторы»

Конибир Ч. Э. Палеогеоморфология нефтегазоносных песчаных тел: пер. с англ. М.: Недра, 1979. 256 с.

Максимов Е. М. Литология природных резервуаров нефти и газа: учебное пособие. М.: «ЦентрЛитНефтеГаз», 2008. 432 с.

Ханин А. А. Породы – коллекторы нефти и газа. М.: Недра, 1969. 368 с.

К теме IV.11. «Резервуары, ловушки и залежи нефти и газа»

Буш Д. А. Стратиграфические ловушки в песчаниках – методика исследований: пер. с англ. М.: Мир, 1977. 215 с.

Литологические, стратиграфические и комбинированные ловушки нефти и газа. М.: Недра, 1978. 275 с.

Стратиграфические и литологические залежи нефти и газа / под ред. Р. Е. Кинга: пер. с англ. М.: Недра, 1975. 472 с.

К теме IV.12. «Нетрадиционные ресурсы и трудноизвлекаемые запасы»

Голицын М. В., Голицын А. М., Пронина Н. В. и др. Газоугольные бассейны России и мира. М., 2002. 250 с.

Мастепанов А. М., Степанов А. Д., Горевалов С. В., Белогорьев А. М. Нетрадиционный газ как фактор регионализации газовых рынков. М.: ИЦ «Энергия», 2013. 128 с.

Нефть и газ низкопроницаемых сланцевых толщ – резерв сырьевой базы углеводородов России. СПб.: ВНИГРИ, 2014. 323 с.

К теме IV.13. «Системный анализ и нелинейная литология»

Дойч К. В. Геостатистическое моделирование коллекторов: пер. с англ. М.-Ижевск: ИКИ, 2011. 400 с.

Закревский К. Е. Геологическое 3D моделирование. М.: ООО «ИПЦ "Маска"», 2009. 376 с.

Рекомендации к методике построения геологических моделей при подсчете запасов углеводородного сырья. М.: ФБУ «ГКЗ», 2014. 100 с.

К теме IV.14. «Проверка построений и реконструкций»

Демьянов В. В, Савельева Е. А. Геостатистика: теория и практика. М.: Наука, 2010. 327 с.

Кулямин В. В. Методы верификации программного обеспечения. М.: Институт системного программирования РАН, 2008. 117 с. (http://www.ict.edu.ru/ft/005645/62322el-st09.pdf)

Поляков А. А. Системный подход к анализу и снижению риска при поисках и разведке месторождений нефти и газа. М.–Ижевск: ИКИ, 2017. 116 с.

К теме IV.15. «Литология в ракурсе смены парадигм»

Алексеев В. П. Нелинейно-литологическое эссе. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. 250 с.

Бак П. Как работает природа: Теория самоорганизованной критичности: пер. с англ. М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. 276 с.

Егоров Д. Г. Изменение парадигм в современных науках о Земле. М.: Academia, 2004. 184 с.

К теме IV.16. «Литология в трансдисциплинарных исследованиях»

Алексеев В. П., Амон Э. О. Седиментологические основы эндолитологии. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. 476 с.

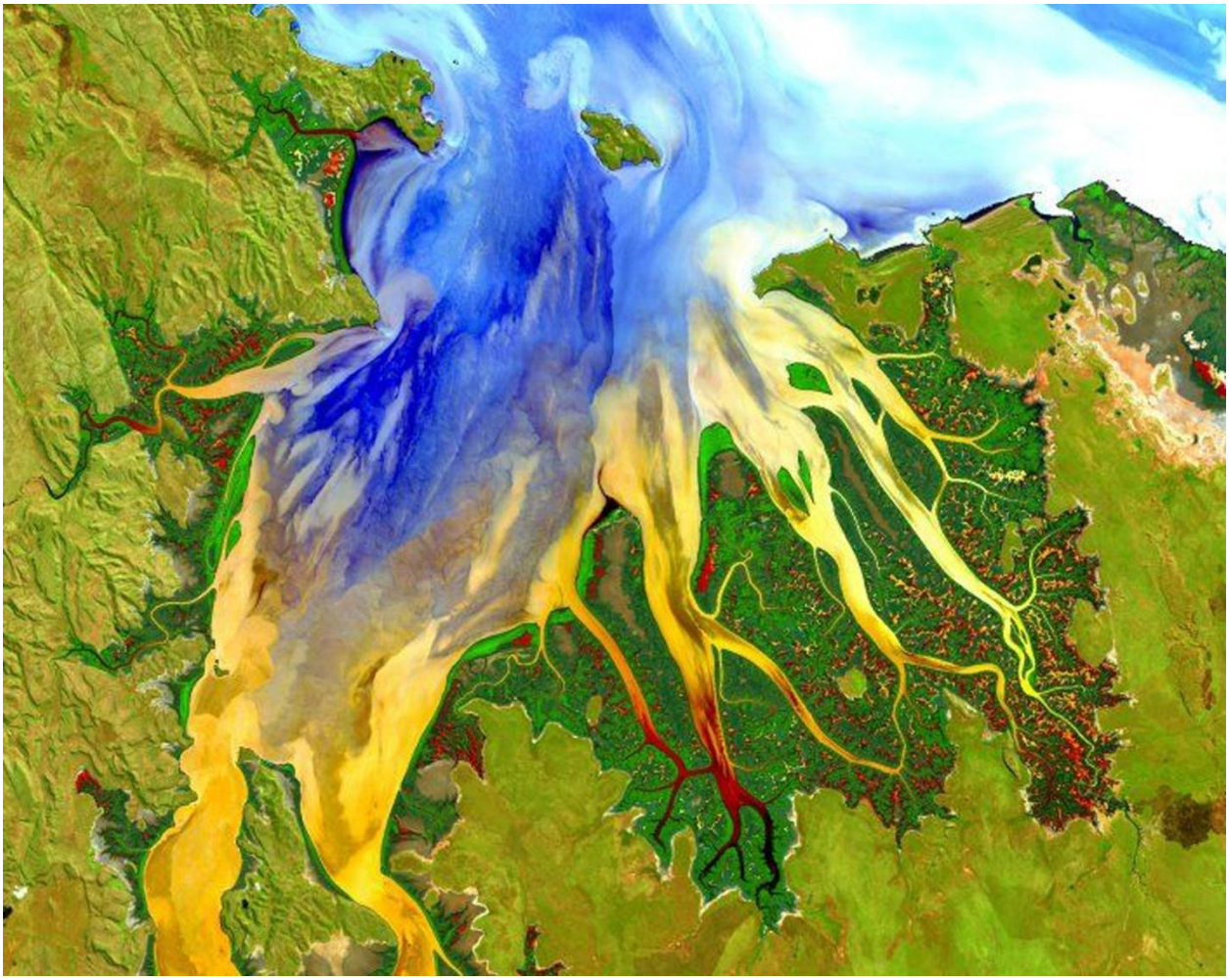
Алюшин А. Л., Князева Е. Н. Темпомиры: Скорость восприятия и шкалы времени. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 240 с.

Майнцер К. Сложносистемное мышление: Материя, разум, человечество. Новый синтез: пер. с англ. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 464 с.

ЧАСТЬ V

КОЛЛЕКТОРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

(фациальный аспект)



* * *

Завершающую, пятую, часть пособия можно рассматривать в широкой шкале оценок. Действительно, с одной стороны, геология Западно-Сибирского осадочного мегабассейна (ЗСОМБ) выглядит весьма просто, если даже не примитивно. На основной площади своего распространения, составляющей свыше 1 млн кв.км, отложения широкого возрастного диапазона (J – Q) практически не имеют существенных несогласий и нарушений. При преобладающей толщине платформенного чехла 2–5 км в нем содержится несколько десятков достаточно уверенно выделяемых и коррелируемых терригенных коллекторов с преобладающим диапазоном толщин от первых метров до первых десятков метров.

Фациальный состав западносибирских, почти исключительно терригенных отложений довольно легко поддается изучению с общепринятых позиций, в том числе с использованием так называемых дистанционных методов (сейсморазведка, геофизические методы исследования скважин – ГИС). Изученность основных участков бассейна на территории ХМАО-Югры, содержащих главные промышленные ресурсы нефти, равно и как их освоенность, весьма высоки. Это зафиксировано в огромном количестве публикаций, которые в том числе посвящены фациальному составу отложений разных территорий и разного возраста.

С другой, диаметрально противоположной точки зрения, многие вопросы геологического строения Западной Сибири изучены недостаточно, а ряд из них вызывает существенные разночтения. Особенно это касается глубоких горизонтов, а также северных районов бассейна. Впрочем, и достаточно «традиционные» площади и интервалы разреза, которые зачастую оставались без должного «литологического» внимания, буквально на глазах получают как бы «второе дыхание», особенно при интенсивном внедрении новых технологий, позволяющих осваивать так называемые «трудноизвлекаемые запасы» (ТрИЗ), что также ставит новые вопросы разного характера.

В этом ракурсе непреходяще актуальными выглядят *фациальные исследования* самого широкого диапазона – от общей оценки условий формирования отложений до детальной оценки конкретных пластоточек и картирования локальных территорий. Они и положены в основу главного содержания предлагаемой части, в которой освещены основные фациальные черты нефтегазоносных комплексов и подкомплексов, изложенные в многочисленных работах большого количества авторов. Имеющиеся разноплановые материалы излагались как бы с «нейтральных», по возможности беспристрастных позиций. Только в некоторых случаях обозначались полемичные и «неполезные» интерпретации отдельных интервалов разреза, а также уязвимость некоторых реконструкций.

ЗАПАДНО-СИБИРСКИЙ ОСАДОЧНЫЙ МЕГАБАССЕЙН

V.I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ; СТРАТИГРАФИЯ

V.I.I. Общие сведения

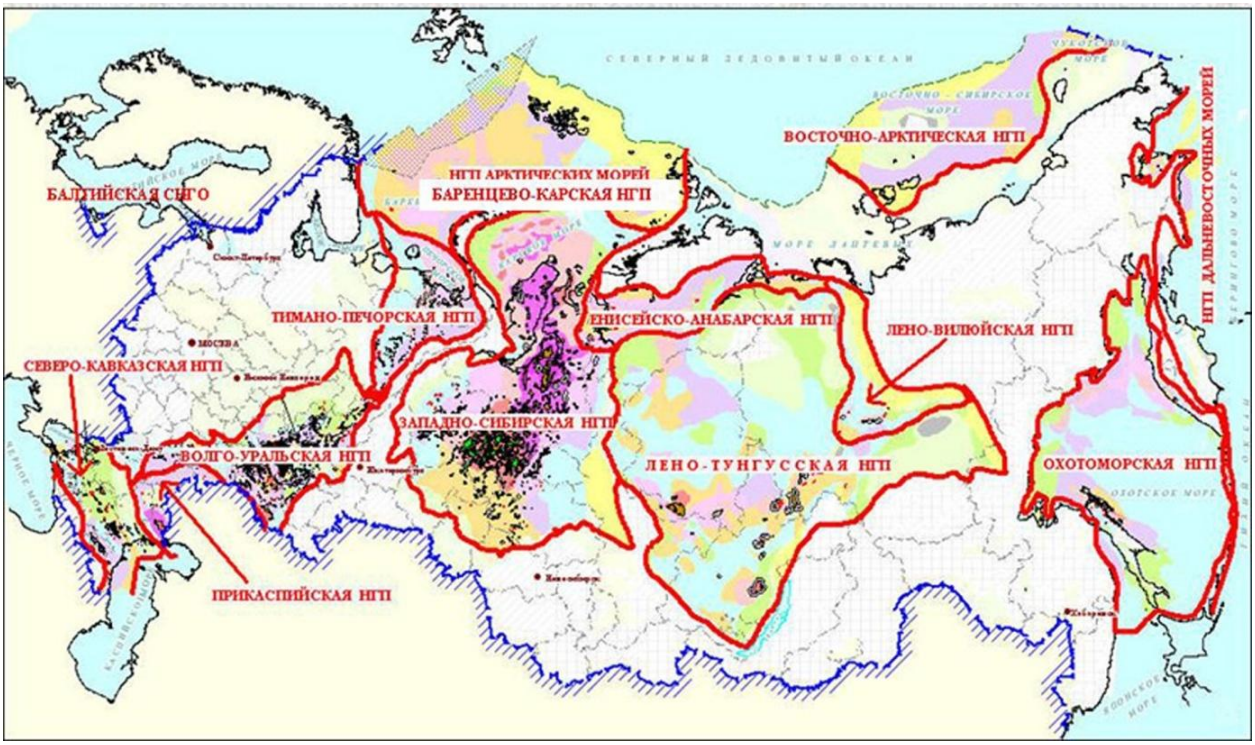


Рис. V.1.1. Основные нефтегазоносные провинции (НГП) Российской Федерации

Рис. V.1.2. Географическая карта

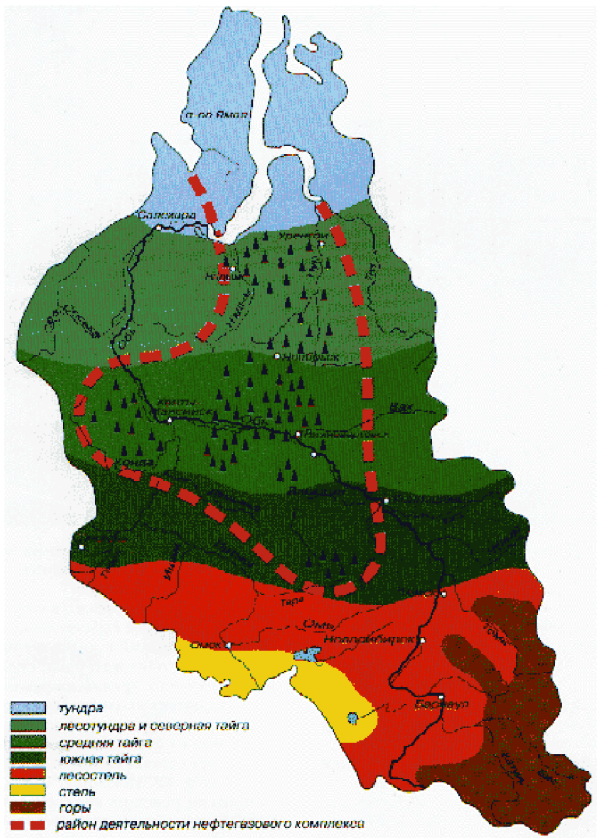


Рис. V.1.3. Географическое зонирование

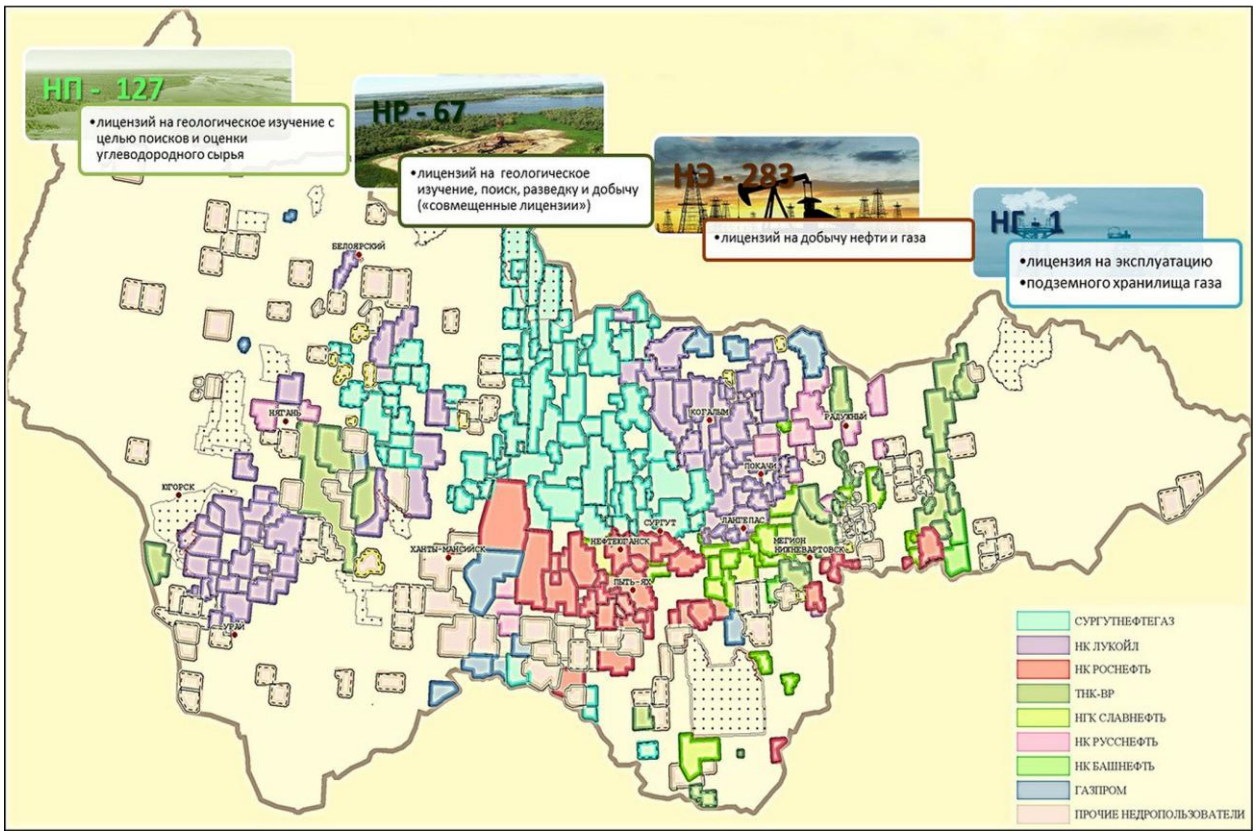


Рис. V.1.4. Состояние лицензирования недр Ханты-Мансийского автономного округа – Югры на 01.01.2013 г. (Недропользование…, 2012)

Рис. V.1.5. Перспективы освоения северных районов ЯНАО

V.1.2. Стратиграфия

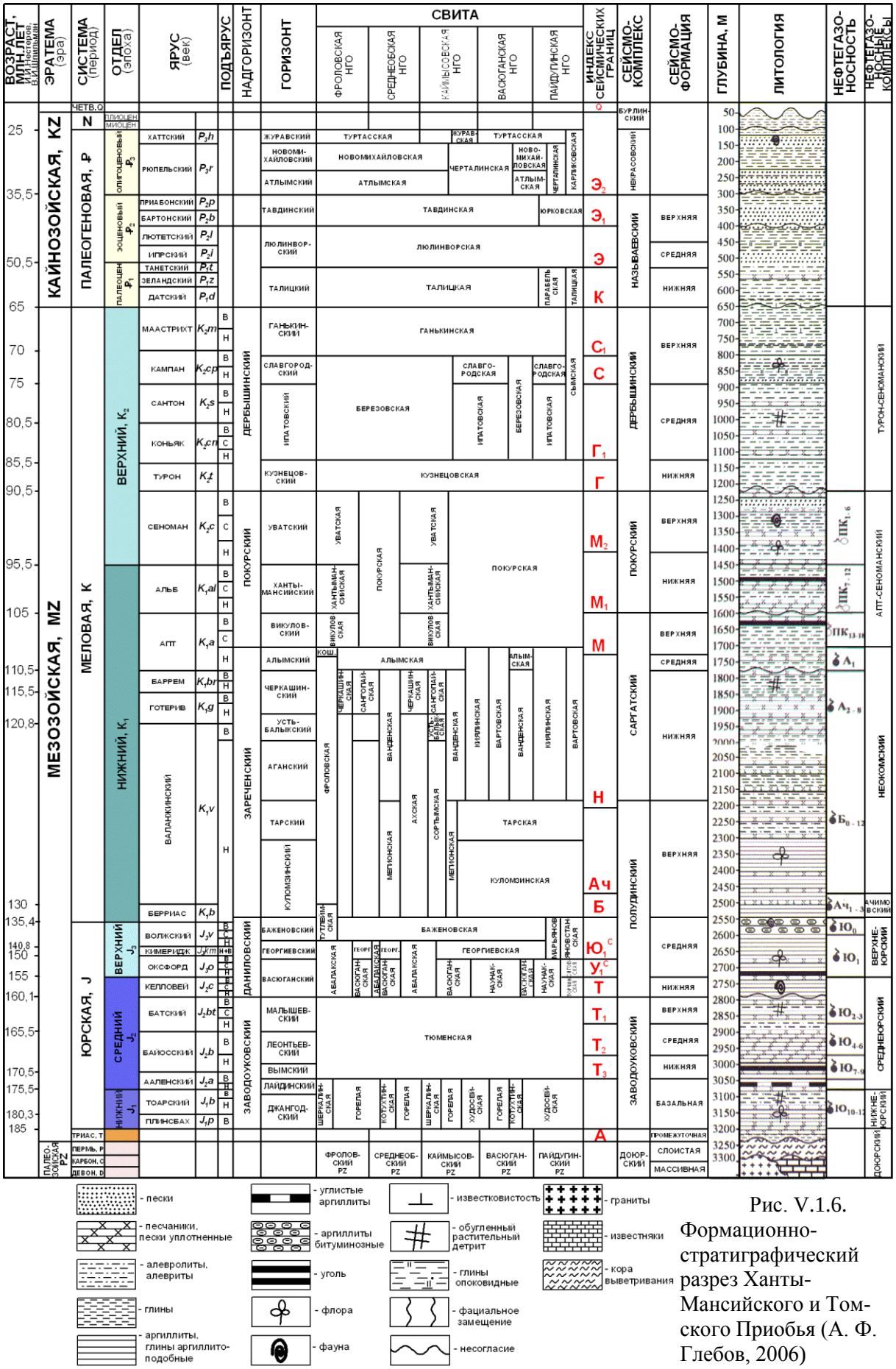


Рис. V.1.6. Формационно-стратиграфический разрез Ханты-Мансийского и Томского Приобья (А. Ф. Глебов, 2006)

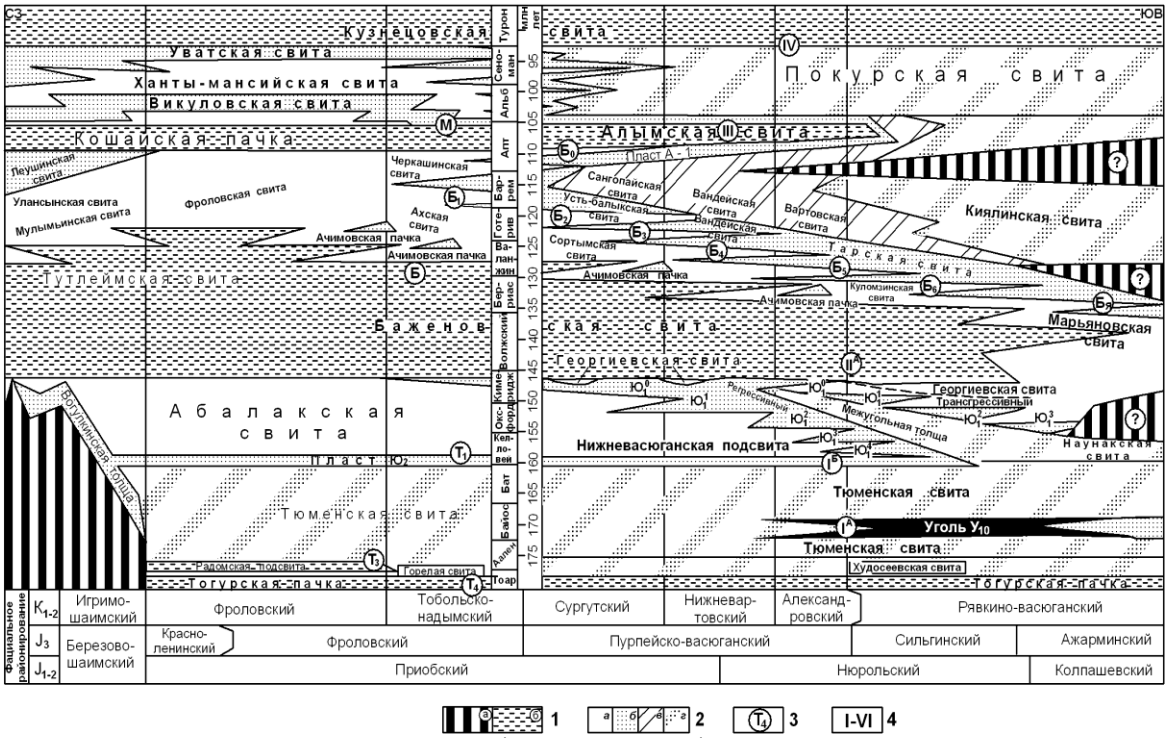


Рис. V.1.7. Литолого-стратиграфический профиль юрских и меловых отложений платформенного чехла Западно-Сибирской плиты (В. Б. Белозеров, И. А. Иванов, 2003; с сокращениями и небольшими изменениями): *1* – размывы (*а*) и реперные глинистые толщи (*б*); *2* – морские глинистые (*а*) и песчаные (*б*) отложения, прибрежно-континентальные (*в*) и континентальные угленосные (*г*) осадки; *3* – глинистые пачки, к которым приурочиваются сейсмические горизонты; *4* – сейсмические горизонты

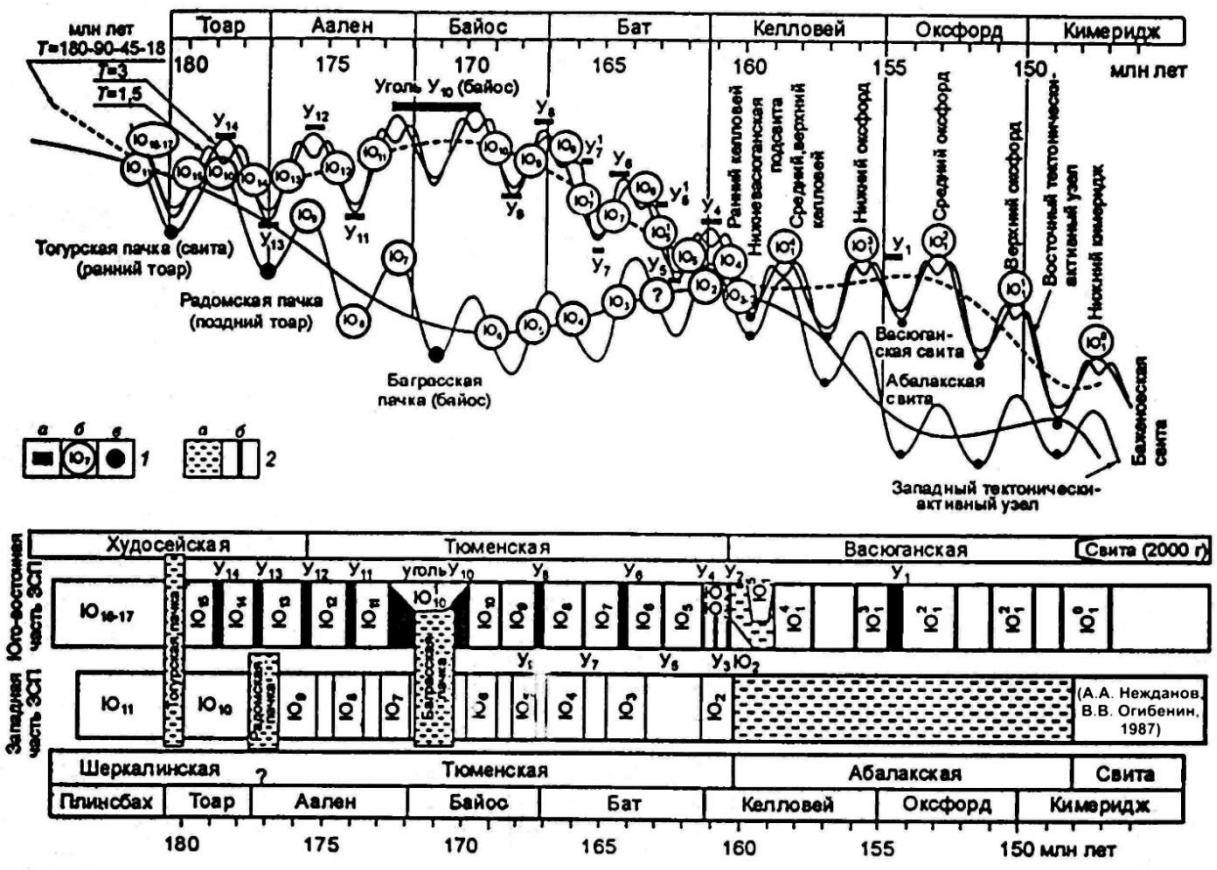


Рис. V.1.8. Кинематическая схема осадкообразования юрских продуктивных резервуаров (В. Б. Белозеров, И. А. Иванов, 2003): *1* – участки кинематической кривой, ответственные за формирование угольных пластов (*а*), песчаных резервуаров (*б*) и глинистых толщ (*в*); *2* – глинистые толщи (*а*) и угольные пласты (*б*)

V.1.3. Кризисная ситуация в «свитной» стратиграфии

«Плоскопараллельная», или «блинная», стратиграфия, определяемая традиционным подходом к выделению одновозрастных и литологически однородных свит (см. рис. IV.3.3), столкнулась в Западной Сибири с «неприятным открытием для стратиграфов» (по оценке С. И. Романовского) в виде **неокомских клиноформ** со скользящими (диахронными) границами: рис. V.1.9, V.1.10.

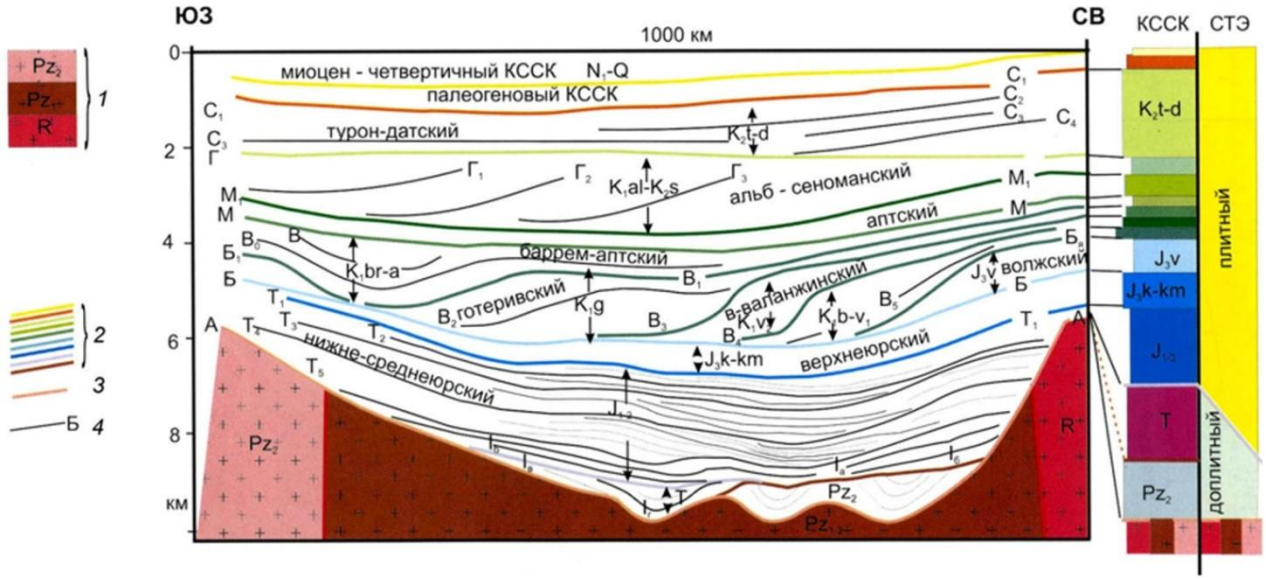


Рис. V.1.9. Сейсмостратиграфический разрез осадочного чехла Западной Сибири (исходные данные: Н. Я. Кунин и др., 1995; дополнено: Осадочные бассейны, 2004):

1 – консолидированная кора разного возраста; *2* – границы квазисинхронных сейсмостратиграфических комплексов (КССК); *3* – поверхность консолидированной коры; *4* – отражающие горизонты и их индексы

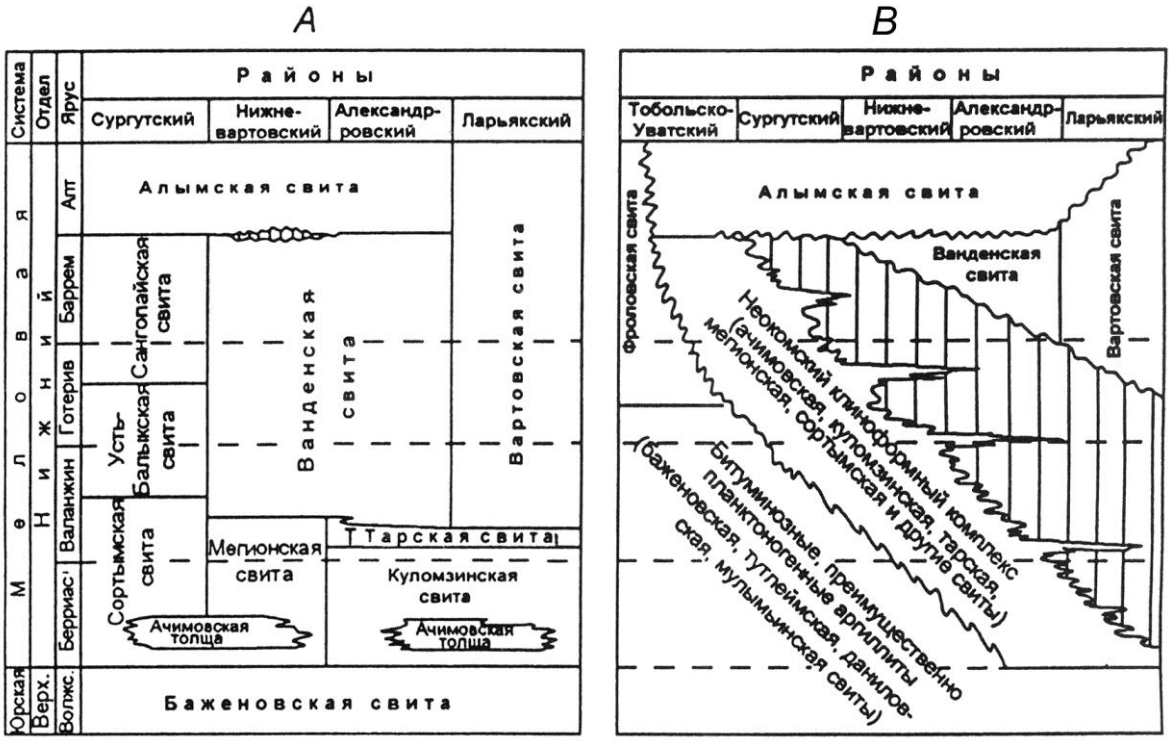


Рис. V.1.10. Два варианта стратиграфической схемы (последовательность напластования) неокома Среднего Приобья: *A* – принятая на МРСС в г. Тюмени в 1990 г. и утвержденная в 1991 г.; *B* – предложенная Ф. Г. Гурари в 1994 г. (Ф. Г. Гурари, 2003, с. 63)

Реальный выход из кризисной ситуации, инспирированной скольжением литологических границ (см. IV.5), заключается в принятии принципов генетической стратиграфии (см. рис. III.8.5), что проиллюстрировано на рис. V.1.11 и V.1.12.

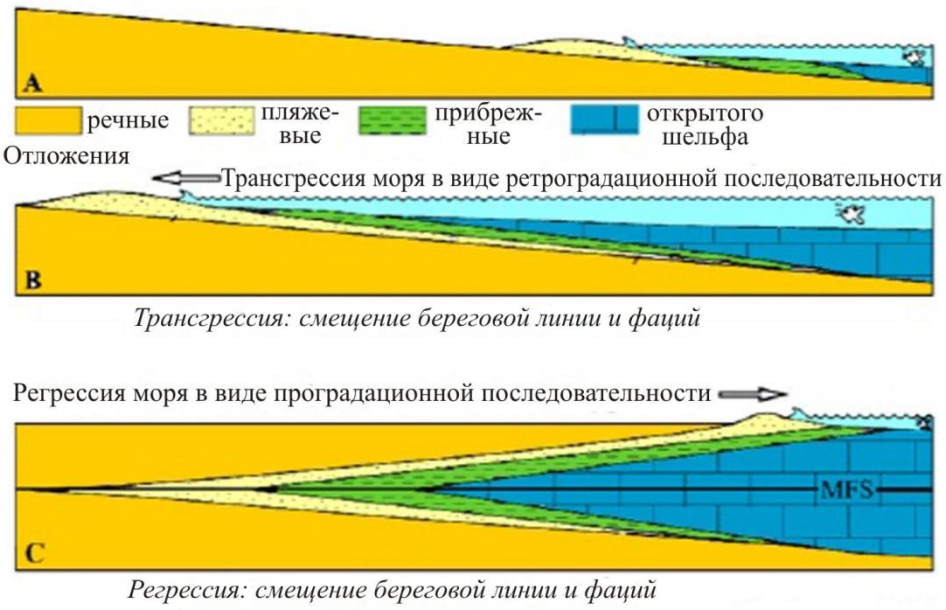


Рис. V.1.11. Формирование линии максимального затопления (MFS) как изохронной поверхности (O. Catuneanu, 2002)

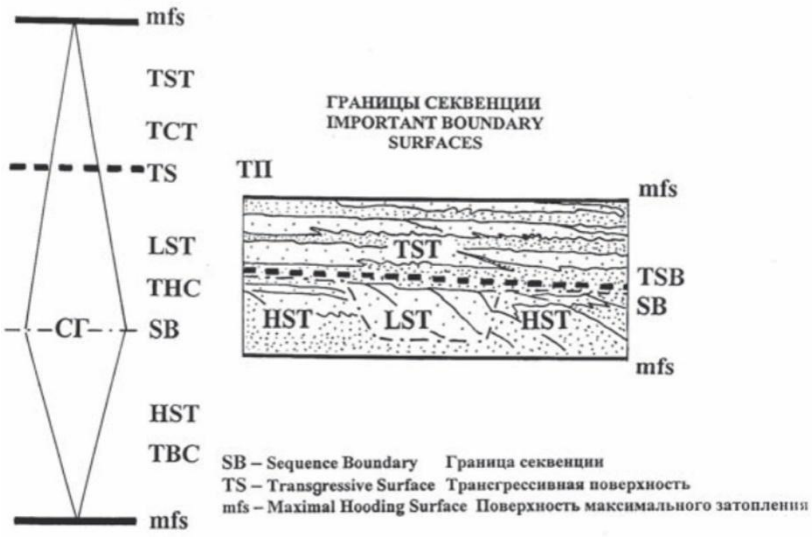


Рис. V.1.12. Основные граничные поверхности в седиментационной обстановке тракта низкого стояния (http://strata.geol.sc.edu/images): ТП – трансгрессивная поверхность, СГ – секвентная граница

При таком подходе вполне реален подход, сформулированный Ю. Н. Карогодиным. «Так, в разрезе юрско-неокомских отложений в исследуемом и прилегающих к нему районах (Приобья. – *В. А.*) необходимо выделить вместо нескольких десятков (более 25) свит **всего пять следующих формаций (снизу вверх): заводоуковская (тюменская), абалакско-васюганская, баженовская, берриас-валанжинская, готерив-барремская**. Широко внедрившийся термин «свита» можно оставить в понятийно-стратиграфической базе стратиграфии в ранге субформации. Возрастное скольжение границ свит, как и у формаций, не должно ограничиваться каким-либо диапазоном, как это и принято за рубежом. В такой трактовке формации и свиты могут нести и некоторую смысловую, динамическую и фациально-генетическую нагрузку, "привязку" к фазам седиментационных циклов» (Северное Приобье, 2000, с. 55).

V.2. ТЕКТОНИКА

V.2.1. Тектоническое строение фундамента

Западно-Сибирский осадочный мегабассейн относится к типу осадочных бассейнов надрифтовых впадин (см. табл. III.14.1, III.14.2). Начальная стадия его формирования связана с широким проявлением процессов рифтогенеза, сопровождавшихся формированием в его северной части мощного комплекса нижне-среднетриасовых отложений (рис. V.2.1, V.2.2).

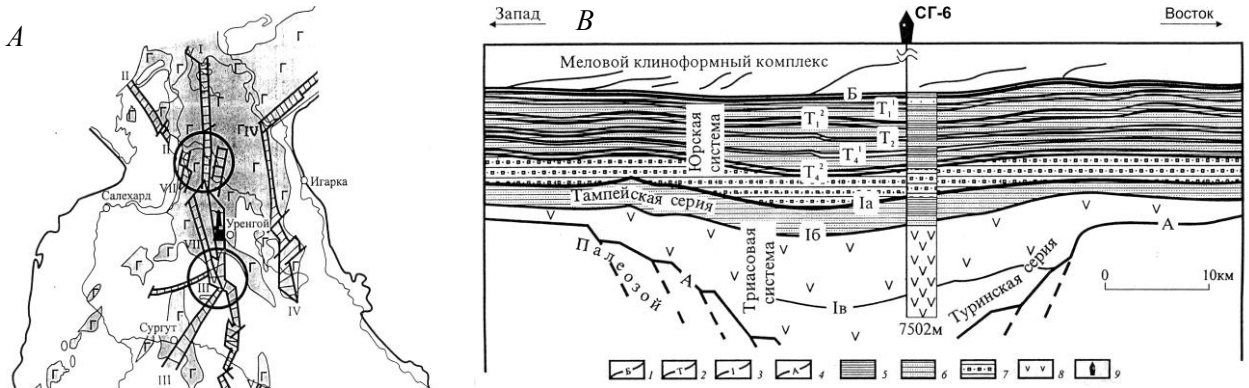


Рис. V.2.1. Континентальная рифтовая система раннего-среднего триаса Западной Сибири:

A – распределение рифтов на площади (Геологическое …, 2005): *1* – рифты (грабен-рифты) (I-I – Колтогорско-Уренгойский, II-II – Ямальский, III-III – Аганский, IV – Худосейский, V-V – Усть-Тымский, VI-VI – Чузикский, VII-VII – Худуттейский); *2* – эффузивно-осадочный комплекс (T_{1-2}); *3* – зоны сочленения рифтов; *4* – Тюменская скважина СГ-6; *5* – Государственная граница Российской Федерации;

B – фрагмент сейсмогеологического разреза (сейсмический профиль МОВ ОГТ № 25, ПГО «Ямалгеофизика») (Западная Сибирь, 2000): *1-3* – основные отражающие горизонты в отложениях: *1,2* – юрских (Б – баженовская свита), *3* – триасовых; *4* – поверхность складчатого фундамента; *5-8* – породы: *5* – преимущественно глинистые, *6* – песчано-алеврито-глинистые, *7* – то же, с прослоями гравелитов и конгломератов, *8* – вулканогенно-осадочные; *9* – Тюменская глубокая скважина

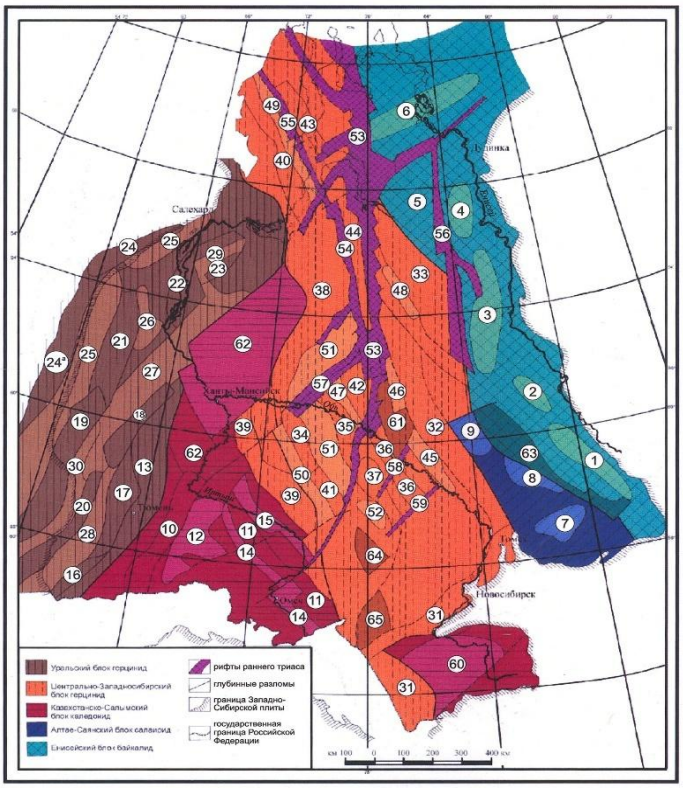


Рис. V.2.2. Тектоническая карта фундамента Западно-Сибирской плиты. Составили: О. Г. Жеро, А. Э. Конторович, В. П. Коробейников, В. Н. Крамник, Л. В. Смирнов, В. С. Сурков (редактор) (Геологическое …, 2005)

1-65 – структурные зоны: 1-6 – Енисейский блок; 7-9 – Алтае-Саянский блок; 10, 11 – Казахстанско-Салымский блок; 12-15 – краевые прогибы и впадины; 16-30 – Уральский блок; 31-44 – Центрально-Западносибирский блок; 45-52 – межгорные и краевые прогибы и впадины; 53-59 – рифты раннего триаса (см. рис. V.2.1); 60-65 – древние массивы

На рис.V.2.3 и V.2.4 приведены две карты, отражающие детальное строение фундамента Западно-Сибирского осадочного мегабассейна. Первая из них характеризует крайнюю западную часть ХМАО (Шаимский нефтегазоносный район) и освещена во многих публикациях К. С. Иванова, Ю. Н. Федорова и др. Вторая относится к крайней восточной части ХМАО и иллюстрирует использование метода ДФМ (построения динамико-флюидной модели), описанного в п. IV.2.2.

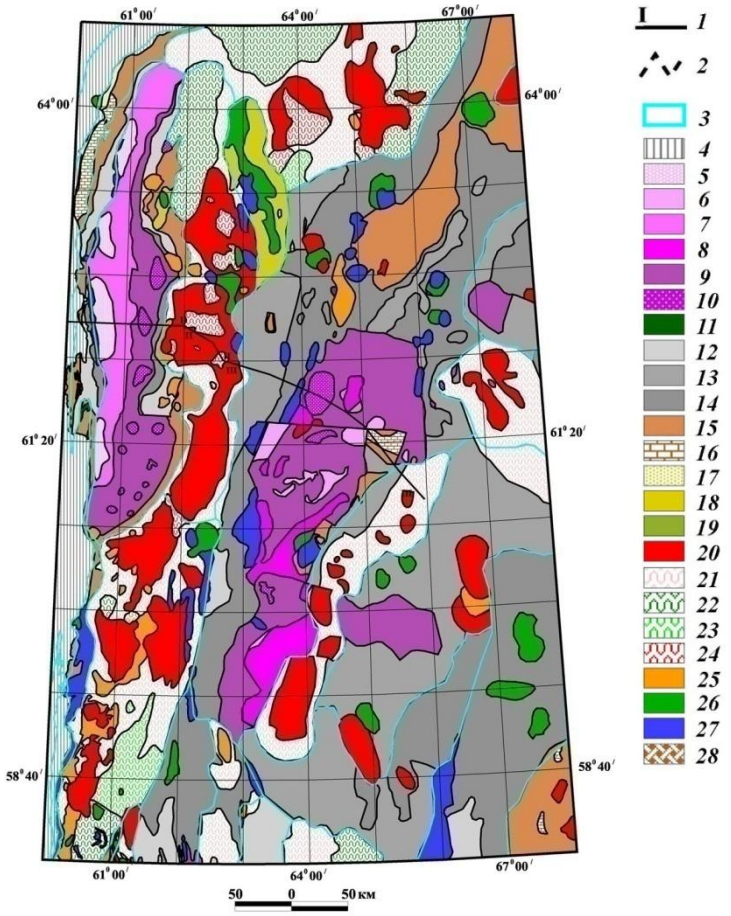
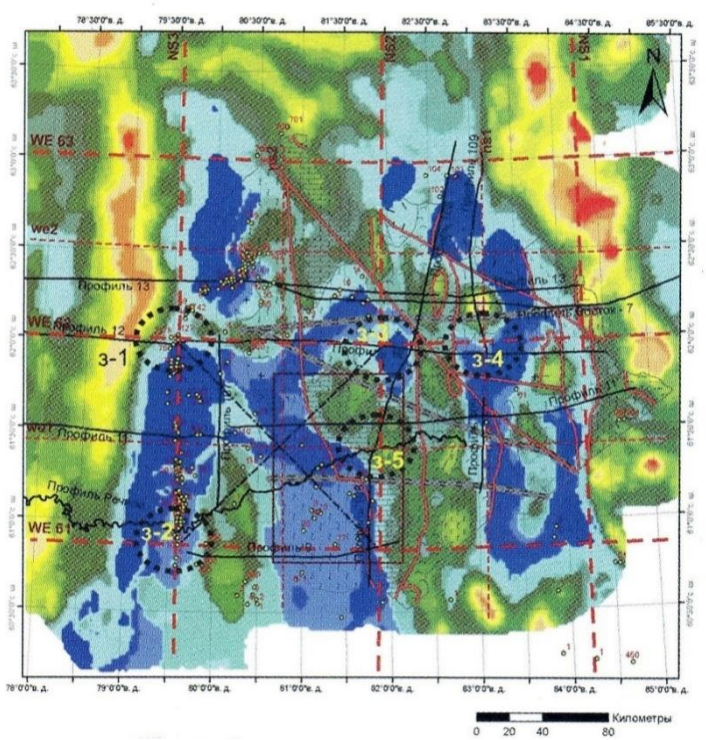


Рис. V.2.3. Схематическая геологическая карта доюрского основания западной части Ханты-Мансийского автономного округа (К. С. Иванов и др., 2009; Ю. Н. Федоров и др., 2006): *1* – линия разреза; *2* – шовные зоны; *3* – границы структурно-формационных зон (СФЗ); *4* – выход палеозойского фундамента; *5* – мульды, брахисинклинали триаса; *6* – риолиты триаса; *7* – базальт-терригенная формация триаса; *8* – эффузивы с преобладанием туфов смешанного состава; *9* – базальты нижнего триаса; *10* – габбро-долериты; *11* – габбро-диабазы карбона; *12* – терригенно-карбонатные отложения Ct-v; *13* – терригенно-сланцевая формация карбона; *14* – эффузивы $D_3 – C_1$; *15* – вулканогенно-осадочные толщи девона; *16* – известняки D_{2-3}; *17* – осадочно-вулканогенные толщи; *18* – андезито-базальты нижнего силура S_2; *19* – порфириты, диабазы, яшмы нижнего палеозоя; *20* – гранитоиды; *21* – сиалические гнейсы, сланцы; *22* – сланцы амфиболовые; *23* – сланцы эпидот-амфиболовые; *24* – кварцевые диориты и гнейсы сиалические магнитные; *25* – плагиограниты, кварцевые диориты, гранодиориты; *26* – габбро; *27* – серпентиниты, ультрабазиты; *28* – яшмы среднего палеозоя



Элементы современных блоковых процессов восточной окраины ХМАО-Югра

NS – Меридиональные плоскости инверсии НДС первого порядка (НДС – напряженно-деформированное состояние); WE – Широтные плоскости инверсии НДС первого порядка; nswe – Меридиональные и широтные плоскости инверсии НДС второго порядка; _._._ Диагональные плоскости инверсии НДС

Рис. V.2.4. Интегральная структурная матрица восточной части ХМАО-Югра с элементами геологического строения доюрского основания (К. С. Иванов и др., 2016, с. 53)

V.2.2. Тектоническое строение осадочного чехла

Общее представление о современном строении осадочных отложений дает структурная карта, построенная по кровле юрского комплекса (рис. V.2.5). В непосредственной практике работ чаще всего используются тектонические карты, выполненные под ред. И. И. Нестерова (рис. V.2.6), а также В. И. Шпильмана (рис. V.2.7).

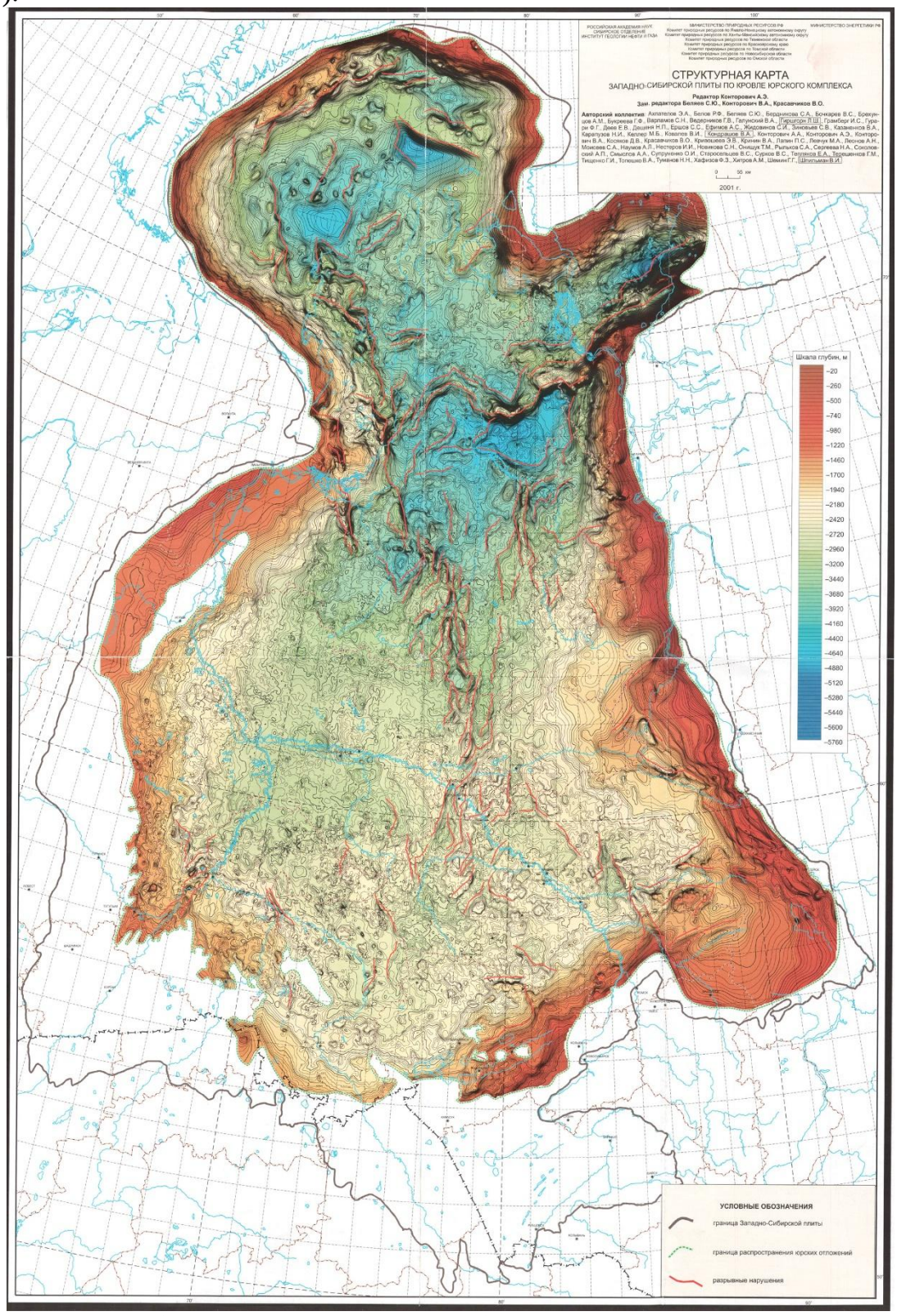


Рис. V.2.5. Структурная карта Западно-Сибирской плиты по кровле юрского комплекса (В. А. Конторович и др., 2001)

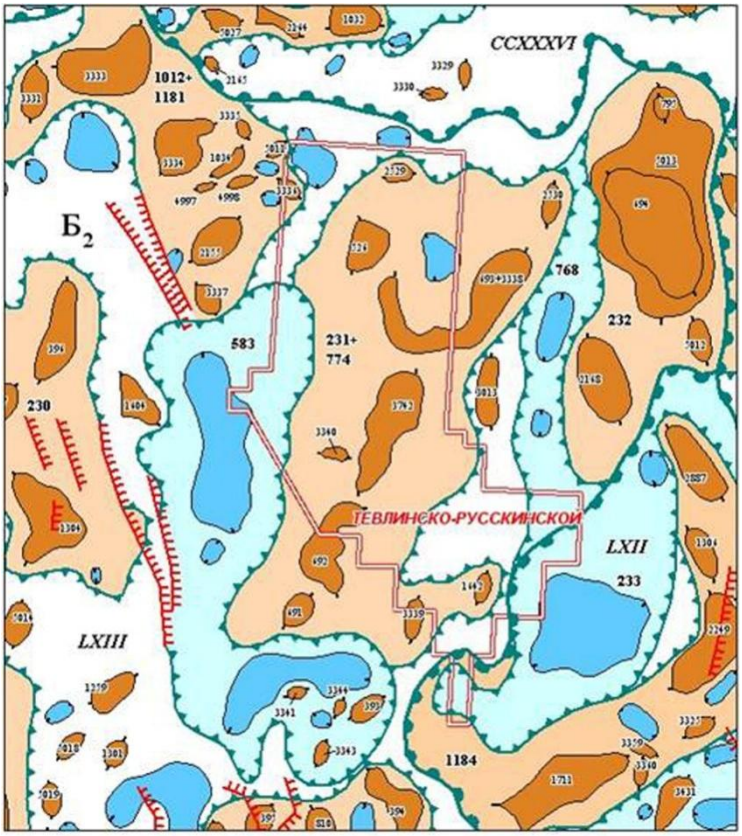


Рис. V.2.6. Фрагмент тектонической карты мезозойско-кайнозойского ортоплатформенного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы (под ред. И. И. Нестерова, 1990)

Контуры структур:

I порядка - крупных (поясов мегавалов, поясов мегапрогибов, мегавыступов, моноклиналей мегаседловин)

I порядка - средних и малых (сводов, мегавалов, впадин, моноклиналей)

II порядка - средних и малых (малых валов, малых прогибов, куполовидных поднятий, седловин)

III порядка - крупных куполов, крупных мульд и т.п.)

III порядка средних и мелких и IV порядка

Структуры II порядка:

положительные средние и малые (малые валы, куполовидные поднятия)

отрицательные средние и малые (малые прогибы)

Структуры III и IV порядка:

положительные мелкие и средние (локальные поднятия, структурные носы)

отрицательные мелкие и средние (локальные депрессии)

Дизъюнктивные нарушения

Граница лицензионного участка

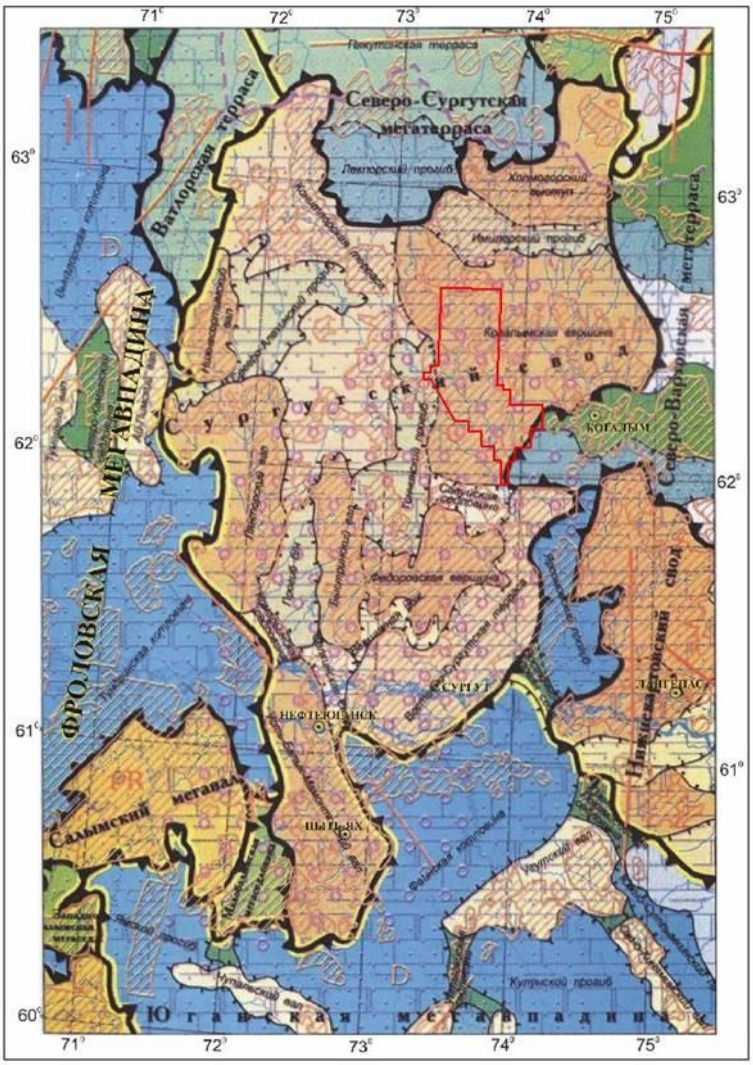


Рис. V.2.7. Фрагмент тектонической карты Западно-Сибирской плиты (под ред. В. И. Шпильмана, Н. И. Змановского, Л. Л. Подсосовой, 1998)

V.2.3. Некоторые закономерности и особенности тектонического строения Западной Сибири

В продолжение анализа трансрегиональных линеаментов (ТРЛ), выполненного В. С. Старосельцевым (2007 и др.), на рис. V.2.8 приведено векторное (как ортогональное, так и диагональное) структурирование территории ХМАО.

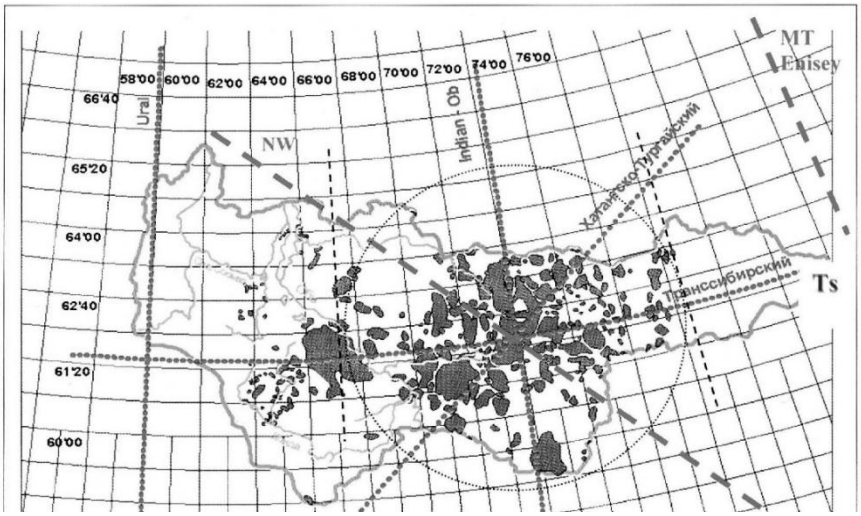


Рис. V.2.8. Трансрегиональные элементы земной коры на территории ХМАО (Западная Сибирь) (В. Б. Писецкий и др., 2008)

Среди *диагональных* линеаментов особо выделяется Хатангско-Тургайский ТРЛ, «уходящий» своей северной частью в Хатангский, а южной – в Тургайский прогибы. Роль последних еще не получила своей полной расшифровки ввиду относительно глубокого залегания фундамента. Диагональное расположение дислокаций Западной Сибири, при их общей ортогональной «текстуре», проявлено на схеме, приведенной на рис. V.2.9.

На базе этих представлений, а также исходя из признания ведущей роли самоорганизации в структурировании геологических тел, приводящей к самоподобию на разных уровнях строения тектонических ансамблей (см. IV.2), построена основная схема трансрегиональных и региональных линеаментов (рис. V.2.10).

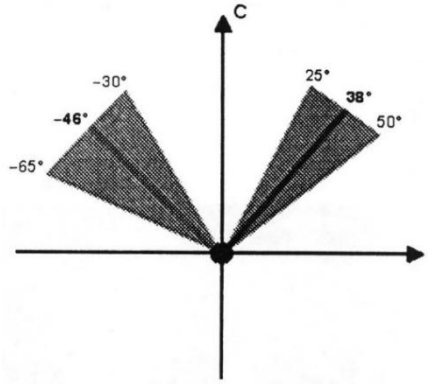


Рис. V.2.9. Азимуты сдвиговых систем четко разделяются на два диагональных направления – северо-запад и северо-восток (Г. Н. Гогоненков и др., 2010)

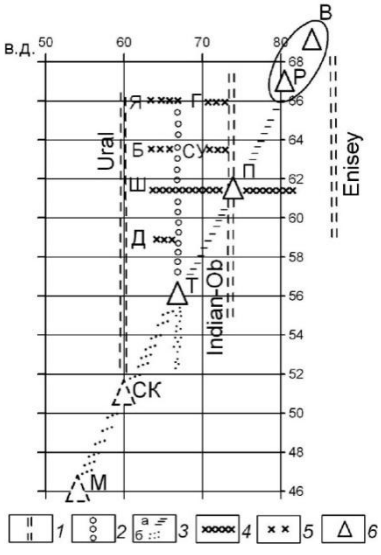


Рис. V.2.10. Выделение и трансляция линеаментов (В. П. Алексеев и др., 2013):

1 – трансрегиональные линеаменты (ТРЛ): см. рис. V.2.8;

2 – вновь выделяемый Красноленинский РЛ;

3 – Хатангско-Тургайский ТРЛ (а) и его юго-западное продолжение (б);

4 – Транссибирский ТРЛ;

5 – региональные широтные линеаменты: Д – Долматовский, Б – Березовский, С – Сибирских Увалов, Я и Г – Ямало-Гыданский;

6 – вертексы ÷ центры инверсии: М – Мангышлакский; СК – Северо-Казахстанский; Т – Тургайский; П – Приобский; Р – Русское и В – Ванкорское месторождения

Изложенные представления принципиально созвучны идеям, развиваемым в рамках тектонофизики (см. IV.1.1), и находят подтверждение в многочисленных проявлениях. В частности, это показано как в виде традиционных построений (рис. V.2.11), так и в необычном ракурсе (рис. V.2.12).

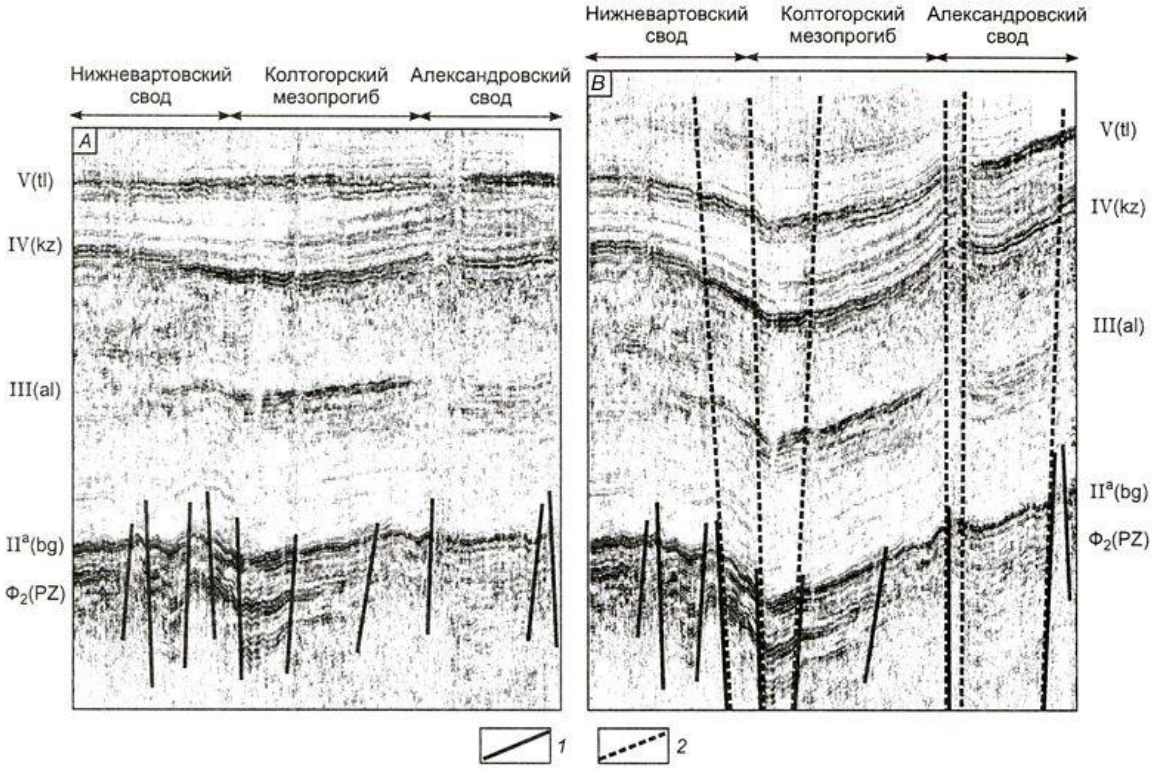


Рис. V.2.11. Палеоразрез, выравненный по кошайской пачке (*A*), и современный разрез (*B*) по линии Нижневартовский свод – Колтогорский мезопрогиб – Александровский свод (В. А. Конторович и др., 2001): *1* – разрывные нарушения, проникающие в нижний мел; *2* – разрывные нарушения, проникающие в кайнозой

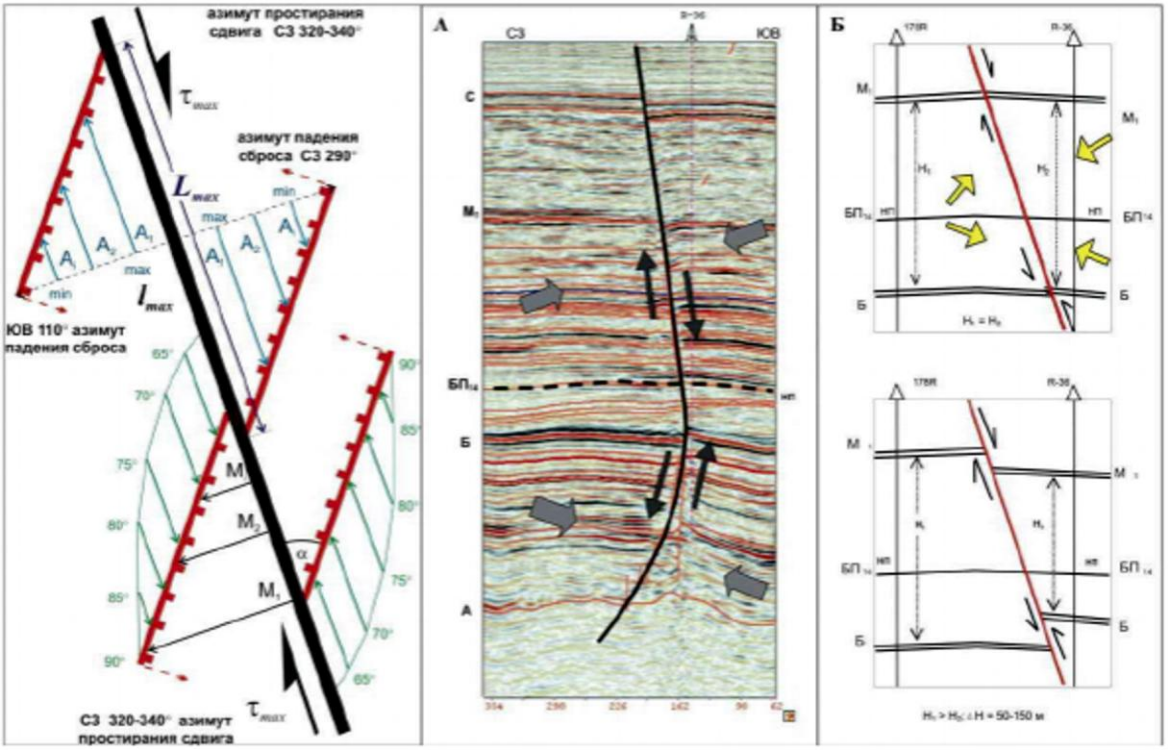


Рис. V.2.12. Кинематические характеристики для модели правого сдвига (план). Пример реверсного разлома: А – интерпретация сейсмического разреза; Б – модель формирования кинематики (А. И. Тимурзиев, 2009, с. 14)

V.3. НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ

V.3.1. Общие сведения и распределение промышленных объектов

Западно-Сибирская нефтегазоносная мегапровинция занимает центральное место среди НГП России (см. рис. V.1.3). На рис. V.3.1 представлено разделение Западно-Сибирской НГП на **нефтегазоносные области (НГО).** В последнее время предложено Фроловскую НГО разделить на собственно Фроловскую и Краснолени-нскую.

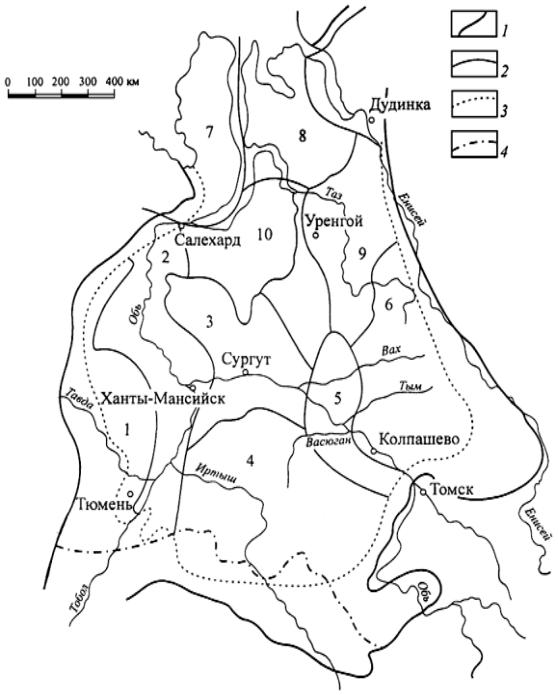


Рис. V.3.1. Нефтегазоносные области Западно-Сибирского бассейна (Нефтегазоносные…, 1994):

1-4 – границы: *1* – бассейна, *2* – нефтегазоносных областей, *3* – перспективных для поисков нефти и газа земель в отложениях мезозоя, *4* – Государственная граница Российской Федерации; нефтегазоносные области: *1* – Приуральская, *2* – Фроловская, *3* – Среднеобская, *4* – Каймысовская, *5* – Васюганская, *6* – Пайдугинская, *7* – Ямальская, *8* – Гыданская, *9* – Пур-Тазовская, *10* – Надым-Пурская

Разделение разреза Западно-Сибирского осадочного мегабассейна на основные единицы – **нефтегазоносные комплексы** (НГК) показано на рис. V.3.2. Следует отметить, что данное деление постоянно уточняется в основном в сторону бóльшей детализации.

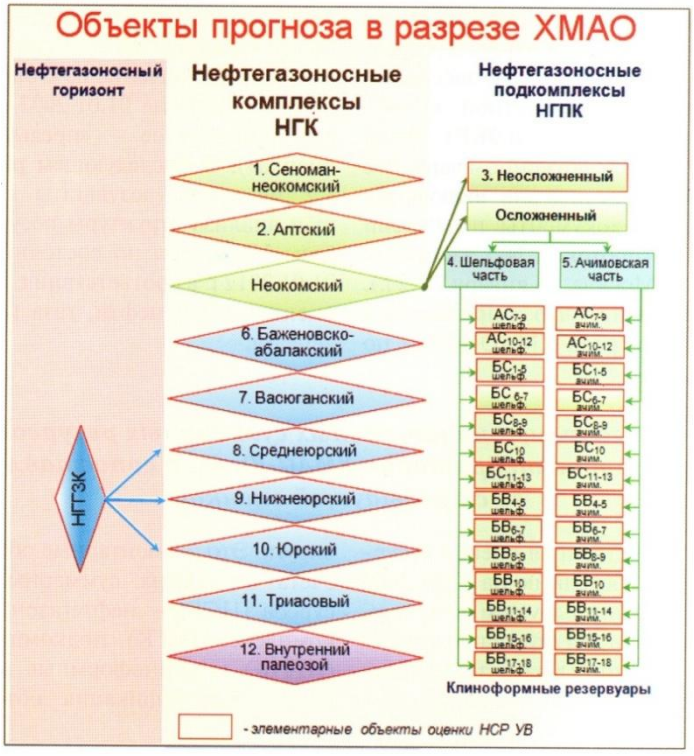


Рис. V.3.2. Схема соподчиненности объектов прогноза в разрезе перспективных отложений ХМАО-Югры (Недропользование …, 2012, с. 6):

НГГЗК – нефтегазоносный горизонт зоны контакта;

НСР – начальные суммарные ресурсы

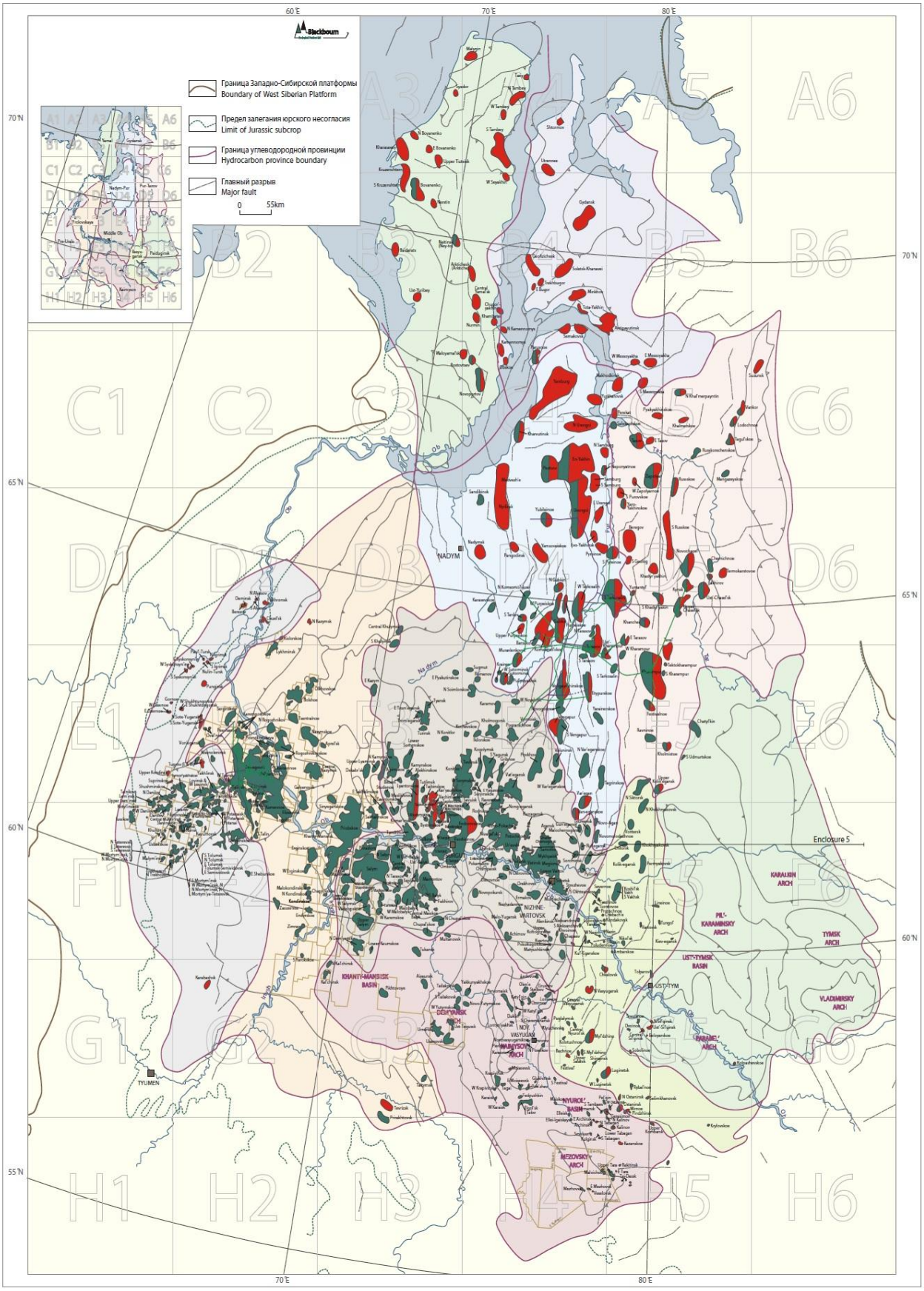


Рис. V.3.3. Нефтегазоносные области и основные месторождения нефти и газа (www.rogtecmagazine.com)

V.3.2. Коллекторы нефти и газа

В 1965 г. в Горноправдинске на специальном совещании было принято решение: в основу номенклатуры пластов положить нефтегазоносные комплексы, соответствующие определенному стратиграфическому интервалу. Присвоить им следующие буквенные обозначения (снизу вверх):

Ю – первому, нижнему нефтегазоносному комплексу (НГК), включающему отложения юрского возраста;

Б – второму НГК, включающему отложения валанжин-готеривского возраста, вплоть до пимской пачки;

А – третьему НГК, включавшему отложения баррем-аптского возраста;

ПК – четвертому нефтегазоносному комплексу, включавшему отложения апт-альб-сеноманского возраста (покурская серия).

Принципиальная схема индексации коллекторов Западной Сибири приведена на рис. V.3.4.

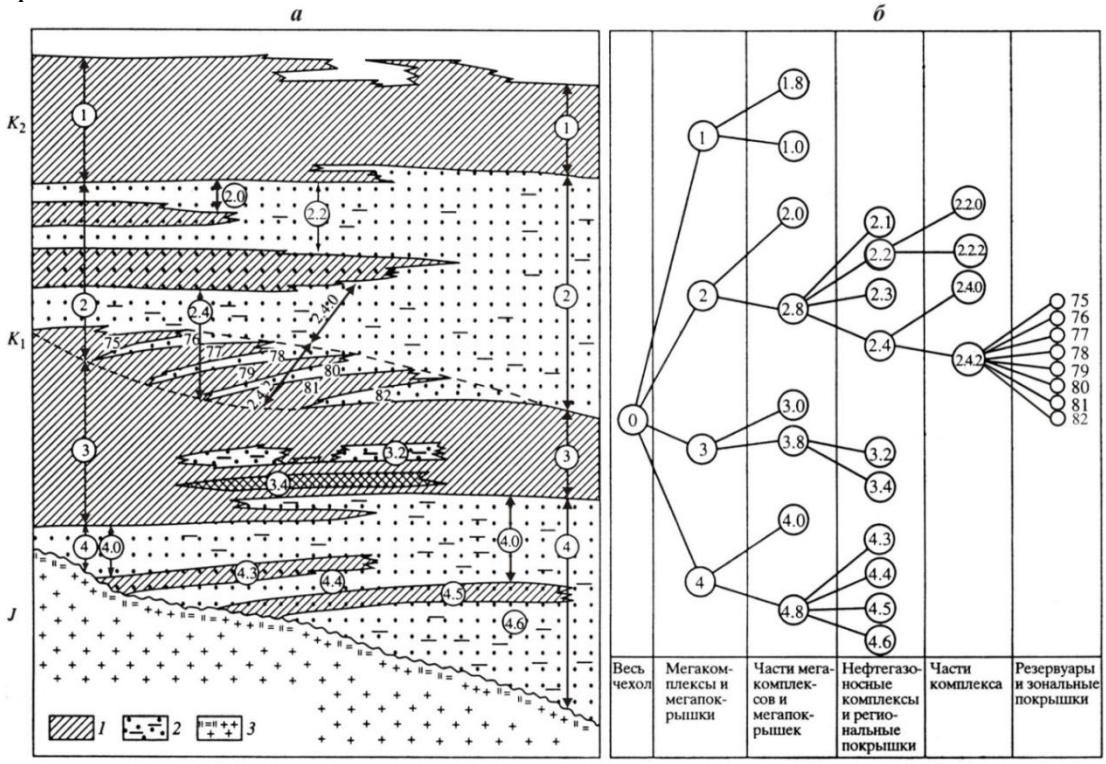


Рис. V.3.4. Классификация нефтегазоносных объектов осадочного чехла Западной Сибири (И. И. Нестеров и др., 1984; с небольшими уточнениями): *а* – схема строения чехла, *б* – соподчиненность объектов, *1* – флюидоупоры, *2* – преимущественно проницаемые породы, *3* – фундамент и кора выветривания. Цифры в кружках – обозначения объектов (в последовательности, изображенной по соподчиненности): 0 – весь мезозойско-кайнозойский чехол; 1 – мегапокрышка мелового нефтегазоносного мегакомплекса, 2 – меловой нефтегазоносный мегакомплекс, 3 – мегапокрышка юрского нефтегазоносного мегакомплекса, 4 – юрский нефтегазоносный мегакомплекс; 1.0 – неосложненная часть мегапокрышки мелового мегакомплекса; 1.8 – проницаемые тела, осложняющие покрышку мелового мегакомплекса; 2.0 – неосложненная часть мелового мегакомплекса, 2.8 – осложненная часть мелового мегакомплекса, 3.0 – неосложненная часть мегапокрышки юрского мегакомплекса, 3.8 – проницаемые тела, осложняющие покрышку юрского мегакомплекса, 4.0 – неосложненная часть юрского мегакомплекса, 4.8 – осложненная часть юрского мегакомплекса; 2.1 – покрышка аптского нефтегазоносного комплекса, 2.2 – аптский нефтегазоносный комплекс, 2.3 – покрышка неокомского нефтегазоносного комплекса, 2.4 – неокомский нефтегазоносный комплекс, 3.2 – «аномальные» разрезы баженовской свиты, 3.4 – баженовской нефтегазоносный комплекс, осложняющий покрышку юрского мегакомплекса, 4.3 – покрышка ааленского нефтегазоносного комплекса, 4.4 – ааленский нефтегазоносный комплекс, 4.5 – покрышка нижнеюрского нефтегазоносного комплекса, 4.6 – нижнеюрский нефтегазоносный комплекс; 2.2.0 – неосложненная часть аптского нефтегазоносного комплекса, 2.2.2 – осложненная часть аптского нефтегазоносного комплекса, 2.4.0 – неосложненная часть неокомского нефтегазоносного комплекса, 2.4.2 – осложненная часть неокомского нефтегазоносного комплекса;75, 77, 79, 81 – зональные покрышки над резервуарами неокомского нефтегазоносного комплекса, 76, 78, 80, 82 – резервуары неокомского нефтегазоносного комплекса

Для интервалов разреза с косослоистым залеганием, что особенно проявляется для неокома (см. V.1.3), недостаточность линейной схемы индексации коллекторов очевидна. Отчасти она решается при использовании схемы вида 2D, что в принципе и показано на рис. V.3.4 для групп резервуаров 76 … 82. Принципиальный подход к решению индексации для самой сложнопостроенной, ачимовской части разреза, показан на рис. V.3.5.

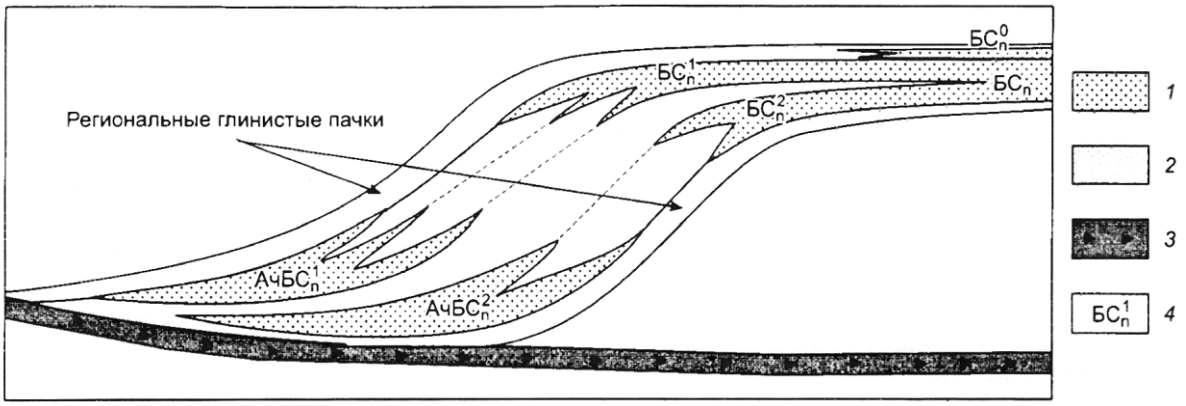


Рис. V.3.5. Принципиальная схема предлагаемого варианта обозначения (номенклатуры и индексации) продуктивных шельфовых и ачимовских пластов и горизонтов неокомского комплекса Западной Сибири (Северное Приобье, 2000, с. 67): *1* – песчано-алевритовые отложения; *2* – глинистые отложения; *3* – битуминозные отложения баженовской свиты; *4* – БС – аббревиатура пласта, обозначающая нефтегазоносный район (АС, БВ, БП и др.), n – индекс продуктивного пласта

Приведенная схема полностью соответствует **основному фациальному закону** (см. IV.5). В настоящее время многие вопросы находят вполне удовлетворительное решение в рамках секвентной стратиграфии (см. IV.6).

V.3.3. Нефтегазоносность и угленасыщенность

Тесная связь горючих ископаемых в виде нефти и угля обсуждалась в ряде разделов пособия, в том числе на уровне осадочных бассейнов – в п. IV.12.3 (см. рис. IV.12.7). В полной мере она присуща и Западно-Сибирскому осадочному мегабассейну. Угленосность в обрамлении Западно-Сибирской плиты охватывает весь стратиграфический диапазон – от позднедевонских углей Барзасского района до кайнозойских депрессий Прииртышья (см. рис. V.3.6). В то же время отчетливо проявлены два максимума торфо(угле)накопления: верхнепалеозойский (в основном C_3–P_2) и раннемезозойский (T_3–J_2). Они разделены «триасовой паузой», характерной для большей части Северного полушария Земли.

В пределах огромной территории Западно-Сибирского угольного бассейна угленосность приурочена исключительно к мезокайнозойскому чехлу ЗСП (рис. V.3.7). При этом основной угленасыщенностью характеризуются нижне-среднеюрские отложения, относимые к раннемезозойской эпохе торфо(угле)накопления (Угленасыщенность …, 2006).

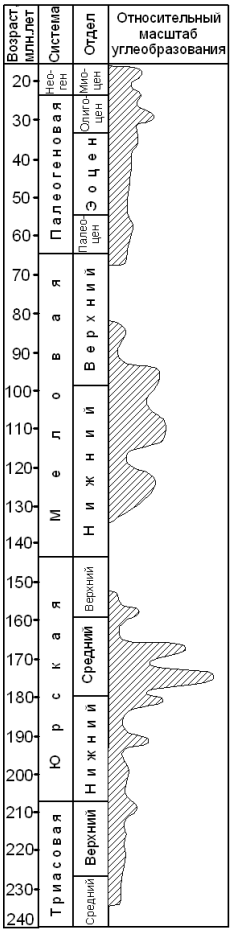


Рис. V.3.6. Распространение угленосности в стратиграфическом разрезе Западно-Сибирского угольного бассейна (Западно-Сибирский…, 2003)

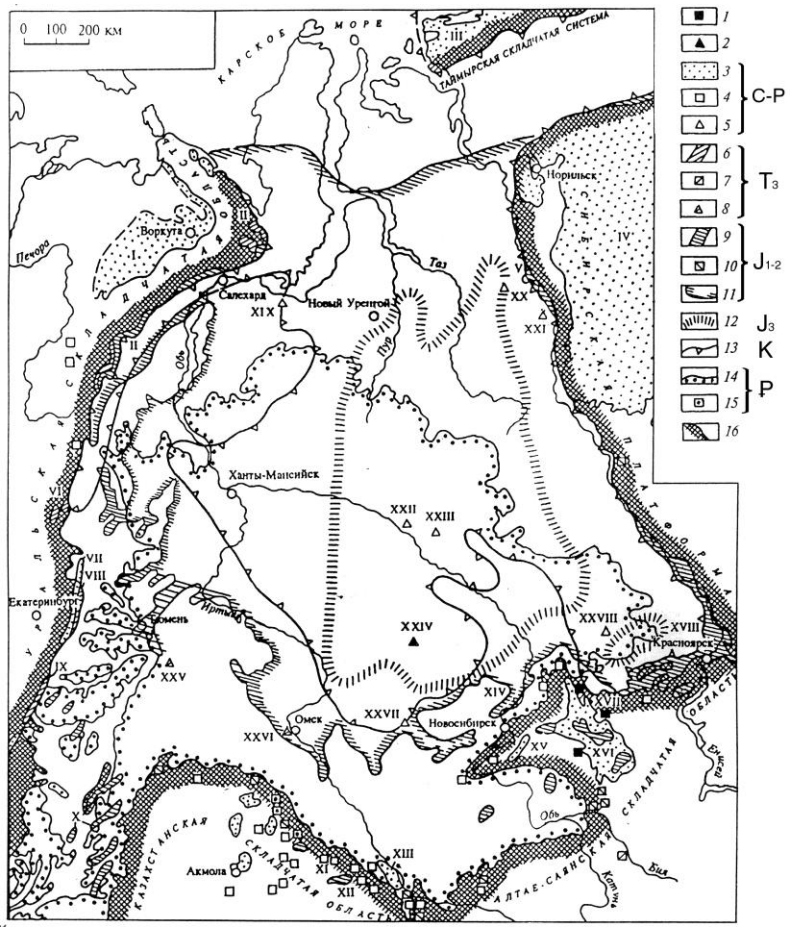


Рис. V.3.7. Схема угленосности Западно-Сибирского бассейна и смежных территорий (Западно-Сибирский…, 2003):

Угленосные отложения девонского возраста: *1* – на современном эрозионном срезе, *2* – вскрытые буровыми скважинами под более молодыми отложениями; угленосные отложения каменноугольного и пермского возраста: *3* – на современном эрозионном срезе, выражающиеся в масштабе схемы, *4* – то же, не выражающиеся в масштабе, *5* – вскрытые буровыми скважинами под более молодыми отложениями; угленосные отложения позднетриасового возраста: *6* – на современном эрозионном срезе, выражающиеся в масштабе схемы, *7* – то же, не выражающиеся в масштабе, *8* – вскрытые буровыми скважинами под более молодыми отложениями; угленосные отложения ранне-среднеюрского возраста: *9* – на современном эрозионном срезе, выражающиеся в масштабе схемы, *10* – то же, не выражающиеся в масштабе, *11* – контур распространения под более молодыми отложениями; *12* – угленосные отложения позднеюрского возраста; *13* – угленосные отложения мелового возраста; угленосные отложения палеогенового и неогенового возраста: *14* – контур распространения, *15* – площади, не выражающиеся в масштабе карты; *16* – выходы складчатого основания Западно-Сибирского бассейна; угленосные бассейны, площади, районы: I – Печорский бассейн, II – Сосьвинско-Салехардская площадь, III – Таймырский бассейн, IV – Тунгусский бассейн, V – Туруханский район, VI – Серовский район, VII – Егоршинско-Каменский (Среднезауральский) район, VIII – Буланаш-Елкинский район, IX – Челябинский бассейн, X – Тургайский бассейн, XI – Экибастузский бассейн, XII – Майкюбенский бассейн, XIII – Прииртышский район, XIV – Базойский район, XV – Горловский бассейн, XVI – Кузнецкий бассейн, XVII – Барзасский район, XVIII – Канско-Ачинский бассейн; площади нефтепоискового бурения: XIX – Ярудейская, XX – Ермаковская, XXI – Туруханская, XXII – Надеждинская, XXIII – Вартовская, XXIV – Нижнетабаганская, XXV – Заводоуковская, XXVI – Омская, XXVII – Барабинская, XXVIII – Чулымская

V.4. ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Восстановление истории геологического развития любого региона является прерогативой **палеогеографии**, основные представления о которой изложены в IV.8. Основным результатом палеогеографических реконструкций являются **карты** различных масштабов и детальности.

V.4.1. Основные комплекты палеогеографических карт Западной Сибири

В принципе почти любая полнопрофильная геологическая работа по изучению некоторого геологического объекта осадочного генезиса завершается заключением об условиях его формирования в виде разрезов и карт формата 2D. В последние годы такое представление дается в модельном виде 3D (см. IV.13). Все это в полной мере относится и к Западно-Сибирскому осадочному мегабассейну. При всем обилии конкретных реконструкций отдельных объектов разного масштаба и объема, имеется не очень много их **полных наборов**, дающих представления обо всей истории мезозойско-кайнозойского осадочного чехла Западной Сибири.

A. Вплоть до настоящего времени продолжают использоваться литолого-палеогеографические карты, составленные большим коллективом сотрудников **ЗапСибНИГНИ** под руководством И. И. Нестерова (ред.). Будучи датированными 1974 г., они собраны в соответствующем **атласе** (Атлас …, 1976). Всего он содержит 23 карты несколько различного стратиграфического объема – от части яруса (под названием века) до 2.5 ярусов. Полноценное представление о выполненных реконструкциях дает одна из карт (рис. V.4.1).

B. Серии погоризонтных палеогеографических схем Западной Сибири для нижнеплитного этажа (нижняя – средняя юра) выполнены сотрудниками **СНИИГГиМСа** – вначале для юго-восточных районов (Седиментогенез …, 1999), а затем всей территории (Геологическое …, 2005). На рис. V.4.2 приведена завершающая карта из общего комплекта в количестве 10 реконструкций.

C. Две серии палеогеографических карт Западной Сибири опубликованы коллективом сотрудников **Института нефтегазовой геологии и геофизики** им. А. А. Трофимука (ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск). *Первая* из них относится к юрскому периоду и содержит 9 карт, в основном отвечающих конкретному ярусу. На рис. V.4.3 приводится реконструкция батского яруса, явно уступающая в детальности приведенным выше. Эту схематичность несколько нивелируют специальные реконструкции для отдельных частей бата, показанные на рис. V.4.4.

На *второй* серии карт представлены реконструкции для отдельных горизонтов мелового периода: либо яруса, либо его части. На рис. V.4.5 приведена одна из 13 карт, относящаяся к самому раннему (нижнему) меловому интервалу, а в табл. V.4.1 – сводная характеристика выделенных палеоландшафтов в динамике ее изменения. Последние сведения иллюстрируют отчетливое сглаживание рельефа, начавшееся в готериве и завершившееся в апте.

D. Достаточно интересные обобщающие палеогеографические реконструкции представлены в работе (И. Н. Гайворонский и др., 2003). На 7 картах, охватывающих довольно значительные стратиграфические интервалы, показаны обобщенные схемы, сопровождающиеся характеристикой коллекторских свойств пластов (рис. V.4.6, V.4.7).

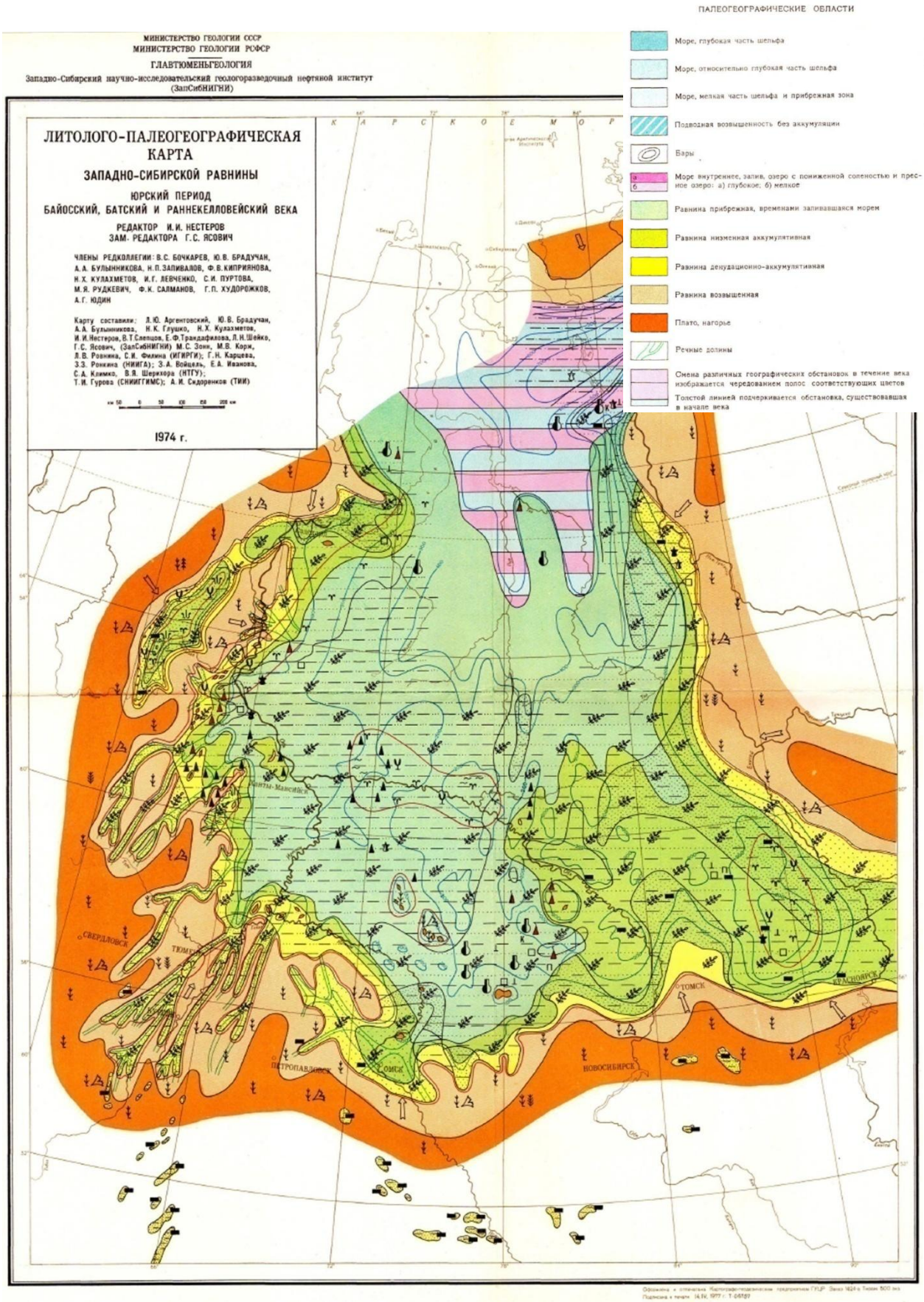


Рис. V.4.1. Литолого-палеогеографическая карта финальной части нижнеплитного комплекса Западно-Сибирского осадочного мегабассейна (Атлас…, 1976)

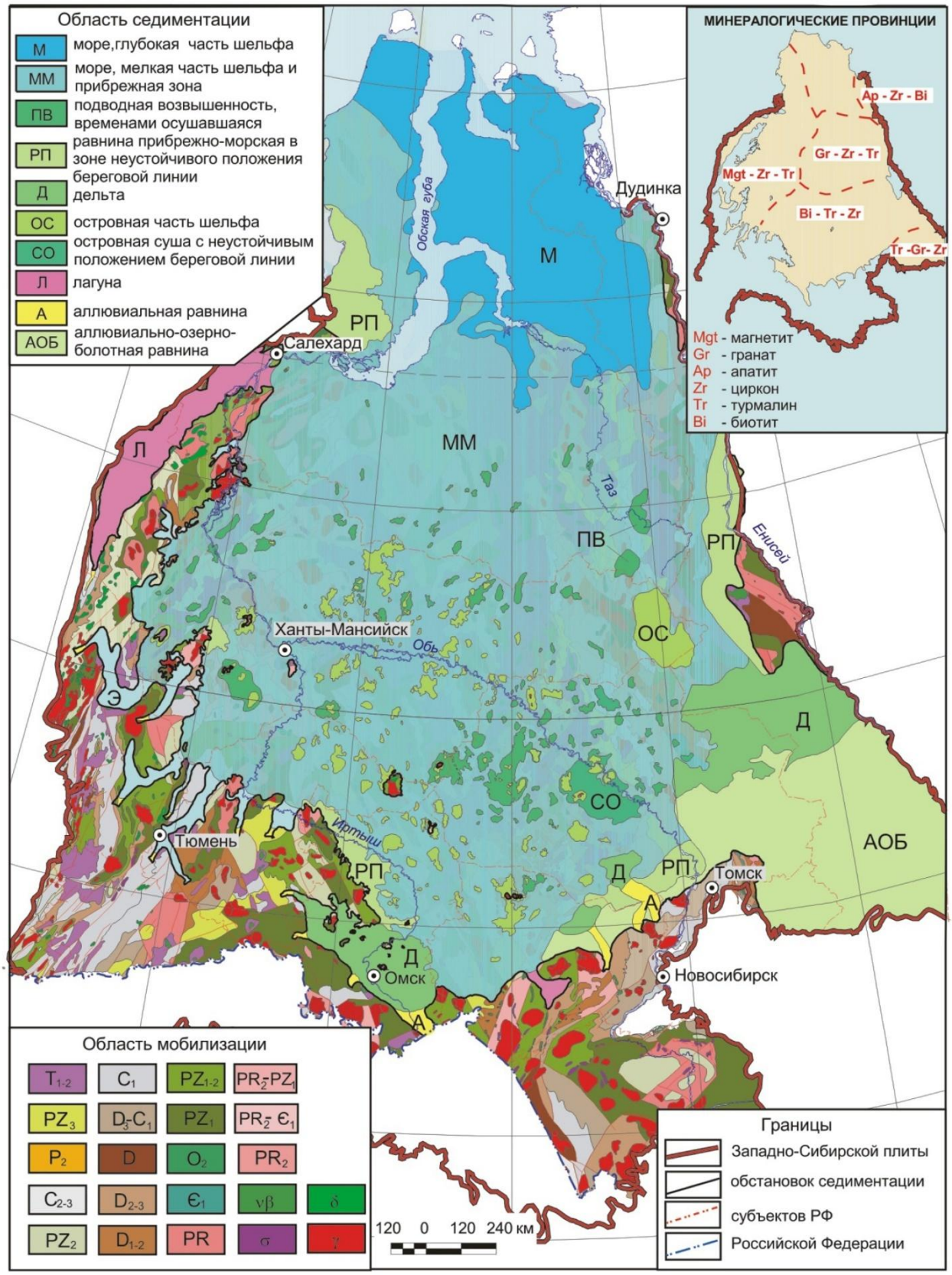


Рис. V.4.2. Палеогеографическая схема малышевского горизонта (Геологическое …, 2005). Составители: В. П. Девятов, А. М. Казаков, Л. В. Смирнов, Л. Г. Смирнова, В. С. Сурков, Г. Г. Сысолова

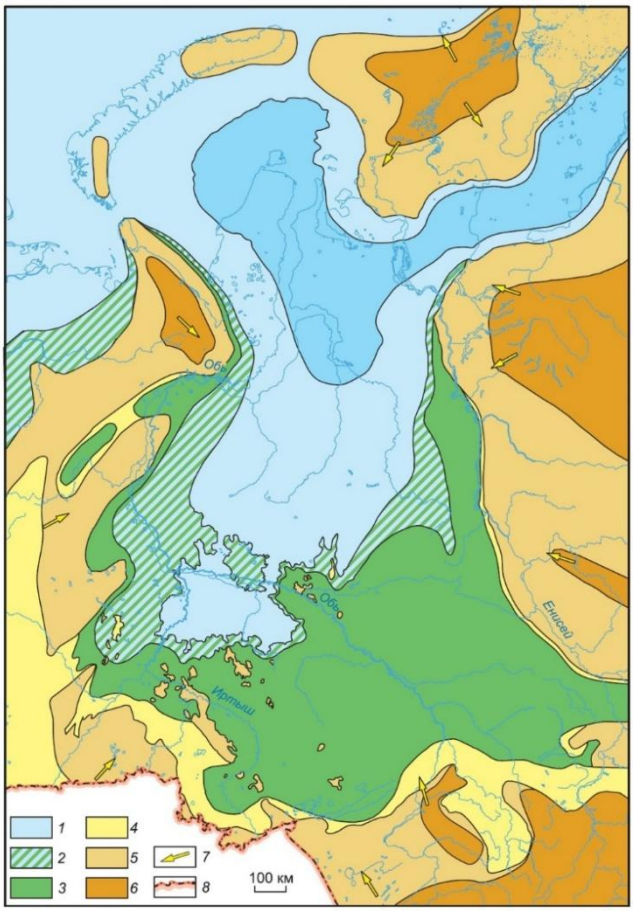


Рис. V.4.3. Палеогеографическая схема Западной Сибири, бат (А. Э. Конторович и др., 2013): *1-6* – палеогеографические области: области морского осадконакопления: *1* – море мелкое глубиной менее 25 м; области переходного осадконакопления: *2* – равнина прибрежная, временами заливавшаяся морем (осадки пойменные, озерно-болотные, русловые, дельтовые, береговых баров, пляжевые); области континентального осадконакопления: *3* – равнина низменная, аккумулятивная (осадки русел, пойм, озер и др.); *4* – равнина денудационно-аккумулятивная; области размыва: *5* – равнина возвышенная (денудационная суша), *6* – горы низкие, *7* – главные направления сноса обломочного материала, *8* – Государственная граница

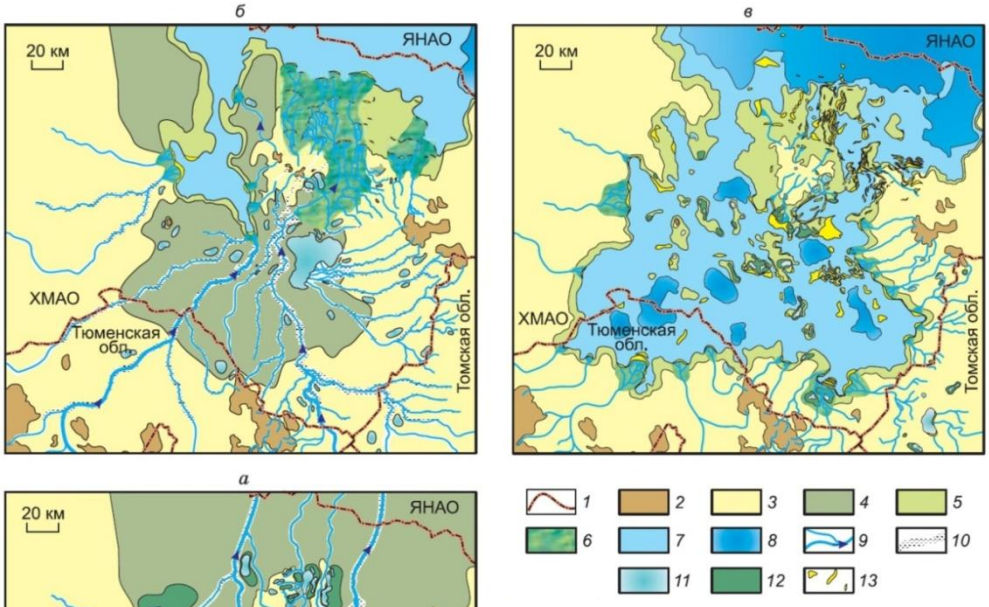


Рис. V.4.4. Палеогеографические карты центральных и южных районов Западно-Сибирского бассейна на время формирования: *а* – нижней части, *б* – средней части, *в* – верхней части горизонта $Ю_2$ (бат) (А. Э. Конторович и др., 2013). *1* – административные границы; *2-8* – палеогеографические области: области размыва: *2* – денудационная суша; области континентального осадконакопления: *3* – аккумулятивная озерно-аллювиальная равнина, *4* – аккумулятивная аллювиально-озерно-болотная равнина; области переходного осадконакопления: *5* – побережье, *6* – дельта; области морского осадконакопления: *7, 8* – мелкое море: *7* – глубина менее 10 м, *8* – глубина 10-20 м; *9-13* – палеоландшафтные элементы: *9* – русла, флювиальные дельтовые рукава, *10* – поймы, *11* – озера, *12* – болота, *13* – аккумулятивные песчаные тела

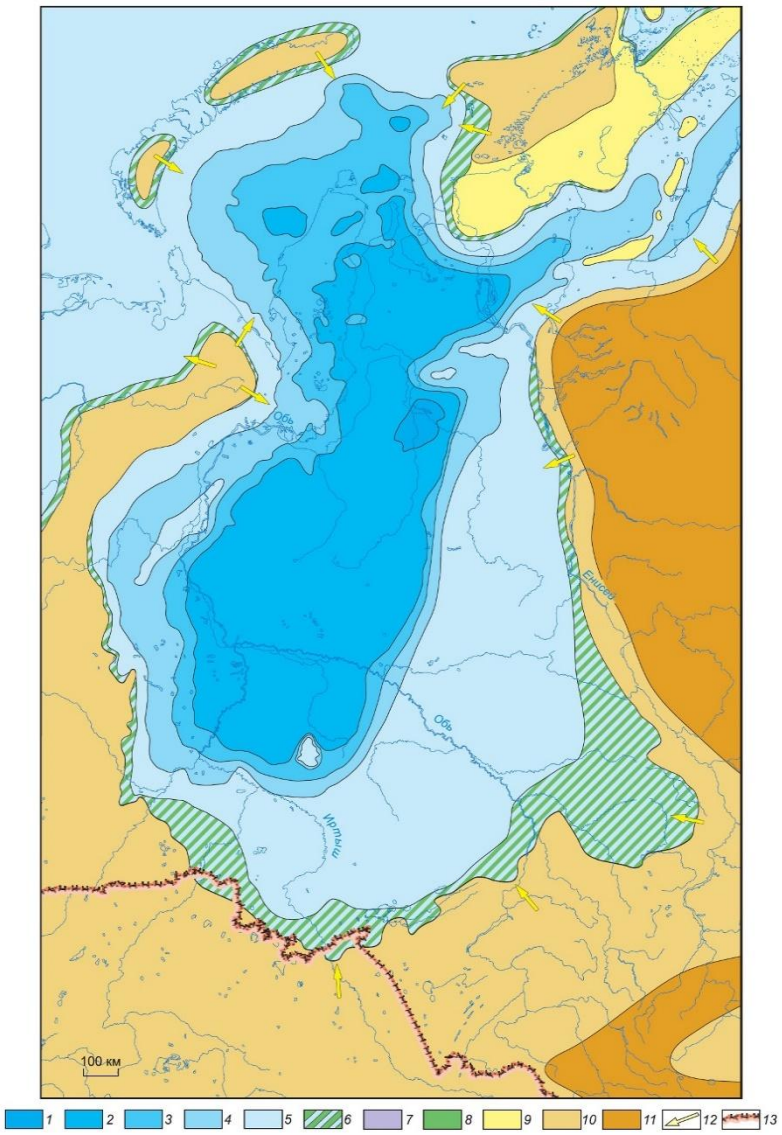


Рис. V.4.5. Палеогеографическая схема Западной Сибири, берриас (А. Э. Конторович и др., 2014): *1-11* – палеогеографические области: области морского осадконакопления: *1* – море глубокое, более 400 м; *2* – море глубокое 200-400 м; *3* – море мелкое, 100-200 м; *4* – море мелкое. 25-100 м; *5* – море мелкое, менее 25 м; *6* – области переходного осадконакопления: равнина прибрежная, временами заливавшаяся морем (осадки пойменные, озерно-болотные, русловые, дельтовые, береговых баров, пляжевые); 7 – внутренние водоемы: пресные, временами засолонявшиеся; области континентального осадконакопления: *8* – равнина низменная, аккумулятивная (осадки русел, пойм, озер и др.); *9* – равнина денудационно-аккумулятивная; области размыва: *10* – равнина возвышенная (денудационная суша), *11* – горы низкие, *12* – главные направления сноса обломочного материала, *13* – Государственная граница

Таблица V.4.1

Площади палеогеографических областей мелового периода Западной Сибири, тыс. км^2 (А. Э. Конторович и др., 2014)

Время	Низкие горы	Равнина				Внутренние пресные водоемы	Море					Общая площадь моря	Общая площадь бассейна
		возвышенная	денудационно-аккумулятивная	низменная, аккумулятивная	прибрежная		прибрежная часть, 0—25 м	мелкое, 25—100 м	мелкое, 100—200 м	глубокое, 200—400 м	глубокое, более 400 м		
Позднекампан-маастрихт-датское	0	1710	450	390	430	0	1640	830	0	0	0	2470	3290
Кампанское	0	1690	250	450	165	0	1430	1490	0	0	0	2920	3535
Среднепозднетуронское	80	1780	295	530	290	0	1575	1020	0	0	0	2595	3415
Раннетуронское	80	1730	310	460	260	0	1110	1630	0	0	0	2740	3460
Сеноманское	470	1300	350	1100	1130	0	1290	0	0	0	0	1290	3520
Раннесреднеальбское	690	1260	300	950	790	0	1110	410	0	0	0	1520	3260
Позднеаптское	730	1260	320	1720	550	0	900	0	0	0	0	900	3170
Раннеаптское	680	1270	320	1530	670	0	900	160	0	0	0	1060	3260
Барремское	730	1030	440	1160	590	890	540	130	0	0	0	670	3310
Готеривское	760	1070	500	90	840	380	1110	230	290	245	0	1875	3185
Поздневаланжинское	860	1500	150	0	580	440	1230	300	280	340	0	2150	3170
Ранневаланжинское	700	1620	150	0	360	130	1300	370	320	570	0	2560	3050
Берриасское	520	1850	170	0	350	0	1140	490	320	675	10	2635	2985

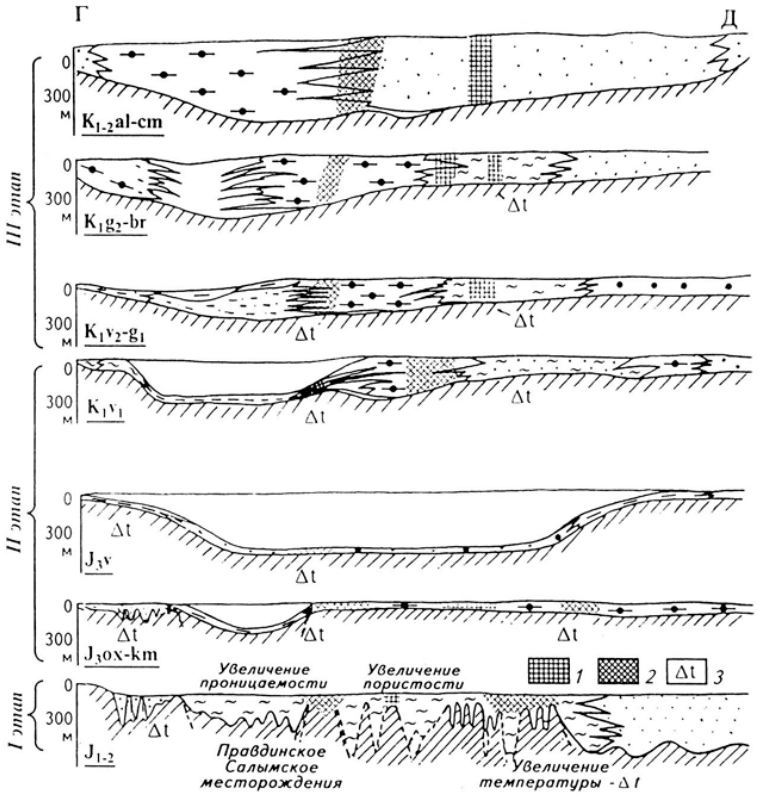


Рис. V.4.6. Схема эволюции обстановок аккумуляции осадков (субширотные разрезы по Западной Сибири) (И. Н. Гайворонский и др., 2003)

Зоны трещиноватости с относительным увеличением: *1* – пористости, *2* – проницаемости, *3* – температуры. Границы зон условные.

Остальные обозначения см. рис. V.4.7

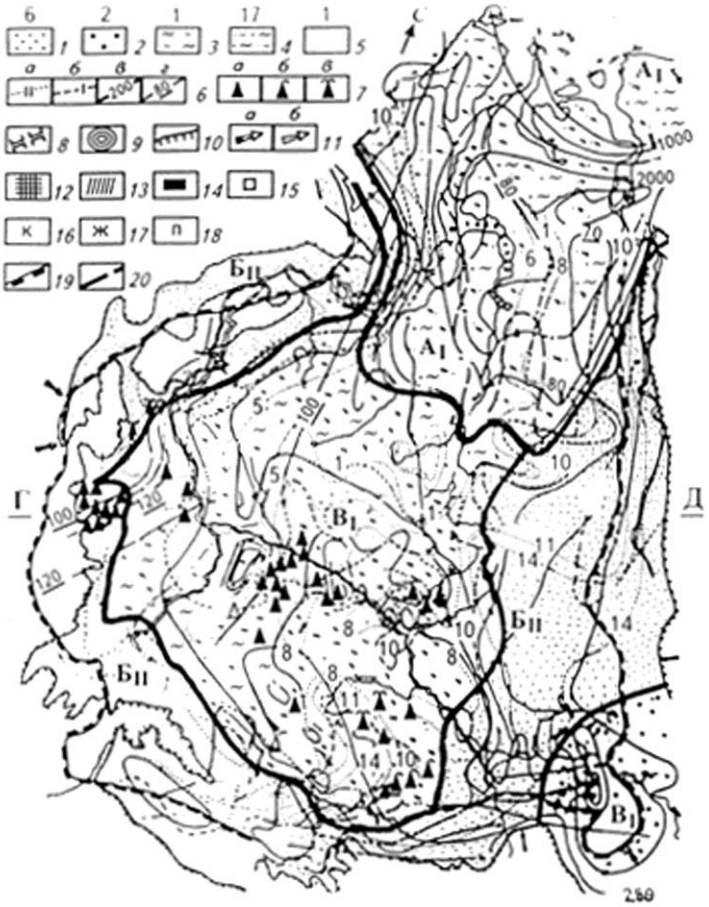


Рис. V.4.7. Седиментационно-динамическая схема нижнеюрских-нижнекелловейских литофациальных комплексов (с коллекторскими свойствами пластов) (И. Н. Гайворонский и др., 2003).

Обстановки с низкой скоростью осадконакопления и высокой динамикой среды переноса и седиментации ($Б_{11}$): *1* – континентальный и прибрежно-континентальный комплекс, глинисто-алевритовые и на 60-80 % песчаные линзовидно-слоистые отложения; *обстановки с переменной скоростью осадконакопления и переменной динамикой среды седиментации* ($В_1$): *2* – прибрежно-континентальный комплекс, песчано-алеврито-глинистые известковистые угленосные отложения, линзовидно-слоистые, *3* – континентальный комплекс, алеврито-глинисто-песчаные угленосные грубослоистые породы; *обстановки с высокой скоростью осадконакопления и переменной динамикой среды седиментации* ($А_1$): *4* – прибрежно- и мелководно-морской комплекс, песчано-алеврито-глинистые угленосные горизонтально-слоистые отложения, *5* – номер модели седиментационно-динамического комплекса; *6* – изолинии эффективной пористости, % (*а*), абсолютной проницаемости, $фм^2$ (*б*), толщины комплексов, м, (*в*), температуры на срезе 3 км, °С, (*г*); *7* – месторождения нефти (*а*), газоконденсата (*б*), газа (*в*); *8* – речные долины; *9* – бары; *10* – границы зон отсутствия седиментации; *11* – направления сноса обломочного материала: главные (*а*), второстепенные (*б*); *12* – участки интенсивного прогрева пород; *13* – зоны размыва; *14-18* – аутигенные минералы, конкреции и другие показатели седиментационной обстановки: *14* – угли, лигниты, *15* – сидерит, *16* – каолинит, *17* – первичная красноцветность, *18* – пирит, *19* -- граница Запално-Сибирского нефтегазоносного бассейна; *20* – границы групп комплексов, формировавшихся в обстановках с единой градацией скорости осадконакопления и динамики среды седиментации

V.4.2. Палеогеографические реконструкции для перестроек режима осадконакопления

Реконструкции, представленные в предыдущем разделе, выполнены для достаточно значительных интервалов времени, что полностью соответствует принципам и методике построения палеогеографических карт (см. п. IV.8.2). «Сужение» временно́го диапазона может привести к ошибкам в построениях, что было показано в п. IV.8.3 (см. рис. IV.8.8, IV.8.9). Избежать этого возможно посредством построения карт для этапов осадконакопления, имеющих переломный или импульсный, то есть заведомо кратковременный характер.

Удачный пример таких реконструкций «на этапах основных перестроек» приведен в статье (В. П. Девятов и др., 2011). На рис. V.4.8 приведена одна из четырех карт, отвечающая периоду максимального разнообразия палеоландшафтов на территории Сибири в целом.

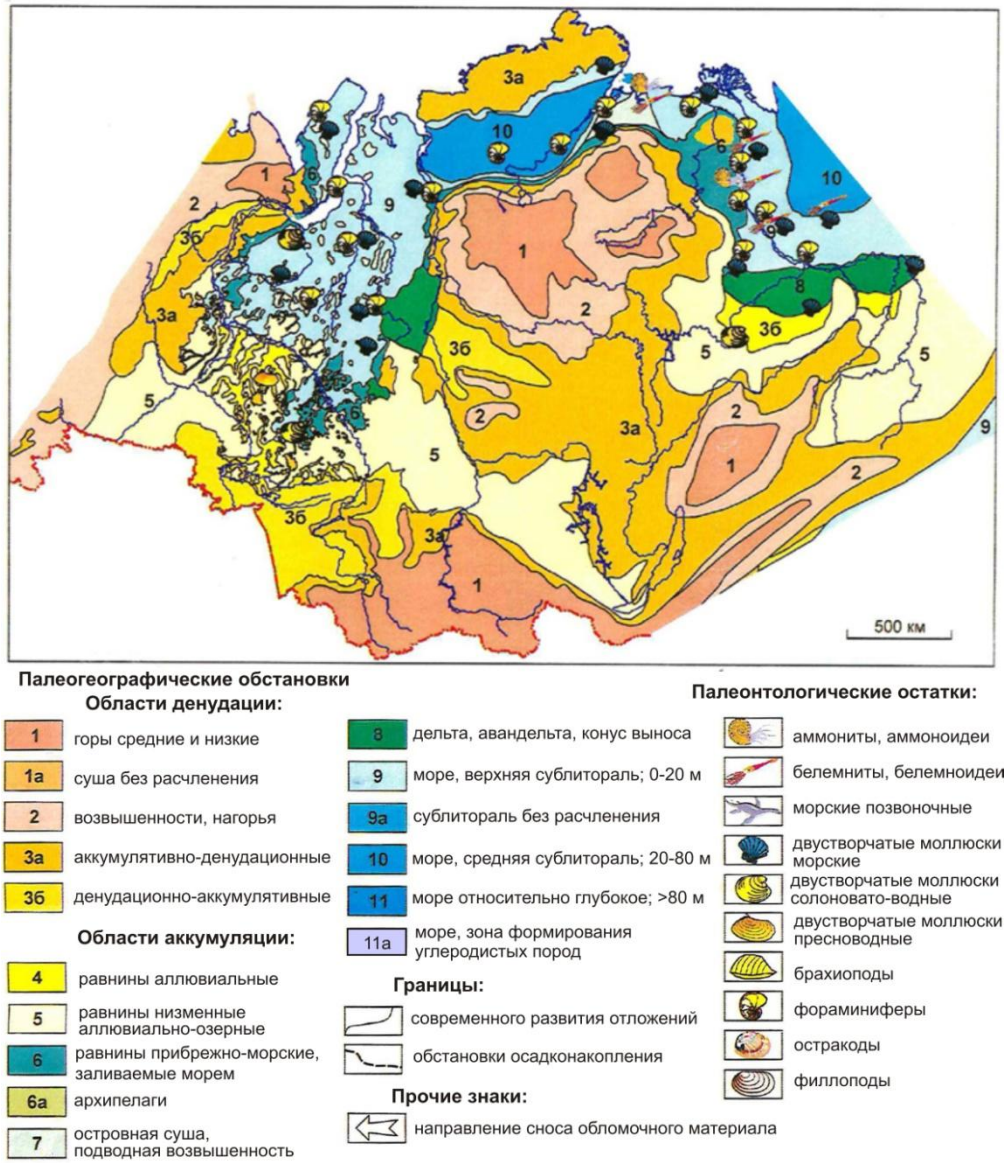


Рис. V.4.8. Палеогеографическая схема Сибири на вымское время (конец позднего аалена – начало байоса)

Именно таким реконструкциям временны́х отрезков, имеющих как можно ме́ньшую длительность, необходимо уделять особое внимание. В принципе им отвечают границы литоциклов любых порядков, которые тоже характеризуются возрастным скольжением. Однако градиент последнего сегодняшними методами «поймать» невозможно.

НЕФТЕГАЗОЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ: ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ И ФАЦИАЛЬНЫЕ «ИЗЮМИНКИ»

V.5. ДОЮРСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И НИЖНЯЯ ЗОНА КОНТАКТА

Характеризуемые комплексы соответствуют внутреннему палеозою, триасу (№№ 12 и 11 на рис. V.3.2), а также нижнему положению НГГЗК (№ 10 на рис. V.3.2).

V.5.1. Общие представления; внутренний палеозой

Г. А. Черновой и А. В. Тугаревой (2013) выделено пять групп доюрских пород, с позиций их перспективности на формирование коллекторов.

1 группа – породы, наиболее благоприятные как коллекторы, – это карбонатные отложения (известняки, доломиты, доломитизированные известняки, в том числе биогермные постройки среднего-верхнего девона и нижнего карбона);

2 группа – породы, благоприятные как коллекторы, – эффузивные и интрузивные породы, преимущественно кислого состава (разнообразные лавы, туфы, туффиты, игнимбриты пермо-триасового и триасового возраста, а также гранитоиды палеозойского возраста);

3 группа – промежуточная – метаморфические породы, представленные сланцами глинисто-кремнистыми, глинистыми с прослоями метапесчаников, метааргиллитов; кремнистыми сланцами контактово-измененными вблизи интрузий и древними протерозойскими сланцами. Благоприятным фактором является активная тектоника;

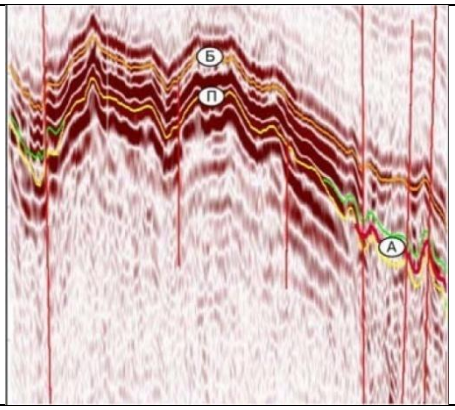
4 группа – в единичных случаях могут быть коллекторами – интрузивные породы ультраосновного состава (серпентиниты) в зонах трещиноватости;

5 группа – породы, не благоприятные для формирования коллекторов, – эффузивные породы основного состава – базальты, глинистые сланцы, филлиты, глинистые известняки. При выветривании этих пород могут образовываться глинистые покрышки.

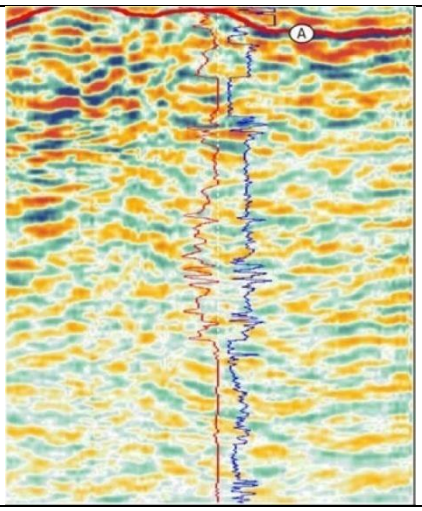
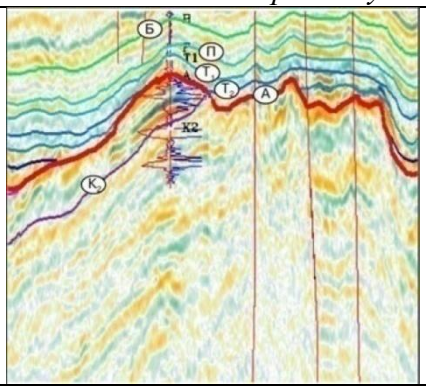
Для определения условий формирования отложений наиболее перспективен **сейсмофациальный анализ** (см. II.3.2), представления о котором дают сведения, приведенные в табл. V.5.1.

Таблица V.5.1

Сейсмогеологическая характеристика доюрского комплекса Шаимского НГР (Н. К. Курышева, 2005, с сокращениями). Приведены 3 типа из 10, выделенных автором

Тип волнового поля	Фрагмент временного разреза	Сейсмические параметры (конфигурация, взаимное расположение отражений, их непрерывность, амплитуда, частота)	Вещественный состав доюрских пород, степень их дислоцированности	Стратиграфическая привязка, возраст
I		Сейсмофация хаотических с разными углами наклона отражений или их отсутствия	Сильно дислоцированные метаморфические и изверженные породы (кварц-серицитовые, кварц-амфиболовые, хлорит-серицитовые сланцы, гранито-гнейсы)	Поздний протерозой – ранний палеозой PЄ-O

Окончание табл. V.5.1

Тип волнового поля	Фрагмент временного разреза	Сейсмические параметры (конфигурация, взаимное расположение отражений, их непрерывность, амплитуда, частота)	Вещественный состав доюрских пород, степень их дислоцированности	Стратиграфическая привязка, возраст
III		Сейсмофации малоамплитудных протяженных, либо коротких отражений; сейсмофации холмообразных отражений	Среднедислоцированные терригенные, терригенно-карбонатные породы (известняки, алевролиты, песчаники)	Средний верхний девон $Д_{2-3}$; нижний карбон $С_1$
Промежуточный структурный этаж				
VIII		Наклонное и субгоризонтальное расположение параллельно-волнистых, переменно-амплитудных отражений	Вулканогенно-терригенные с преобладанием базальтов	Нижний-средний триас $Т_1 – Т_2$

На рис. V.5.1 и V.5.2 приведены сжатые сведения о карбонатных отложениях фундамента ЗСП и их нефтегазоносности.

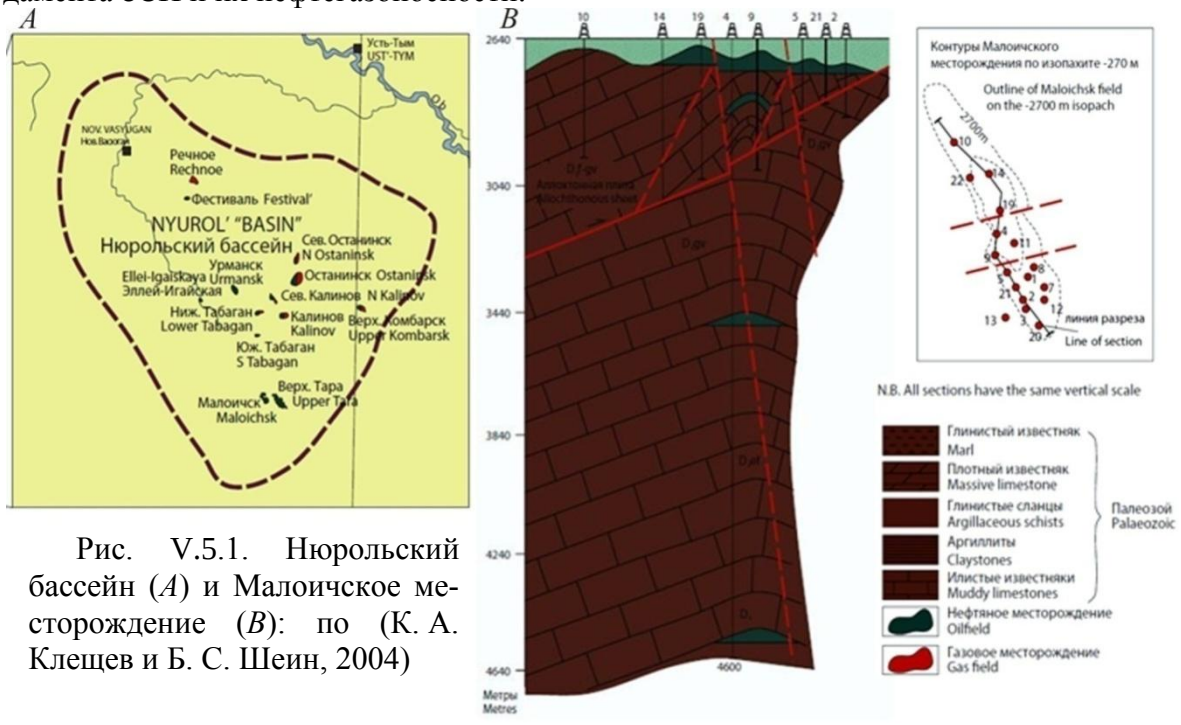
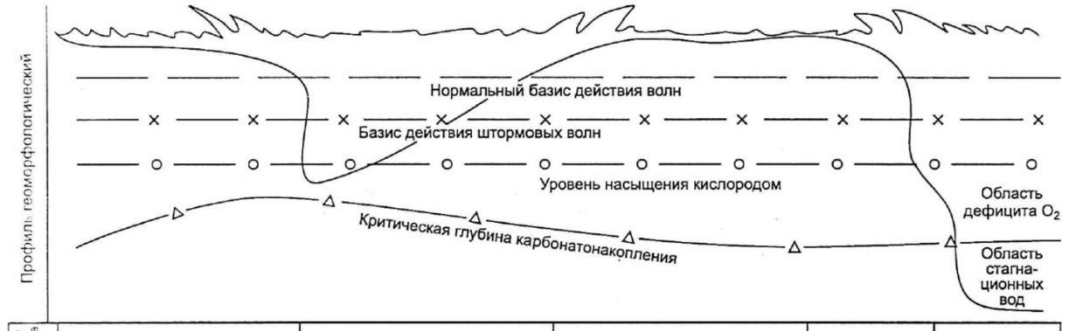


Рис. V.5.1. Нюрольский бассейн (*A*) и Малоичское месторождение (*B*): по (К. А. Клещев и Б. С. Шеин, 2004)

Идеализированный фациальный профиль морских обстановок в силуре-девоне (приведен с сокращением).



Элементы литофациального ландшафта	Береговая клиноформа (литораль)		Бассейн внутришельфовый (лагуна)		Рифовая платформа (ундаформа)		Передовой склон предрифовый	Бассейн открытый
Номер фациального пояса	Плато (до супралиторали)	Склон	Центральная зона	Склон	Плато	Фронт рифа		Трог
	1	2	3	4	5	6	7	8
Комплекс типичных литологических разностей, порід, структур	Строматолиты, желваковые доломиты, водоросли, корки, красноцветные терригенно-карбонатные отложения	Водорослевые маты, намывные пляжи, отмели, ламиниты, биотурбилиты, пеллетовые оолитовые грейнстоуны, полосчатые аргиллиты, косослоистые вакстоуны	Керогеновые микриты, толстослоистые кальцисилтиты, биокластические вакстоуны, штормовые калькаренититы, сланцевый комплекс	Осадочные брекчиевидные известняковые песчаники, чередование пак-вакстоунов с аргиллитами, биокласты с аренитом, полосчатые известняки и биотурбилиты	Высокоэнерг. грейнстоуны, онколиты и калькаренититы, крупно-среднеслоистые биокластиты с аренитом, полосчатые известняки и биотурбилиты	Баундстоуны, биолититы, кораллово-водорослевые бафлстоуны, в интерстициях биокластиты, массивные известняки и доломиты	Кластическая осыпь с рифа, кальцирудиты, дебриты, брекчии, клинокластические известняки, оползневые породы	Ритмично-слоистые высокоуглеродистые породы, кремнистые доломитовые илы, ламиниты, темпериты, турбидиты, сопрапелиты, спикулиты, эоловые осадки
Характерный комплекс ископаемых организмов	Строматолиты, наземные растительные остатки, раки, инфауна, остракоды	Водорослевые инкрустаторы, губки, мшанки, сверлящие и зарывающие организмы	Бентосные фораминиферы, двустворки, гастроподы, угнетенная биота, следы сверления, тентакулиты, конодонты	Узкоспец. бентос, водоросли, биотурбаторы, строматопораты	Моллюски, водоросли, фораминиферы, узкоспец. кораллы, мшанки, строматопораты, деструкторы	Табуляты, строматопораты, бентосные фораминиферы, синезеленые и красные водоросли, рифолюбы, конструкторы	Ветвистые строматопораты, кораллы, водоросли, губки, серпулиды, мшанки, раки	Конодонты, губки, радиолярии, рыбы, планктон, фораминиферы, остракоды, тентакулиты
Динамика литификации	Хардграунды отсутствуют вследствие мощной волновой абразии, поверхностной абразии, а также избытка кислорода и осадочного материала		Диастемы редки, они фиксируются колонизацией бентоса или литификацией РОВ	Приостановки или диастемы диагностируются по развитию биотурбилитов	Перерывы в осадконакоплении фиксируются по развитию карбонатного пелита в карсте, признакам волновой абразии, наличию карманов в каркасе		Диастемы наблюдаются по развитию водорослевых инкрустаторов	Хардграунды фиксируются литификацией РОВ или кремнезема

Рис. V.5.2. Пример использования фациальных реконструкций карбонатных отложений (см. II.14; III.3) при изучении юго-востока Западно-Сибирской плиты (Нюрольская впадина: см. рис. V.5.1) и других объектов (Г. Д. Исаев, 2006, с. 63)

V.5.2. Триасовый нефтегазоносный комплекс

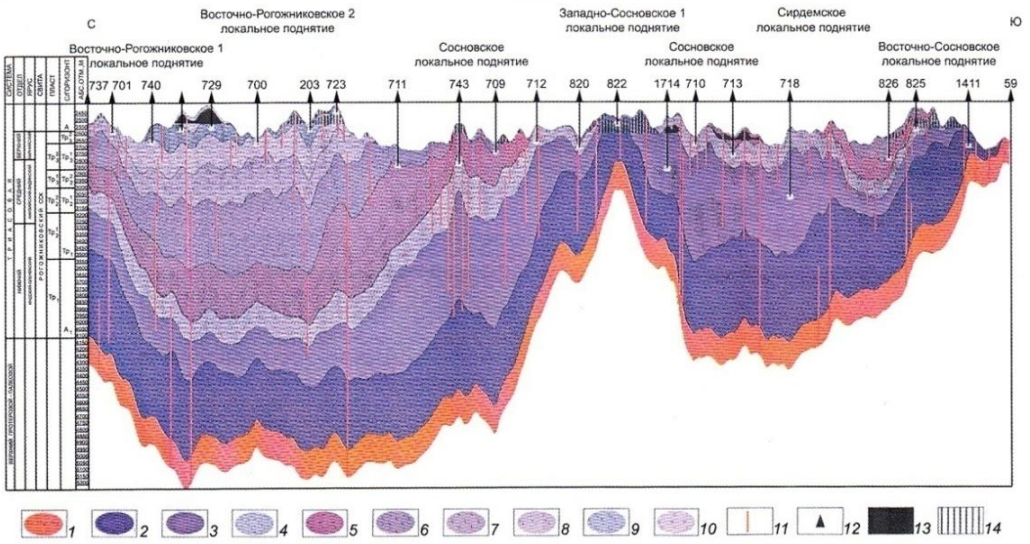


Рис. V.5.3. Геологический профиль (триасовый комплекс), Рогожниковская площадь с выявленными и прогнозируемыми залежами УВ (И. М. Кос и др., 2004).

Вещественный состав пород: *1* – метаморфические сланцы, гнейсы, гранито-гнейсы, граниты (верхний протерозой-палеозой); **Рогожниковский сейсмостратиграфический комплекс (триас)**: *2* – нижний преимущественно терригенный подкомплекс $Тр_1$: *3–4* – средний риолитовый подкомплекс $Тр_2$: *5–10* – верхний вулканогенно-терригенный подкомплекс $Тр_3$; Прочие: *11* – разрывные нарушения; *12* – пробуренная скважина; *13* – установленная залежь нефти; *14* – прогнозная залежь нефти

Помимо установления *сейсмофаций*, существенное значение имело бы и установление фаций вулканогенных пород в том ключе, который был охарактеризован в п. II.15.3. В дополнение к нему в табл. V.5.2 приведена классификация вулканогенных фаций, разработанная для уральских объектов. Возможность использования имеющихся материалов для реконструкции обстановок осадконакопления отчасти иллюстрирует рис. V.5.4. В качестве примера можно привести следующее определение, опирающееся на детальное описание более чем 500-метрового интервала триасовых пород, вскрытых скв. 50 Тевлинско-Русскинского месторождения.

«Исходя из строения, в истории развития эффузивной толщи просматривается многостадийность формирования куполовидной стратифицированной вулканической постройки с периодами излияния лав, взрывной деятельности и затишья. … Породы липаритовых субформаций свойственны структурам активизации платформенных участков земной коры. Преобладание субвулканических фаций (лавы и лавовые потоки) над эксплозивными (покровы из пирокластических пород) характерно для извержений центрального конусовидного типа. Извержения магмы происходили через отдельные кратковременно существующие центры извержения, расположенные вдоль разломов в пределах антиклинальных зон. Субвулканиты и особенно эксплозивы, формируясь в приразломных эруптивных центрах, заполняли межантиклинальные пространства ранее созданного рельефа. Для прогноза важен вывод о том, что элементы строения эффузивной постройки имеют, видимо, широкое распространение (на многие сотни километров)» (В. Г. Евсюков и др., 2002).

Таблица V.5.2

Классификация вулканических фаций (В. А. Коротеев и др., 1986, с. 8)

См. также табл. II.15.3.

Генетический тип фаций	Фация		Морфология тел	Характерные признаки и типичные представители
Приповерхностно-интрузивный	Субвулканическая		Дайки, штоки, силлы, тела сложной формы	Столбчатая отдельность, согласные и секущие контакты, полнокристаллические структуры внутренних частей и закаленные зальбанды, автомагматические брекчии
	Жерловая		Некки, дайки, силлы	Секущие контакты, массивное и брекчиевое сложение, эндоконтактовая полосчатость, агглютинаты
	Экструзивная		Купола, обелиски	Куполовидное строение, секущие контакты, флюидальность, иногда столбчатая отдельность
Эффузивный	Наземная лавовая		Потоки	Глыбовые, волнистые, черепитчатые и другие лавы, лавовые брекчии, шлаки, вспененные лавы
	Подводная лавовая			Подушечные и компактные лавы, ассоциированные с морскими осадочными образованиями и серией сближенных даек, гиалокластиты
Эксплозивный	Наземная пирокластическая	Мантийная	Пласты, линзы	Грубообломочные туфы, присутствие фигурных бомб
		Удаленная	Пласты, линзы	Мелко- и тонкообломочные туфы, присутствие пепловых градин, игнимбриты, пемзовые туфы
	Подводная пирокластическая	Мантийная	Пласты, линзы	Грубообломочные туфы, наличие сферических бомб зонального строения, ассоциация с подушечными лавами и аквагенными осадками
		Удаленная	Пласты, пачки	Тонко- и мелкообломочные слоистые туфы и турбидито-туфы, переслаивание с морскими осадками и подушечными лавами

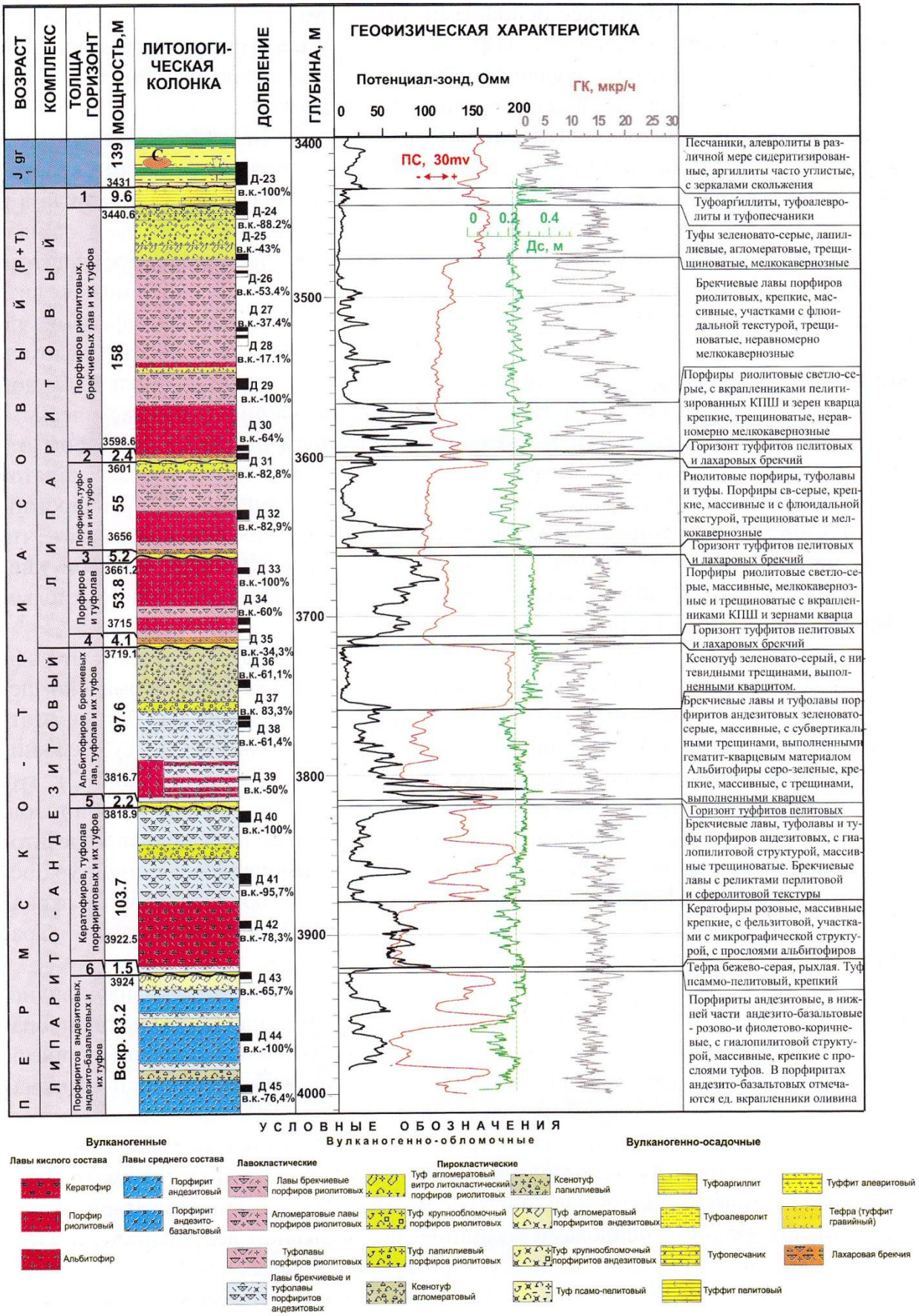


Рис. V.5.4. Геолого-геофизический разрез доюрских отложений по скважине 50П Тевлинско-Русскинского месторождения (В. Г. Евсюков и др., 2002)

V.5.3. Кора выветривания (зона контакта юрского чехла с породами фундамента)

И. И. Гинзбургом в 1950-1960 гг. выдвинуто понятие **формации древних кор выветривания**, в которую он включал не только остаточные и инфильтрационные коры выветривания, но и переотложенные продукты, перенесенные в пределах небольших расстояний в результате механической и химической миграции, т. е. переходные или даже явно осадочные породы, если только их связь с корой выветривания несомненно установлена в виде обломков пород и общих минералов, химических соединений и микроэлементов, характерных для кор выветривания (А. Д. Савко и др., 2007).

На рис. V.5.5 показано соотношение обобщенных формаций. Для «большого цикла» это будут цепочки ABC, DBC и CBC; могут наблюдаться «укороченные циклы»AB, DB и CB, причем наиболее труден для распознавания последний вариант.

Рис. V.5.5. Схема циклов превращения горных пород в области экзогенных процессов: по Б. Б. Полякову, 1956; с дополнениями (А. Д. Савко и др., 2007, с. 16)

Для большинства кор выветривания характерно **зональное строение**, в наиболее полном виде проиллюстрированое в табл. V.5.3. Примеры профилей показаны на рис. V.5.6.

Таблица V.5.3

Схема деления профиля коры выветривания (П. Е. Сынгаевский, С. Ф. Хафизов, 1999)

Зона	В.К. Крумбейн, Л.Л. Слосс (1960)	Н.И. Архангельский (1962)	И.И. Нестеров, Б.С. Погорелов (1971)	Г.А. Каледа (1978)	О.В. Найденов (1989)	Условная литология
Е	Выщелачивание коллоидов и вынос растворимого материала		Зоны конечных продуктов разложения Максимум разложения, образование глинозема, кремнезема и гидроксидов железа. Образование сидерита, кальцита, пирита, лептохлорита, характерно присутствие сферосидерита	Зона лесной подстилки, дерна и собственно почвы. Обогащение ОВ и растительными остатками	Сидеритизация Боксит, железистая кираса (для латеритной коры выветривания). Кремнезем, опал, каолинит, гидрослюда	
Д		Верхняя Красная или обеленная (оксиды железа)		Элювиальная (кремнезем) и иллювиальная (оксиды и гидроксиды)		
Г	Вторичное осаждение вещества, вынесенного из зоны выщелачивания	Средняя Зеленоватая или пе-строцветная (глинистая)	Зона разложения Развитие гипергенных минералов (каолинит, гидрослюда, гидрохлорит, кварц, оксиды железа). Порода представляет собой глинистую массу, сохраняет пятнистость и первоначальную структуру. Основная масса – каолинит, загрязнена гидроксидами железа	Пятнистая (каолинит, монтмориллонит, нонтронит)	Кремнезем, опал, каолинит и реликты	
В	Частично выветрелая материнская порода, переходящая в неизмененную	Нижняя Крупно-средние и мелкие обломки материнских пород	Зона выщелачивания Частичный вынос. Изменения темноцветных минералов, их замещение хлоритом, гидрохлоритом, гидрослюдой; выделение лейкоксена	Зона начального разложения и дезинтеграции	Кремнезем, гидроксиды, оксиды, опал, каолинит, гидрослюды, псевдобрекчии, пятнистая текстура	
Б		Слабые изменения	Зона дезинтеграции (просачивания) Физическое разрушение, изменения по трещинам. Порода разбита на блоки. Текстурные и структурные особенности сохраняются	Физическое разрушение и обесцвечивание пород, образование гидрослюд и карбонатов	Разуплотнение и дезинтеграция	
А	Неизмененная часть материнской породы					

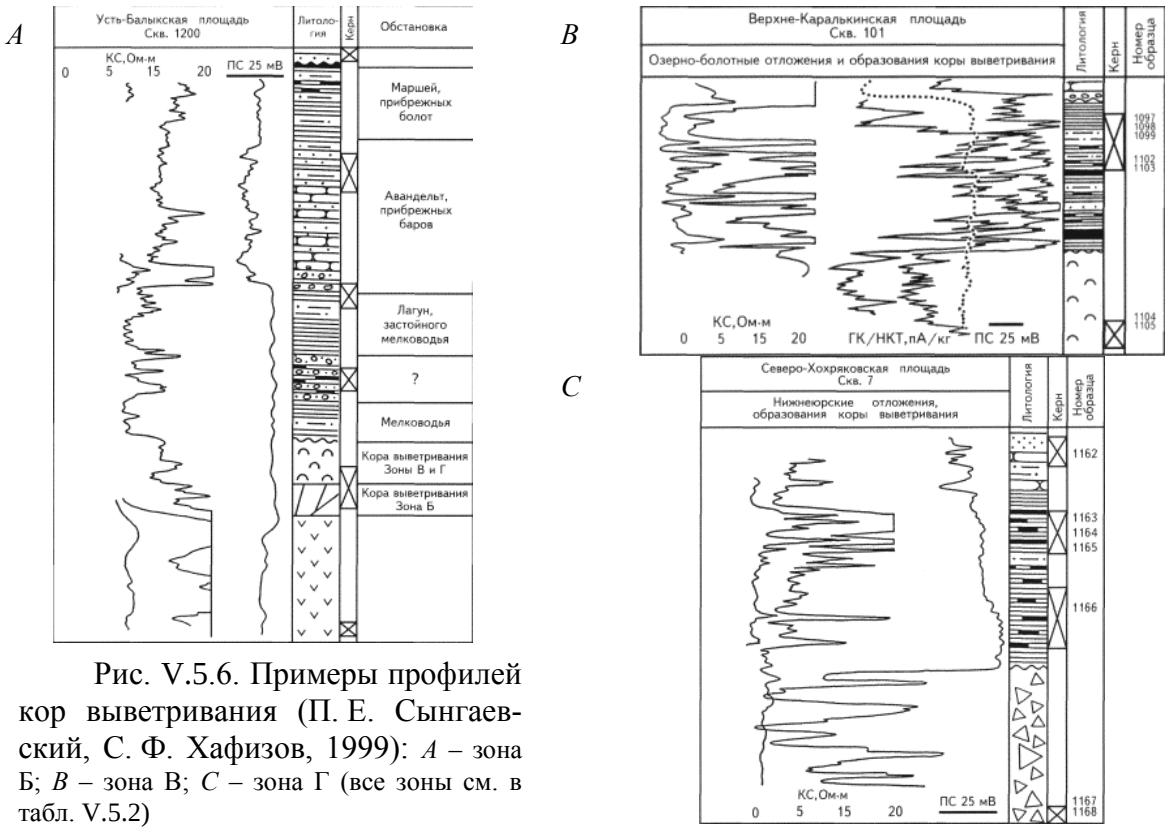


Рис. V.5.6. Примеры профилей кор выветривания (П. Е. Сынгаевский, С. Ф. Хафизов, 1999): *A* – зона Б; *B* – зона В; *C* – зона Г (все зоны см. в табл. V.5.2)

На рис. V.5.7 показано **наложение** коры выветривания на различные породы фундамента, свидетельствующее об определенных закономерностях. Так, гранитоидные, гранодиоритовые и риолитовые магматические тела, подвергаясь гипергенным процессам, создают предпосылки к образованию коллекторов с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС). Таким образом, зоны выхода глинисто-кремнистых и магматических пород кислого состава на поверхность фундамента следует рассматривать как зоны распространения улучшенных коллекторов. Образование коры выветривания по породам аспидной формации, как и по глинисто-сланцевым формациям, не способствует формированию хороших коллекторов. Коллекторы с неблагоприятными ФЕС формируются в коре выветривания, образованной по магматическим породам основного состава и по породам глинисто-сланцевой формации (Г. А. Лобова и др., 2015).

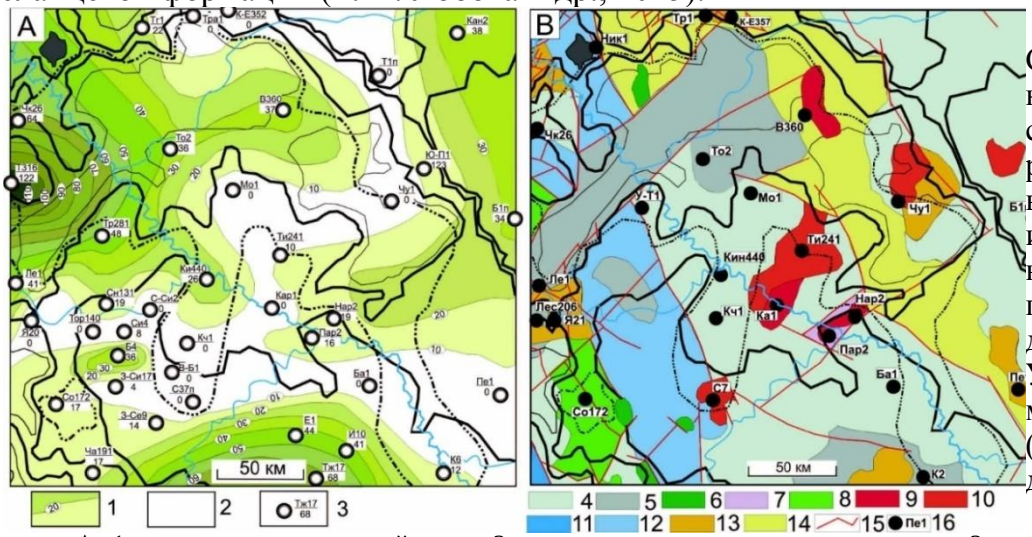


Рис. V.5.7. Схематические карты распространения пород коры выветривания (А) и распространения петротипов пород фундамента (В) Усть-Тымской мегавпадины (Г. А. Лобова и др., 2015):

А: *1* – изопахиты отложений коры; *2* – зона отсутствия коры выветривания; *3* – скважина, использованная для построения карты изопахит: в числителе условный индекс, в знаменателе – мощность коры. В: фации комплексов пород фундамента: *4* – аспидная; *5* – базальтовая; *6* – базиты; *7* – глинисто-кремнистая; *8* – глинисто-сланцевая; *9* – гранодиориты; *10* – гранитоиды; *11* – карбонатная; *12* – терригенно-карбонатная; *13* – риолитовая; *14* – терригенная; *15* – тектонические нарушения; *16* – скважина, вскрывшая породы фундамента, ее условный индекс

V.6. ЮРСКАЯ СИСТЕМА В ЦЕЛОМ И НИЖНЕЮРСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ

V.6.1. Разрастание территории осадконакопления, индексация коллекторов

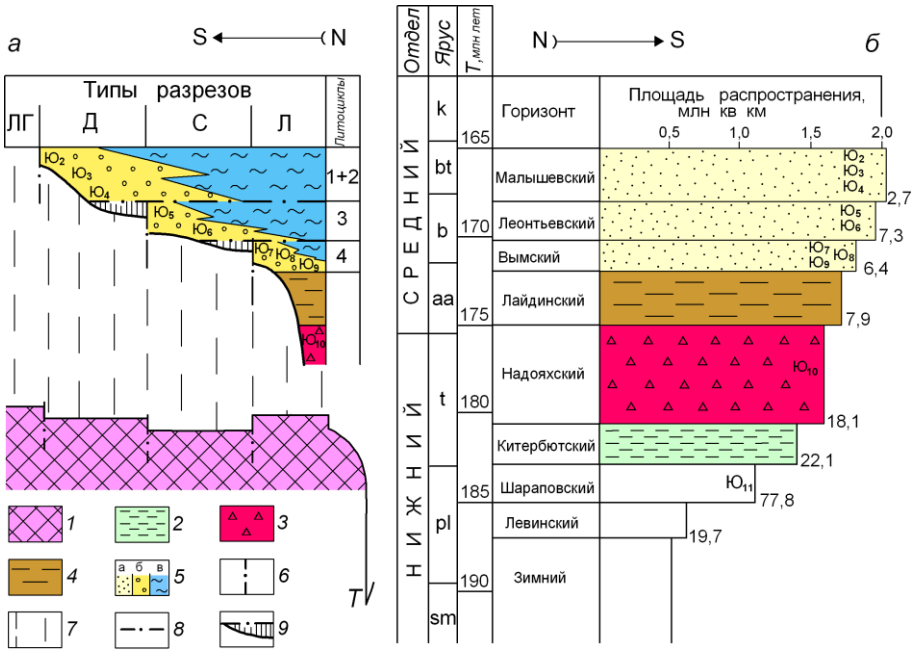


Рис. V.6.1. Модель строения тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района в соотношении с рельефом доюрского фундамента (*а*) и приращение площади нижне-среднеюрских отложений по горизонтам для Западно-Сибирской плиты (*б*).

Время (*Т*) по Международной стратиграфической шкале (2003).

Тип разрезов: ЛГ – «лысых гор», Д – даниловский, С – сыморьяхский, Л – ловинский

Приращение площади горизонтов – справа внизу, в % от предыдущего значения:*1* – нерасчлененные породы доюрского фундамента; *2 – 5*: нижне-среднеюрские отложения Обь-Иртышской фациальной области; *2* – тогурская свита, *3* – шеркалинская свита, *4* – радомская пачка, *5* – тюменская свита (*а* – в целом, для части «*б*»; *б* – озерно-аллювиальные и *в* – бассейновые отложения для части «*а*»); *6* – границы тектонических блоков, *7* – стратиграфический перерыв; *8* – границы литоциклов; *9* – инициальные части разреза

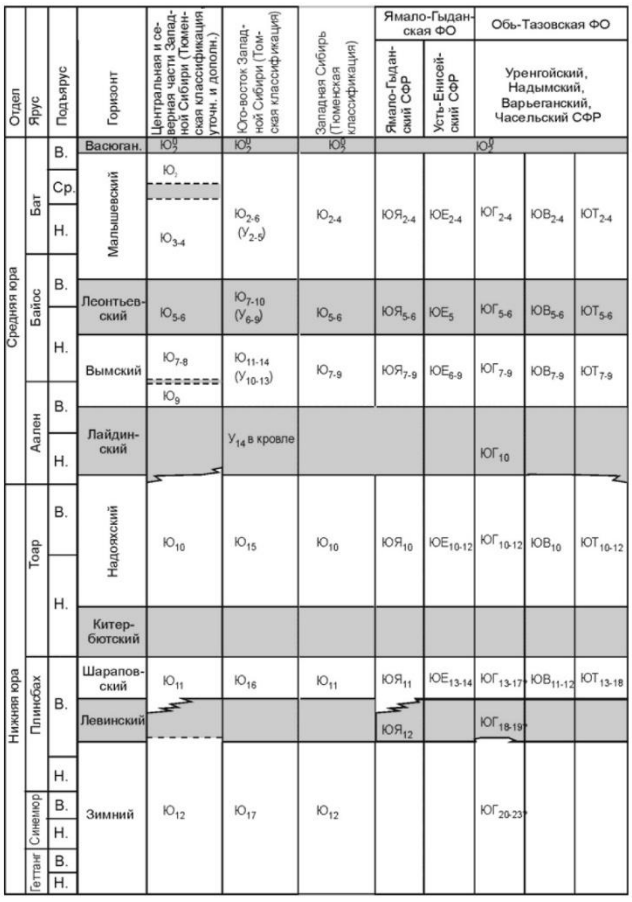


Рис. V.6.2. Индексация песчаных пластов нижней и средней юры Западной Сибири (серым цветом выделены существенно глинистые горизонты) (Решение…, 2004, с. 50)

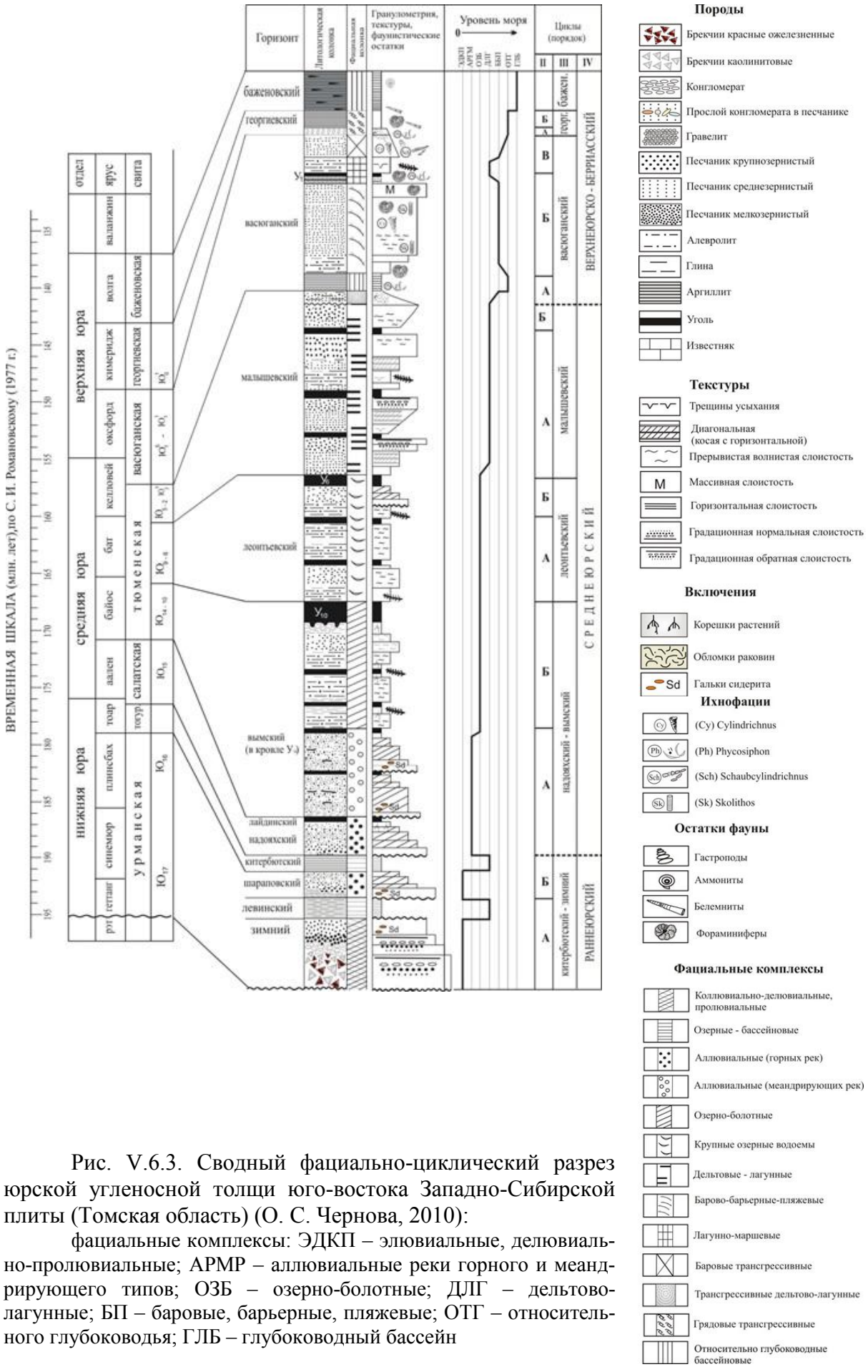


Рис. V.6.3. Сводный фациально-циклический разрез юрской угленосной толщи юго-востока Западно-Сибирской плиты (Томская область) (О. С. Чернова, 2010):

фациальные комплексы: ЭДКП – элювиальные, делювиально-пролювиальные; АРМР – аллювиальные реки горного и меандрирующего типов; ОЗБ – озерно-болотные; ДЛГ – дельтово-лагунные; БП – баровые, барьерные, пляжевые; ОТГ – относительного глубоководья; ГЛБ – глубоководный бассейн

V.6.2. «Наращивание» нижней части разреза

Разрастание площади осадконакопления во времени (см. рис. V.6.1) при рассмотрении в «обратном» ракурсе определяет наращивание его нижних горизонтов, что иллюстрирует рис. V.6.4. Обращает на себя внимание высокое сходство в начале формирования тогурской и радомской пачек (образцы А и В).

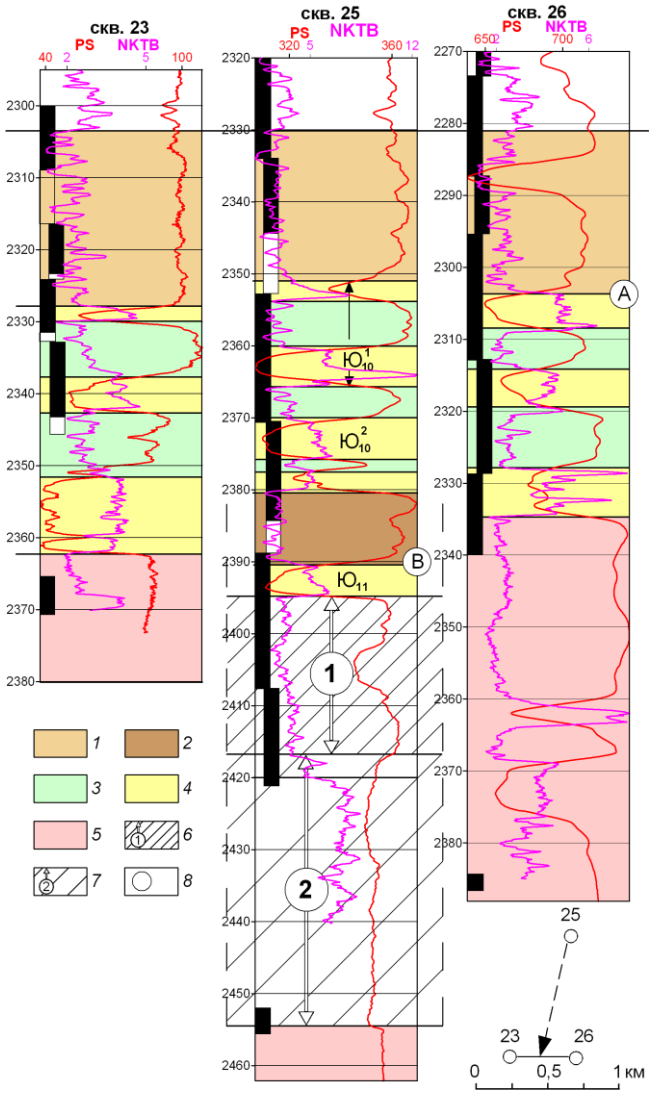
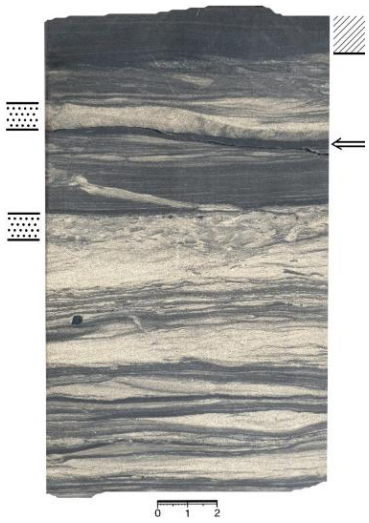


Рис. V.6.4. Схематический корреляционный разрез по нижнеюрским отложениям Западно-Тугровского месторождения (расположение скважин в нижней части рисунка):

1 – радомская пачка; *2* – тогурская пачка; *3* – тонкозернистые породы и угли; *4* – песчаники и гравелиты; *5* – фундамент; *6* – предположительно нижняя подсвита шеркалинской свиты (пачка 1); *7* – ягельная? свита; *8* – места взятия образцов, сканированные изображения и описание которых приведены справа

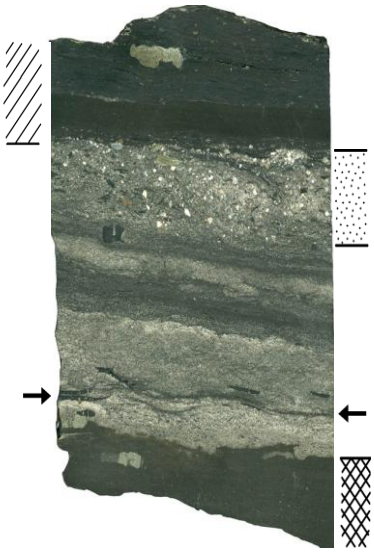


А. Нижний контакт радомской пачки в скв. 26 (см. разрез):

• нижняя часть образца представлена ритмичным переслаиванием светло-серого тонкозернистого песчаника с линзовидно-косоволнистой слоистостью и темно-серого мелкозернистого алевролита с тонкой полого-волнистой слоистостью, в соотношении ~ 3:1, обстановка проточной поймы;

слева (интервалы с крапом) – динамичное смешение двух указанных типов;

справа стрелкой показан трехмиллиметровый прослой S-образного вида слабоуглистого мелкозернистого алевролита; косой штриховкой – начало собственно радомской пачки того же состава



В. Нижний контакт тогурской свиты в скв. 25:

• интервал с крапом – «мусорное» включение в алевритовую основу зерен песчаной размерности (5-10 %) и кварц-полевошпатового состава. Шлейф конуса выноса (дистальная часть;

•ниже (основная часть образца) – ритмичное переслаивание серого крупнозернистого и темно-серого мелкозернистого алевролитов в соотношении ~ 3:1, с направленной ритмичностью;

• в самой нижней части (штриховка сеткой) – углистый алевролит, слегка перемятый в кровле (плюс обрывки растительных тканей в основании серии, лежащей с небольшим размывом (стрелки);

• косая штриховка вверху (слева от образца) – собственно тогурская пачка слабоуглистого алевролита, с полуовальной сульфидной конкрецией

V.6.3. Речные системы нижнеюрских коллекторов ($Ю_{10}$, $Ю_{11}$)

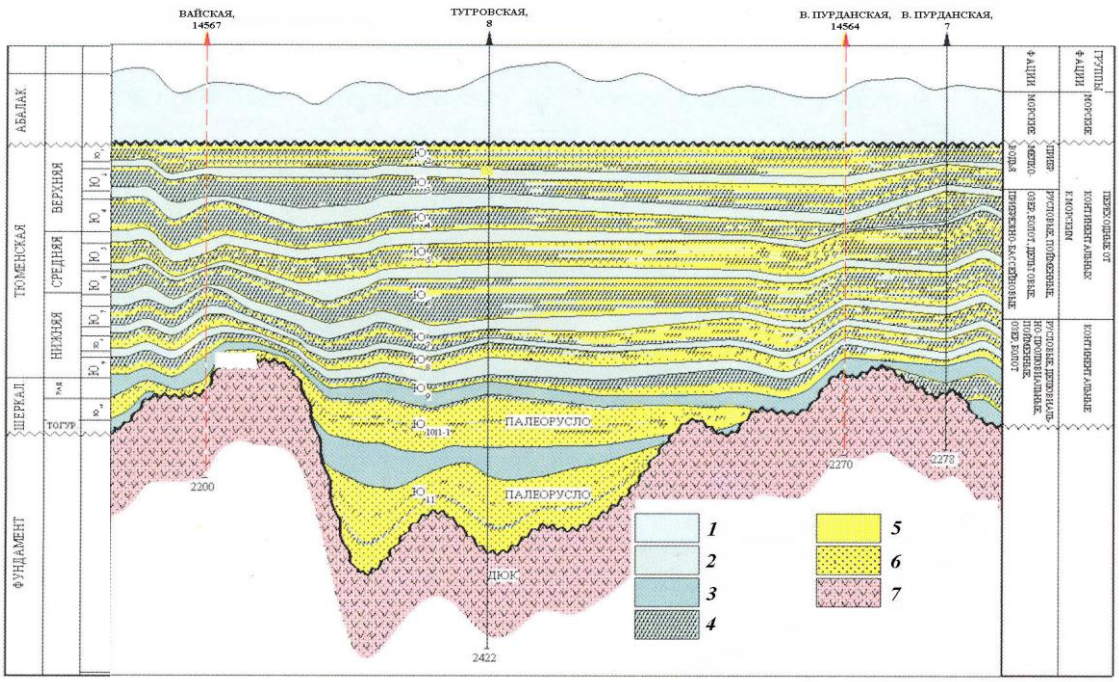


Рис. V.6.5. Литолого-фациальный профиль юрских отложений Красноленинской НГО по линии скважин 14567 Вайской – 7 Верхнепурданской (А. Г. Мухер, А. В. Тугарева, 1999): *1* – глинистые отложения абалакской свиты; *2* – глинистые отложения тюменской свиты; *3* – тонкоотмученные глины тогурской и радомской пачек; *4* – переслаивание глин и песчаников тюменской свиты; *5* – песчаник слабопроницаемый; *6* – песчаник проницаемый; *7* – вулканогенно-осадочные породы доюрского основания

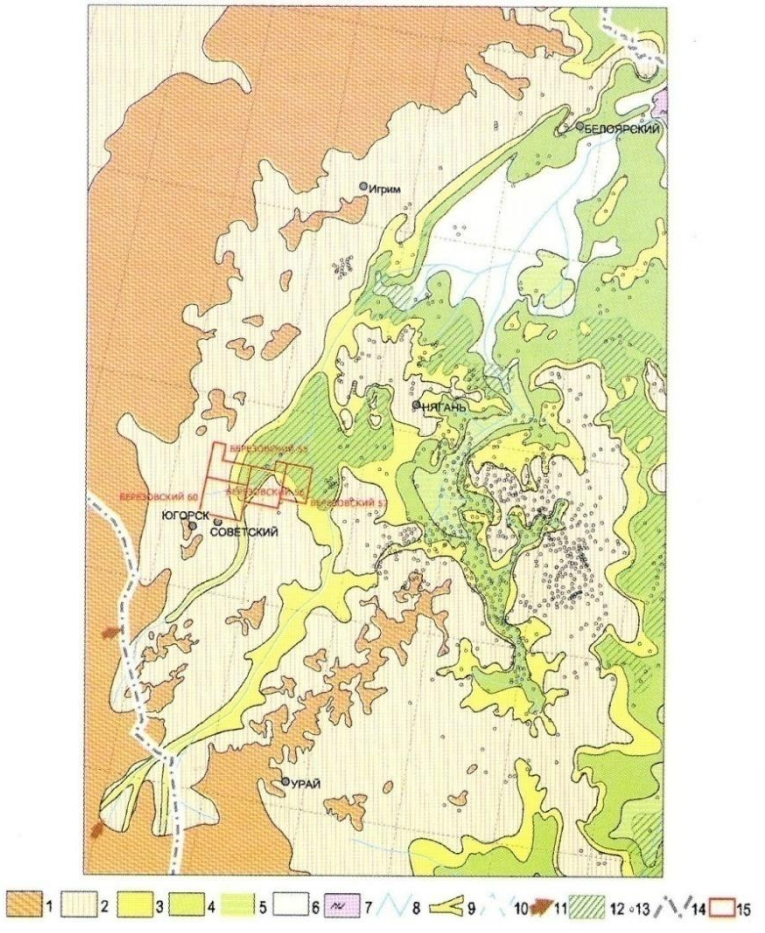


Рис. V.6.6. Фрагмент палеогеографической схемы времени формирования пласта $Ю_{10}$ (средне-позднетоарский века) Красноленинской НГО (А. Г. Мухер, А. В. Тугарева, 1999):

• палеогеографические области: *1* – холмогорья; *2* – эрозионно-денудационные пологоувалистые равнины; *3* – денудационно-аккумулятивные равнины

• равнины аккумулятивные: *4* – озерно-аллювиальные; *5* – низменная аккумулятивная с неустойчивым режимом осадконакопления; *6* – дельтовая субаэральная; *7*– дельтовая субаквальная;

• отдельные формы палеорельефа: *8* – палеореки; *9* – эрозионные участки речных долин; *10* – русловые протоки дельт;*11* – источники сноса; *12* – первоочередные зоны проведения поисково-разведочных работ; *13* – скважины, вскрывшие нижнеюрские и палеозойские отложения; *14* – граница ХМАО-Югры; *15* – Березовские лицензионные участки

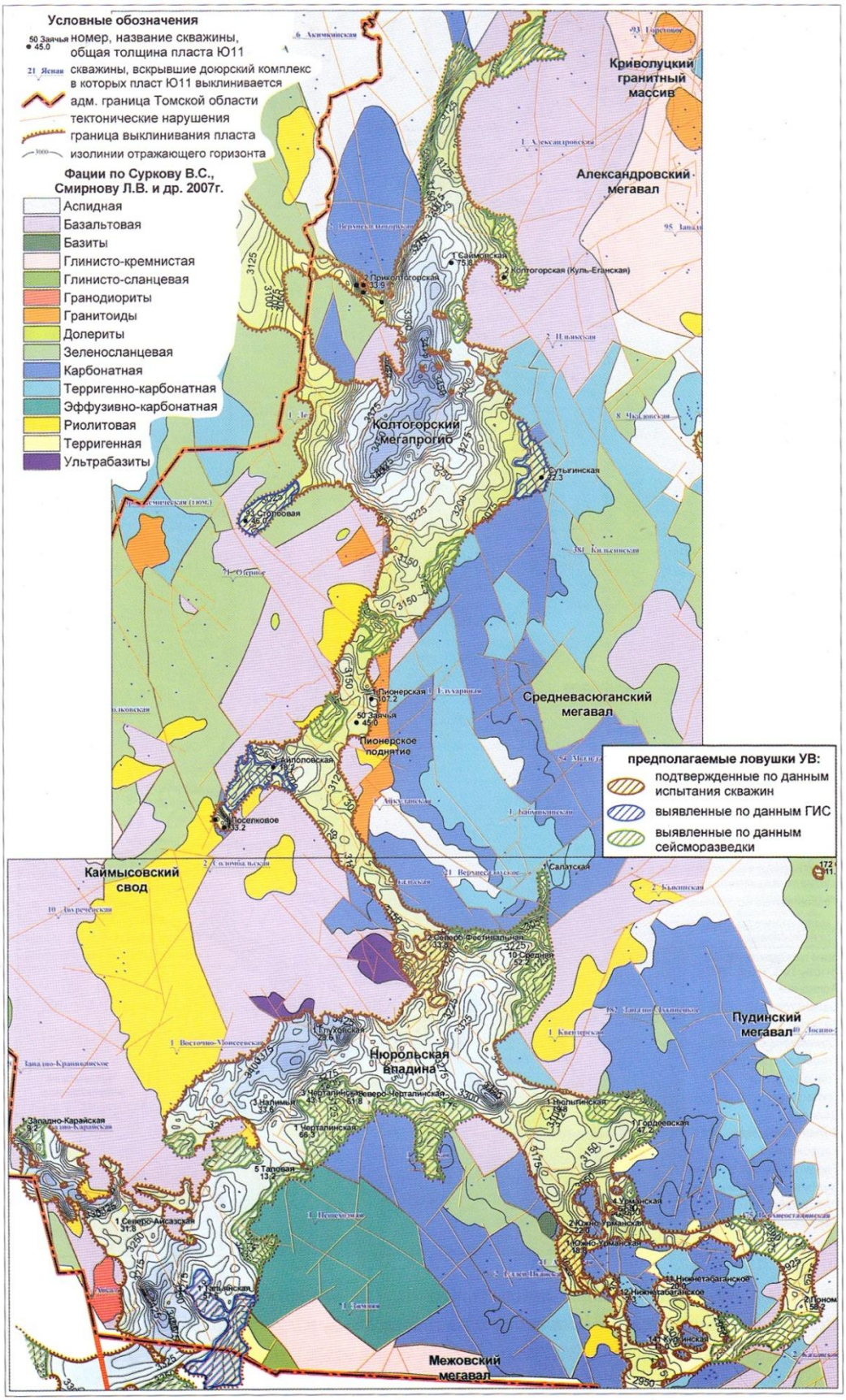


Рис. V.6.7. Структурная карта по кровле пласта $Ю_{11}$ (западная часть Томской области) с элементами вещественного состава доюрского основания и перспективными ловушками УВ (В. А. Лифанов, 2012)

V.7. ТЮМЕНСКАЯ СВИТА (СРЕДНЯЯ ЮРА БЕЗ КЕЛЛОВЕЯ)

V.7.1. Связующее звено в раннемезозойском торфо(угле)накоплении

Тесная взаимосвязь нефтенасыщенности и угленосности рассмотрена во многих разделах пособия и отдельно – в п. V.3.4 на примере Западно-Сибирского угольного бассейна. Особенно наглядно роль угольных пластов для расчленения и корреляции мезозойских отложений проявлена для юрской системы, что хорошо видно на рис. V.1.7, V.1.8. Из последних следует особое значение для корреляции именно угольных пластов, как весьма выдержанных элементов разреза (см. тему IV.4; рис. IV.7.9). В то же время при более широком рассмотрении вопроса намечается вывод о таком же скольжении угольных пластов в разрезе, что и для других типов пород, но при гораздо меньшем градиенте. На примере мощных угольных пластов это показано на рис. V.7.1.

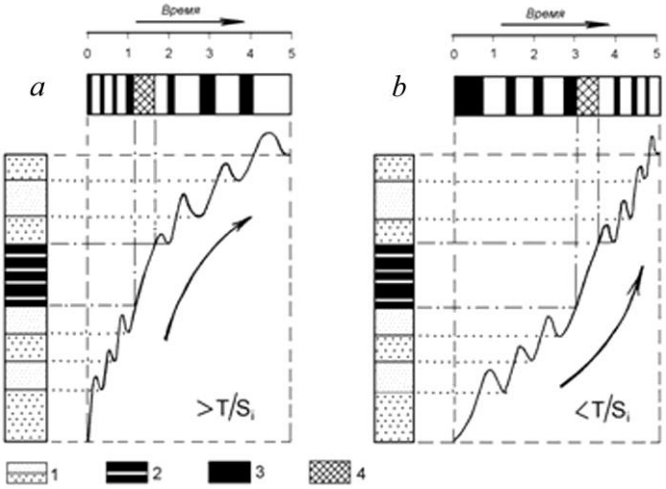


Рис. V.7.1. Схема, отражающая изменения темпа приращения осадков (колонки слева) и относительной продолжительности формирования осадков (вверху). Принцип составления заимствован из классической схемы Дж. Барелла (Barrell, 1917): см. рис. III.10.7. Обозначения: *к колонкам*: *1* – слои разного литологического состава, *2* – угольный пласт; *к шкале времени*: *3* – время накопления *закрепленных* в разрезе отложений, в т. ч. угольного пласта – *4*. *a* – режим с замедлением процесса (на накопление единицы разреза S_i требуется последовательное увеличение времени T); *b* – режим с ускорением процесса (на формирование S_i достаточно последовательно меньшего времени T)

Как следует из этой схемы, в совершенно одинаковых (с визуальной позиции) последовательностях мощный угольный пласт сформировался в разные отрезки времени. На схеме «*a*» это интервал между 1 и 2, а на схеме «*b*» - соответственно 3 и 4 единицами времени (условно – миллионами лет).

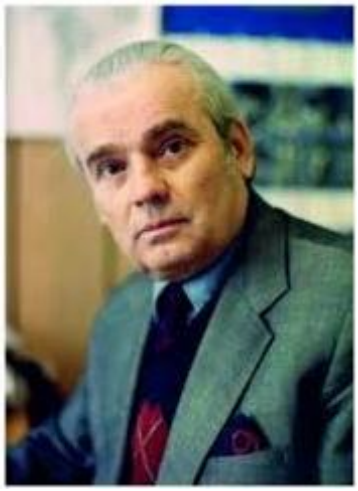
Изложенным еще раз подчеркивается значимость фациально-циклического анализа, разработанного на материале угленосных отложений с их четкими реперами в виде угольных пластов, для нефтегазоносных бассейнов (см. III.8). Этим обосновывается и значение работ многих геологов-угольщиков для познания условий накопления ряда осадочных формаций.

Леони́д Ива́нович ЛУТУ́ГИН (21 февраля (4 марта) 1864 – 17 (30) августа 1915). В 1889 окончил Горный институт в Петербурге, с 1897 – профессор этого института. Принял активное участие в исследовании Донецкого каменноугольного бассейна, проводившемся Геологическим комитетом с 1892. Руководил этими исследованиями в 1898-1915. Разработал методику детального площадного геологического картирования и применил ее, засняв в масштабе 1:42000 (в 1 дюйме – 1 верста) основную площадь бассейна. В 1911 составил обзорную геологическую карту Донбасса в масштабе 1 : 126 000, за которую на международной выставке в Турине получил большую золотую медаль. В последние годы жизни работал и в других угольных бассейнах (Кузнецком, Челябинском и др.) и заложил основы современных представлений об их геологическом строении. В 1904 в знак протеста против массового исключения студентов ушел из Горного института вместе с группой профессоров и преподавателей. Вернулся в 1906, после того как студенты вновь были приняты в институт. По праву считается «отцом русских геологов-угольщиков».

Алекса́ндр Ива́нович ЕГО́РОВ (18.06.1909 – 24.12.2004)

А. И. Егоров испытал нелегкое детство, описанное им в автобиографических воспоминаниях. В 1931 г. окончил Новочеркасский политехнический институт и до 1946 г. работал в Казахстане на многих угольных месторождениях. В 1946-1953 гг. заведовал кафедрой общей и исторической геологии Новочеркасского политехнического института, с 1953 г. – в Ростовском гос. университете, где более 30 лет заведовал кафедрой общей и исторической геологии.

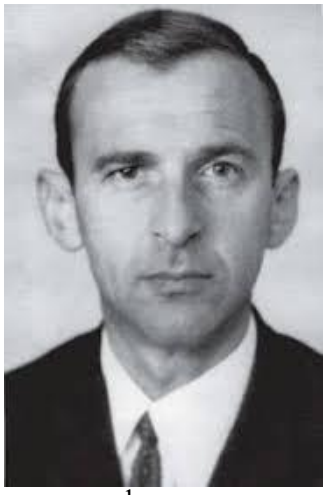
Вся плодотворная научная деятельность профессора, д-ра геол.-минерал. наук А. И. Егорова посвящена изучению региональных и глобальных закономерностей угленакопления и размещения угленосности на поверхности земного шара. Его труды имеют большое значение для познания основ торфо(угле)накопления и прогноза угленасыщенности



Петр Петро́вич ТИМОФЕ́ЕВ (14.11.1918 – 21.05.2008). Родился в семье служащих; в 1938 г. поступил на геолого-почвенный факультет МГУ. После окончания университета работал в организациях Министерства угольной промышленности СССР (1943-1947), был аспирантом и младшим научным сотрудником (1947-1951), старшим научным сотрудником (1951-1960) Института геологических наук СССР. Ученик Ю. А. Жемчужникова.

Член-корреспондент АН СССР (1976), д-р геол.-минерал. наук (1968), профессор геологии и разведки месторождений твердых горючих ископаемых (1971), директор Института геологических наук (1986, зам. директора с 1960 по 1985), зав. лабораторией осадочных геологических формаций ГИН АН СССР (1960), зав. кафедрой литологии и морской геологии геологического факультета МГУ (1983).

Решил ряд конкретных региональных проблем литологии и угольной геологии, связанных с выяснением закономерностей образования и размещения твердых горючих ископаемых в различных регионах страны. Раскрыл и объяснил связь генетических типов углей с палеогеографическими и палеотектоническими обстановками осадко- и торфонакопления, что позволило (совместно с Л. И. Боголюбовой) разработать генетическую классификацию гумусовых углей. Создал модели и разработал основы теории эволюции бассейнов осадко- и породообразования.



Владиле́н Ни́лович ВО́ЛКОВ (17.11.1929 – 02.04.2012). Известный ученый, крупный геолог-угольщик, родился в 1929 г. в Кронштадте в семье служащих. В годы Великой Отечественной войны жил в блокадном Ленинграде. С 1947 г. – студент геологоразведочного факультета Ленинградского горного института, после окончания которого в 1952 г. работал в Печорском угольном бассейне. С 1956 г. – сотрудник лаборатории геологии угля АН СССР в Ленинграде, затем – Всесоюзного геологического института Министерства геологии; работал в Тунгусском и Орском угольных бассейнах.

С 1967 г. работал в Санкт-Петербургском государственном университете, с 1972 г. – профессор, с 1976 по 1991 гг. – заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых, затем ведущий научный сотрудник Института земной коры СПбГУ и профессор кафедры геологии месторождений полезных ископаемых.

Основные труды связаны с изучением морфологии, условий и механизма формирования угольных пластов, методов разведки и оценки угольных месторождений. Этим вопросам посвящены кандидатская (1958), докторская (1971) диссертации и последующие монографии. Многолетние исследования положили начало новому направлению в области изучения и оценки морфологии угольных пластов.

V.7.2. Модели литоциклов

Результаты изучения отложений тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района опубликованы в четырех монографиях (Угленасыщенность …, 2006; Состав и генезис …, 2007; Строение и корреляция …, 2009; Стратиграфия и палеогеография …, 2010). Они использованы в ряде разделов предложенного пособия (см. I.14; II.7; III.8; III.12; IV.4; IV.7; IV.8) как в виде конкретных колонок, разрезов и т. п., так и в виде обобщающих заключений. Не видя необходимости в их повторе, приведем обобщенные представления о литоциклах как основных структурных единицах строения осадочных формаций (см. III.6 – III.8).

В соответствии с методикой изучения марковских процессов в геологии (см. п. IV.13.4) построены матрицы вероятностей переходов для двух комплексов пород, слагающих тюменскую свиту, – нижнего, озерно-аллювиального, и верхнего, прибрежно-бассейнового (см. рис. I.14.4; II.7.5; II.7.6; III.8.6). В табл. V.7.1 и V.7.2 приведены матрицы вероятностей переходов, а на рис. V.7.2 и V.7.3 – соответственно цепочки переходов и модели литоциклов.

Таблица V.7.1

Матрица вероятностей переходов для озерно-аллювиального палеоландшафта (Фации-II) нижней части тюменской свиты

Индексы макрофаций и фаций	Кол-во переходов	Индексы макрофаций и фаций								
		АРС	АРР	АРП, АПП	АПС,АПВ, АПО	ОЗП, ОЗО	ОЗЗ, ОЗУ,Т	ОВП, ОВН	ОВМ, ОВД	ОВГ, Б
АРС	8		**0,37**	0,25	0,13					0,25
АРР	25	0,08		**0,32**	0,24	0,12	0,08	0,12	0,04	
АРП, АПП	18	0,10	0,28		**0,44**		0,06	0,06	0,06	
АПС, АПВ, АПО	27	0,04	0,15	0,19		**0,26**	**0,29**	0,07		
ОЗП, ОЗО	40		0,08		0,08		**0,61**	0,15	0,03	0,05
ОЗЗ, ОЗУ, Т	53	0,04	0,15	0,06	0,11	**0,31**		0,08	0,08	0,17
ОВП, ОВН	22	0,05			0,14	**0,36**	**0,31**		0,14	
ОВМ, ОВД	11		0,18			0,18	0,09	**0,55**		
ОВГ, Б	13		0,08			0,23	**0,61**		0,08	

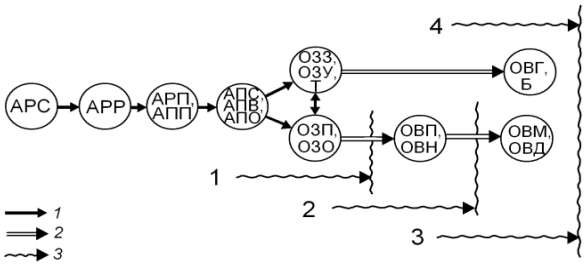


Рис. V.7.2. Цепочки переходов и модели литоциклов для озерно-аллювиального палеоландшафта: *1* – основные переходы (жирный шрифт в табл. V.7.1); *2* – дополнительные переходы (курсив в табл. V.7.1); *3* – «скачки» переходов, фиксирующие типы литоциклов 1, 2, 3

Таблица V.7.2

Матрица вероятностей переходов для прибрежно-бассейнового палеоландшафта (Фации-I)

Индексы макрофаций и фаций	Кол-во переходов	Индексы макрофаций и фаций									
		АР	АП	БПО, БЗП	БЗА,БЗГ, КС	ОЗ, Т	БПВ	БПП, БПК	БПА, БМД	БМ Б	БМП, БМУ
АР	5		**0,60**				0,20		0,20		
АП	6	**0,50**				**0,50**					
БПО, БЗП	26				0,17	**0,40**	0,12	**0,31**			
БЗА, БЗГ, КС	12			0,25		**0,58**	0,17				
ОЗ, Т	27		0,05	0,12	0,12		0,24	**0,37**	0,05	0,05	
БПВ	46		0,02	0,07	0,07	0,19		**0,51**	0,07	0,07	
БПП, БПК	62	0,02		0,08	0,11	0,18	**0,43**		0,13	0,03	0,02
БПА, БМД	17				0,12	0,06		**0,40**		**0,36**	0,06
БМБ	18	0,06				0,06	0,28	0,28	0,22		0,10
БМП, БУ	4								0,25	**0,75**	

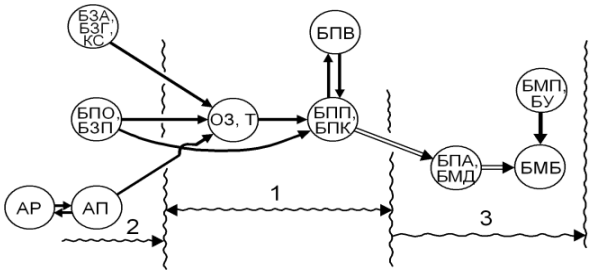


Рис. V.7.3. Цепочки переходов и модели литоциклов для прибрежно-бассейнового палеоландшафта: обозначения см. на рис. V.7.2

На рис. V.7.4 показаны модели основных типов литоциклов «в образцах».

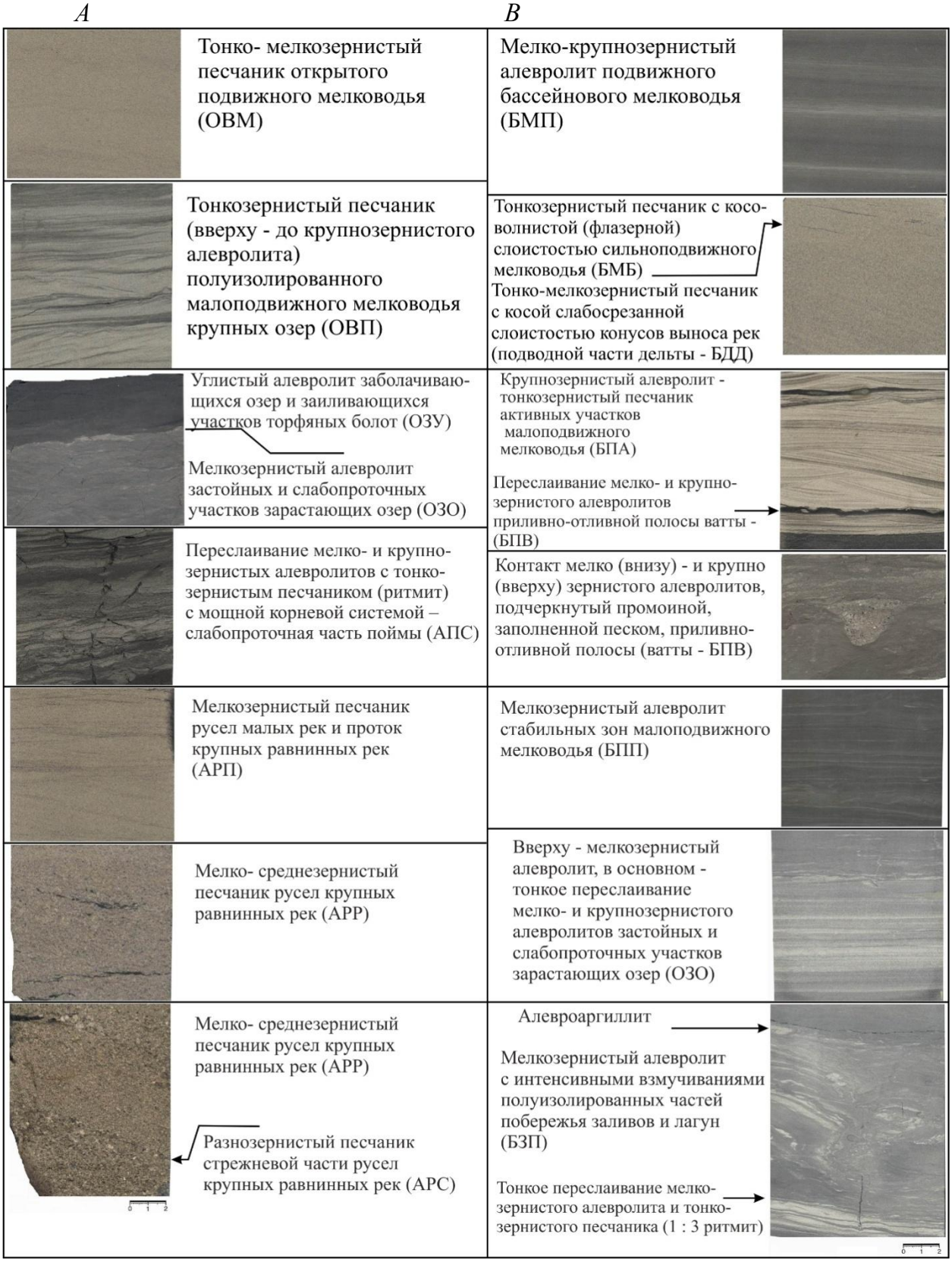


Рис. V.7.4. Модели основных типов литоциклов в образцах керна с соответствующим описанием: *A* – для озерно-аллювиального палеоландшафта (см. рис. IV.7.2); *B* – для прибрежно-бассейнового палеоландшафта (см. рис. IV.7.3)

IV.7.3. Верификация представлений

Продолжая рассуждения о верификации результатов исследований как их неотъемлемой части (см. п. IV.14.1), приведем два примера проверки изложенных сведений.

Пример 1, соответствующий второму пути верификации на зет-системе Ю. А. Косыгина (см. рис. II.6.1, В; IV.14.1). Это получение тех же данных на новом объекте: рис. V.7.5. На колонках скважин отчетливо выделяется двучленное строение тюменской свиты, со сменой (снизу вверх) аллювиально-озерного палеоландшафта на прибрежно-мелководный.

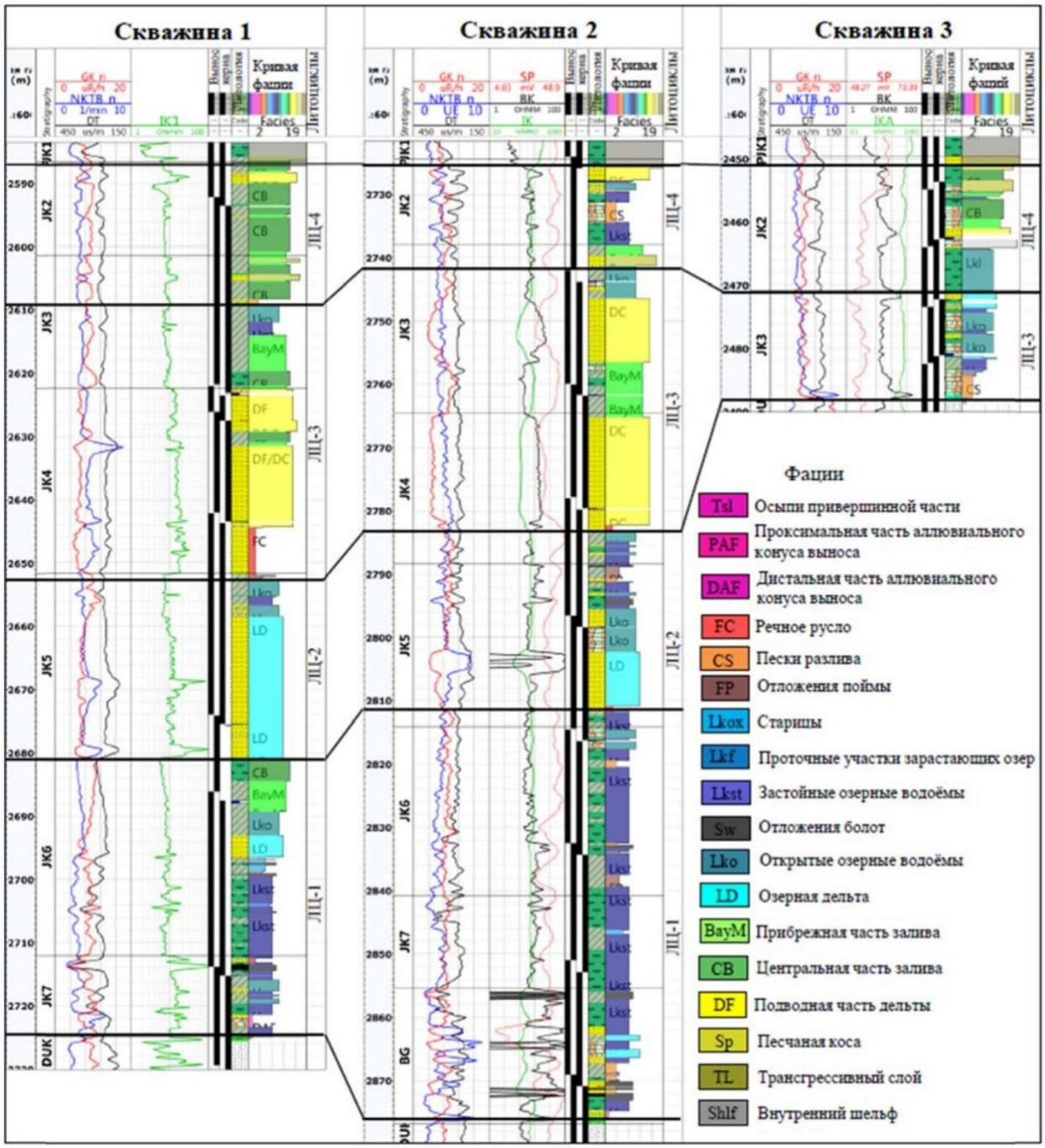


Рис. V.7.5. Корреляционный разрез по линии скважин 1-2-3. Каменная площадь (Красноленинская НГО, Западная Сибирь) (А. В. Храмцова, М. С. Карпова, 2017)

Пример 2 соответствует первому пути верификации, т. е. полной заверке всех представлений (см. рис. II.6.1, В). В табл. V.7.3 представлено фациальное расчленение отложений, а на рис. V.7.6 – блок-диаграмма отложений верхней части тюменской свиты, принадлежащие литологам ИНГГ СО РАН (г. Новосибирск). Очевидна высокая степень совпадения приведенных сведений с теми, что изложены выше. Особенно это относится к генетической «лоскутности» (patchwork) песчаных тел и хорошей выдержанности угольного пласта $У_2$.

Таблица V.7.3

Палеоландшафтные обстановки накопления горизонта $Ю_2$ в Широтном Приобье

Группа	Комплекс обстановок	Обстановка	Субобстановка
Континентальная	Аллювиальный	Русловая	Меандровой косы
			Русловой отмели
		Пойменная	Прируслового вала
			Трещинного конуса выноса
			Пойменной равнины
			Заболачивающейся пойменной равнины
	Озерный	Озерная	Прибрежной части озера
			Центральной части озера
Переходная	Дельтовый	Дельтовой равнины	Флювиального дельтового рукава
			Конуса промыва (конуса выноса промоины)
			Канала промыва (канала промоины)
			Намывного вала
			Приустьевого бара дельтового рукава
			Песчано-алевритовой отмели внутридельтового или окраинного залива
			Глинисто-алевритовой отмели внутридельтового или окраинного залива
			Маршей
		Авандельты	Фронт дельты (склон дельты)
			Продельта
	Прибрежно-континентальный	Лагунного побережья	Центральной части лагуны
			Прибрежной части лагуны
			Берегового барьерного бара (барьерного острова)
		Прибрежной равнины	Береговых валов и гребней
			Маршей
Морская	Прибрежно-морской	Пляжа	Нижнего пляжа
		Предфронтальной зоны пляжа	Подводного вала, отмели
			Подводной ложбины
	Мелководно-морской	Переходной зоны	Переходной зоны

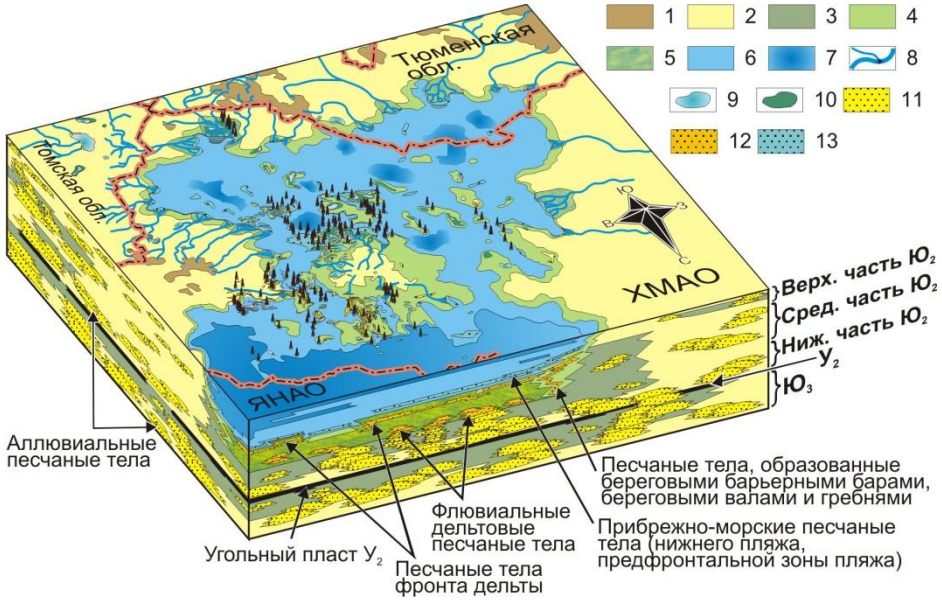


Рис. V.7.6. Литолого-фациальная схема строения батских отложений Широтного Приобья (Л. Г. Вакуленко, П. А. Ян, 2010). Палеогеографические реконструкции см. на рис. V.4.4: *1* – денудационная суша; *2* – озерно-аллювиальный комплекс; *3* – аллювиально-озерно-болотный комплекс; *4* – прибрежно-континентальный комплекс; – дельтовый комплекс; *6* – прибрежно-морской комплекс (глубины морского бассейна менее 10 м); *7* – мелководно-морской комплекс (глубины морского бассейна 10...20 м); *8* – русла, флювиальные дельтовые рукава; *9* – озера; *10* – болота; *11* – аллювиальные песчаные тела; *12* – песчаные тела дельтового комплекса; *13* – песчаные тела прибрежной части моря

V.8. ВАСЮГАНСКИЙ ГОРИЗОНТ (КЕЛЛОВЕЙ – ОКСФОРД)

V.8.1. Контакт нижнеплитного и плитного комплексов: вогулкинская толща (коллектор П), пахомовская пачка (коллектор $Ю_2^0$)

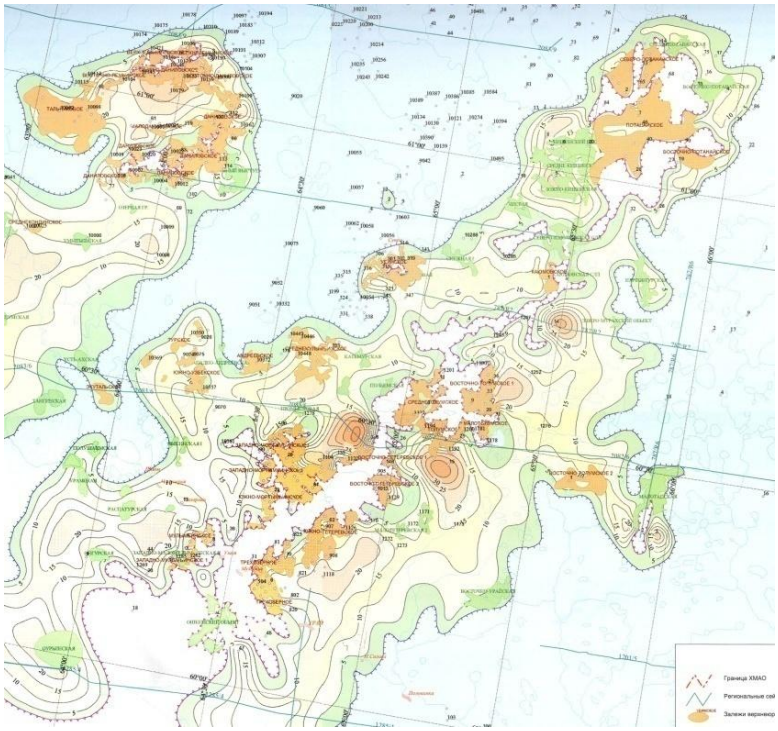


Рис. V.8.1. Фрагмент карты толщин вогулкинской толщи Шаимского нефтегазоносного района масштаба 1 : 550000 (Атлас…, 2004)

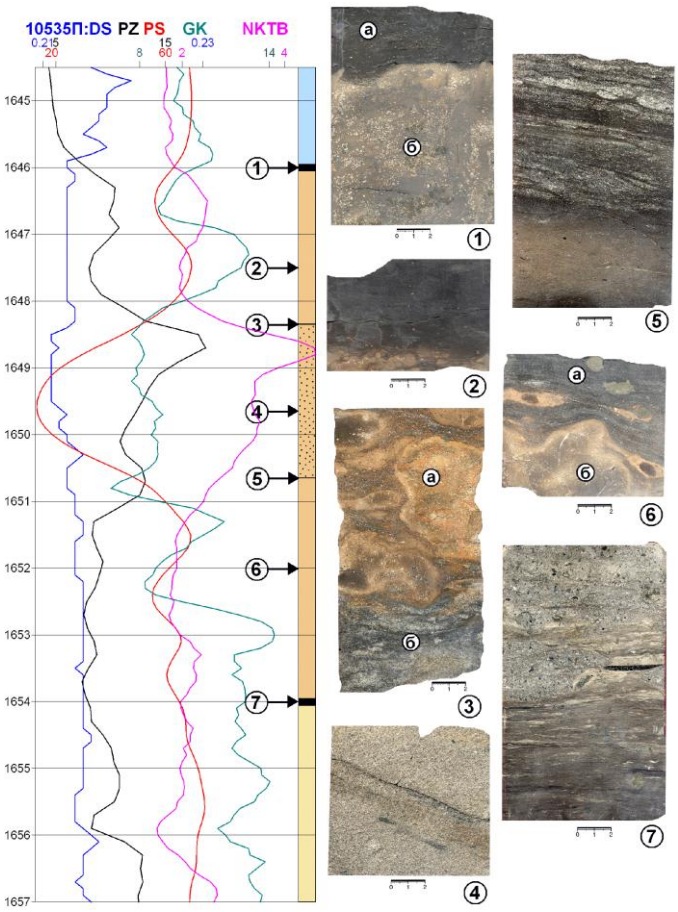
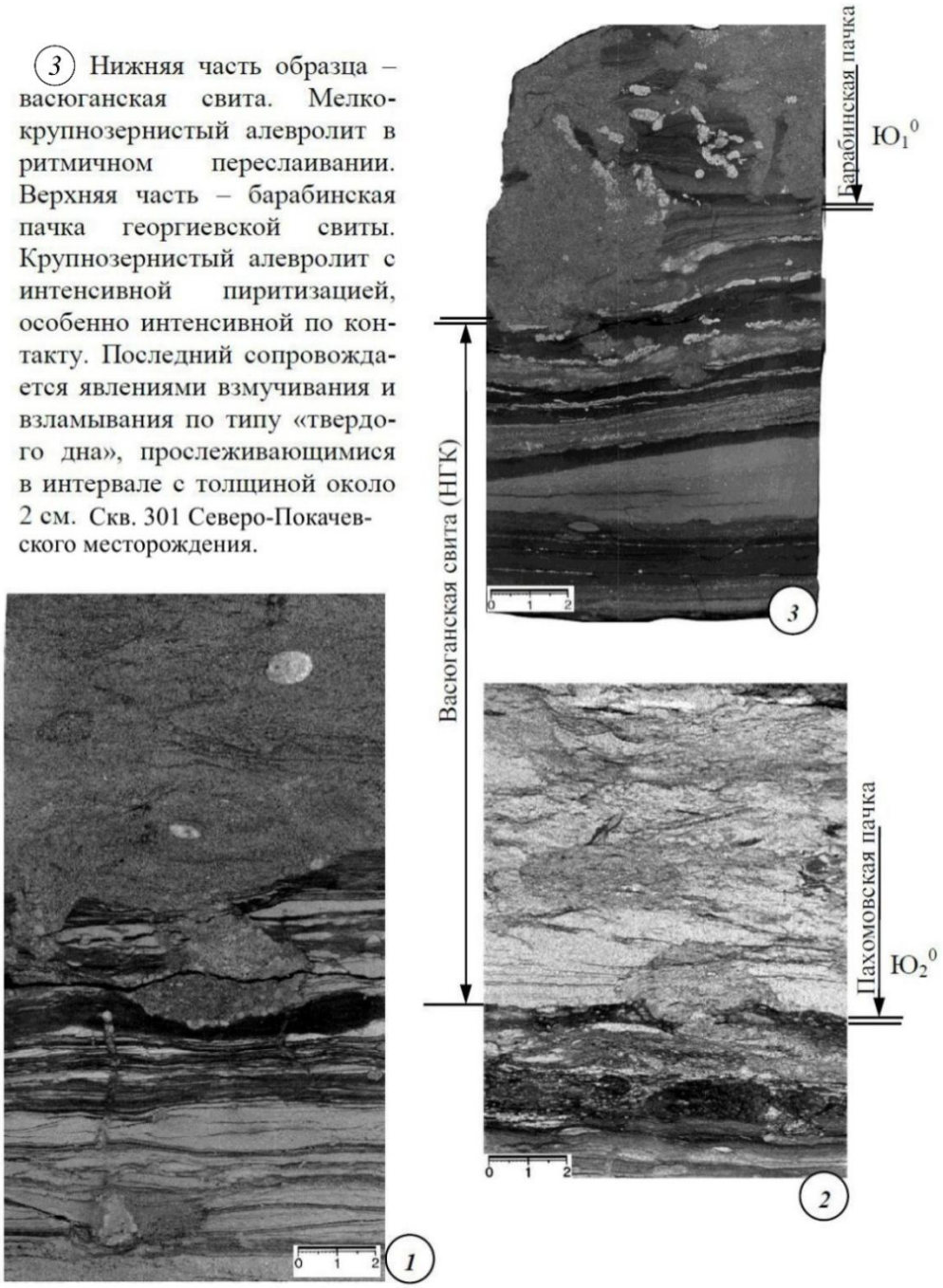


Рис. V.8.2. Фрагмент разреза скв. 10535 (Умытьинское месторождение): Шаимский нефтегазоносный район. Образцы: 1 – контакт темно-серого алевроаргиллита абалакской свиты (а) с фиолетово-серым известковистым алевролитом ооидной текстуры (б), запечатанная неровность "взвихренных" осадков в плоскости собственно контакта фиксирует быстроту захоронения материала; 2 – сочетание двух описанных выше типов, с преобладанием первого; 3 – ярко-желтый алевролит ооидной текстуры с признаками взмучивания (зона активной динамики среды) (а), залегающий на зеленовато-сером ооидном "псевдопесчанике" с частичной карбонатизацией (б); 4 – песчаник серый, со слабым желтоватым оттенком, среднемелкозернистый, среднесортированный, слоистость косая, слабосрезанная, серийные швы подчеркнуты углистым материалом, в нижней части образца присутствуют несколько уплощенных линзочек темно-серых алевролитов; 5 – контакт серого мелкозернистого песчаника (верх) с буроватым алевроаргиллитом (низ); песчаник среднесортированный, с динамичной однонаправленной косоволнистой слоистостью, обусловленной "расплывчатыми" слойками алевритового состава, вверху – знаки волновой ряби с высокими значениями индекса ряби; 6 – "обратный" аналог образца 3 с меньшей размерностью материала (а – крупнозернистый алевролит со стяжениями и включениями овальной формы, б – мелкозернистый алевролит с тонкой ооидной текстурой); 7 – контакт вогулкинской толщи (верх) с тюменской свитой (низ), нижняя часть – серый мелкозернистый алевролит с не очень отчетливым линзовидным наслоением, на нем с перемывом залегает светло-серый, со слабым зеленоватым оттенком, тонко-мелкозернистый грауваковый песчаник, непосредственный контакт имеет толщину 4-5 см, внизу подчеркнут линзочкой угля

Контакт васюганской и тюменской свит, в истории своего формирования, был изображен на рис. I.2.17. На рис. V.8.3 приведены сканированные изображения трех образцов, из которых два нижних характеризуют тот же контакт (коллектор $Ю_2^0$), а верхний – идентичный нижний контакт пахомовской пачки (коллектор $Ю_1^0$).



3 Нижняя часть образца – васюганская свита. Мелко-крупнозернистый алевролит в ритмичном переслаивании. Верхняя часть – барабинская пачка георгиевской свиты. Крупнозернистый алевролит с интенсивной пиритизацией, особенно интенсивной по контакту. Последний сопровождается явлениями взмучивания и взламывания по типу «твердого дна», прослеживающимися в интервале с толщиной около 2 см. Скв. 301 Северо-Покачевского месторождения.

1 Нижняя часть образца – тюменская свита. Переслаивание тонкозернистого песчаника и алевролитов с толщиной серий 2 и более см, с внутренней полого-волнистой слоистостью и ходами Scolithos. Непосредственный контакт представляет собой взламывание слабоконсолидированных осадков тюменской свиты с сохранением их первоначальной текстуры в остроугольных обломках. Верхняя часть образца – тонко-мелкозернистый песчаник абалакской свиты с массивной текстурой и белемнитами. Скв. 341 Каменного месторождения.

2 Нижняя часть образца – тюменская свита. Мелко-крупнозернистый алевролит средней стабильности с полого-волнистой слоистостью, микронарушениями и ходами Planolites. Переходный интервал в виде интенсивного взмучивания с образованием сложной «пузырьковой» текстуры. Верхняя часть – тонкозернистый, достаточно хорошо сортированный песчаник васюганской свиты (пахомовская пачка). Первичная тонкая слабосрезанная косая слоистость нарушена интенсивными сингенетическими взмучиваниями. Скв. 160. Кечимовское месторождение

Рис. V.8.3. Контакты свит (пачек) в образцах керна

V.8.2. Строение васюганского горизонта

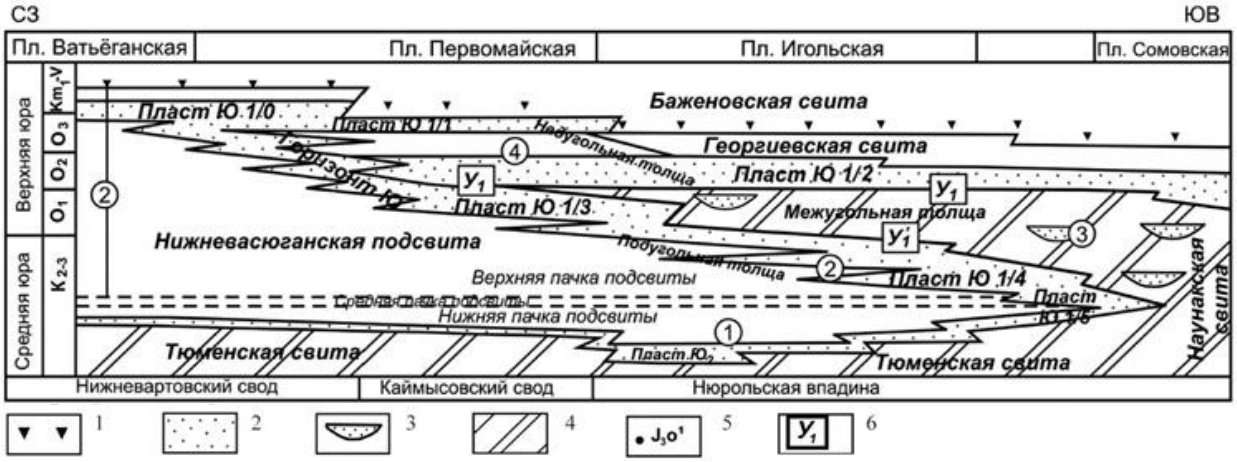


Рис. V.8.4. Литолого-палеонтологическая схема сопоставления верхнеюрских отложений центральной и юго-восточной частей Западно-Сибирской плиты (Е. Е. Даненберг и др., 2006):

1 – аргиллиты баженовской свиты (морские глубоководные); *2* – прибрежно-морские песчаники горизонта $Ю_1$ и пласта $Ю_2$; *3* – песчаные отложения в пределах приливно-отливных континентальных образований, межугольной толщи наунакской свиты; *4* — алеврито-глинистые отложения межугольной толщи и наунакской свиты; *5* – возрастные определения; *6* – угольный пласт и его индекс. Цифры в кружках: 1 – трансгрессивный нижне-среднекелловейский литолого-фациальный комплекс (ЛФК), 2 – регрессивный келловей-оксфордский ЛФК, 3 – регрессивно-трансгрессивный келловей-оксфордский ЛФК, 4 – трансгрессивный оксфорд-кимериджский ЛФК

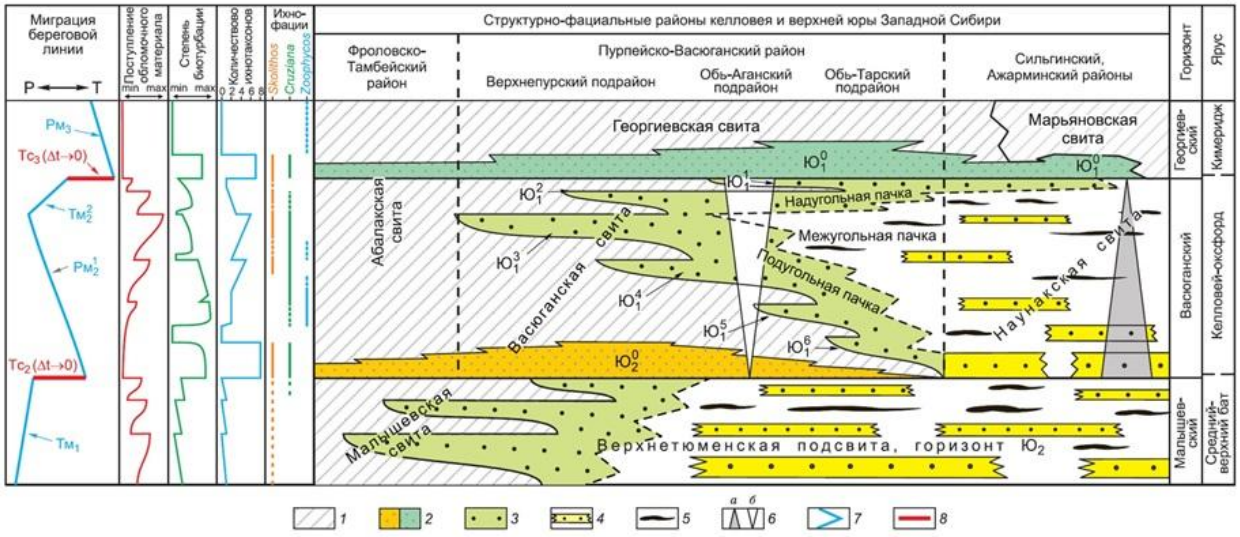


Рис. V.8.5. Схема строения бат-верхнеюрских отложений Западной Сибири и модель миграции береговой линии в бат-позднеюрском седиментационном бассейне с позиций тектоно-седиментационной модели (А. Л. Бейзель и др., 2007).

Степень биотурбации, количество ихнотаксонов и распределение ихнофаций даны для Пурпейско-Васюганского района. *1* – морские глинистые отложения, *2* – пахомовская и барабинская пачки, *3* – морские алевропесчаные отложения, *4* – континентальные алевритоглинистые и алевритопесчаные отложения, *5* – угли, *6* – прогрессивный (*а*) и регрессивный (*б*) осадочные циклы. Миграция береговой линии: *7* – миграционные регрессии-трансгрессии, *8* – событийные трансгрессии. Т – трансгрессия, Р – регрессия, $Тм_1$ – позднетюменская миграционная трансгрессия, $Рм_2^1$ – ранневасюганская миграционная регрессия, $Тм_2^2$ – поздневасюганская миграционная трансгрессия, $Рм_3$ – георгиевская миграционная регрессия, $Тс_2$ и $Тс_3$ – келловейская и кимериджская событийные трансгрессии.

Принципиальная схема, выровненная на условные стратиграфические границы горизонтов. Внутри них наблюдается скольжение литологических границ, а также инверсия циклитов (см. п. IV.7.2).

V.8.3. Палеогеографические реконструкции

В продолжение общих представлений (см. п. IV.8) на рис. V.8.6-V.8.8 приведены примеры палеогеографических карт для отдельных площадей ЗСП.

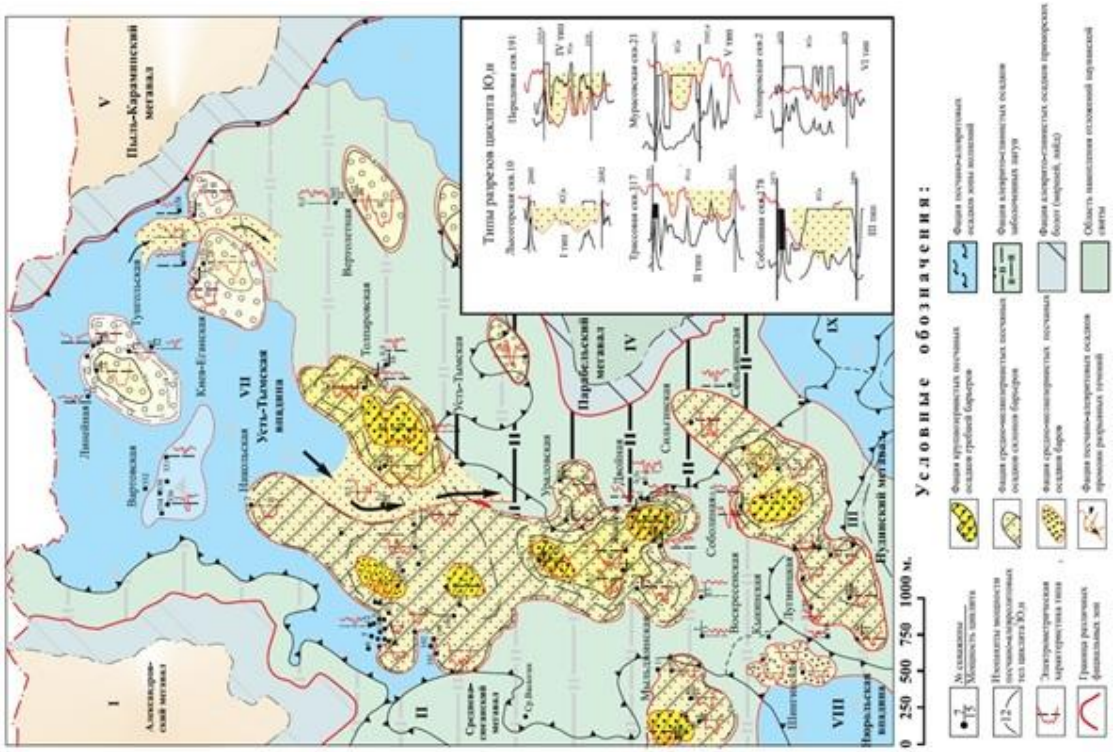


Рис. V.8.7. Литолого-фациальная карта с элементами электрометрии на время накопления подугольной толщи (циклиты $Ю_1^4$ и $Ю_1^3$) Усть-Тымской впадины (О. С. Чернова, 2010)

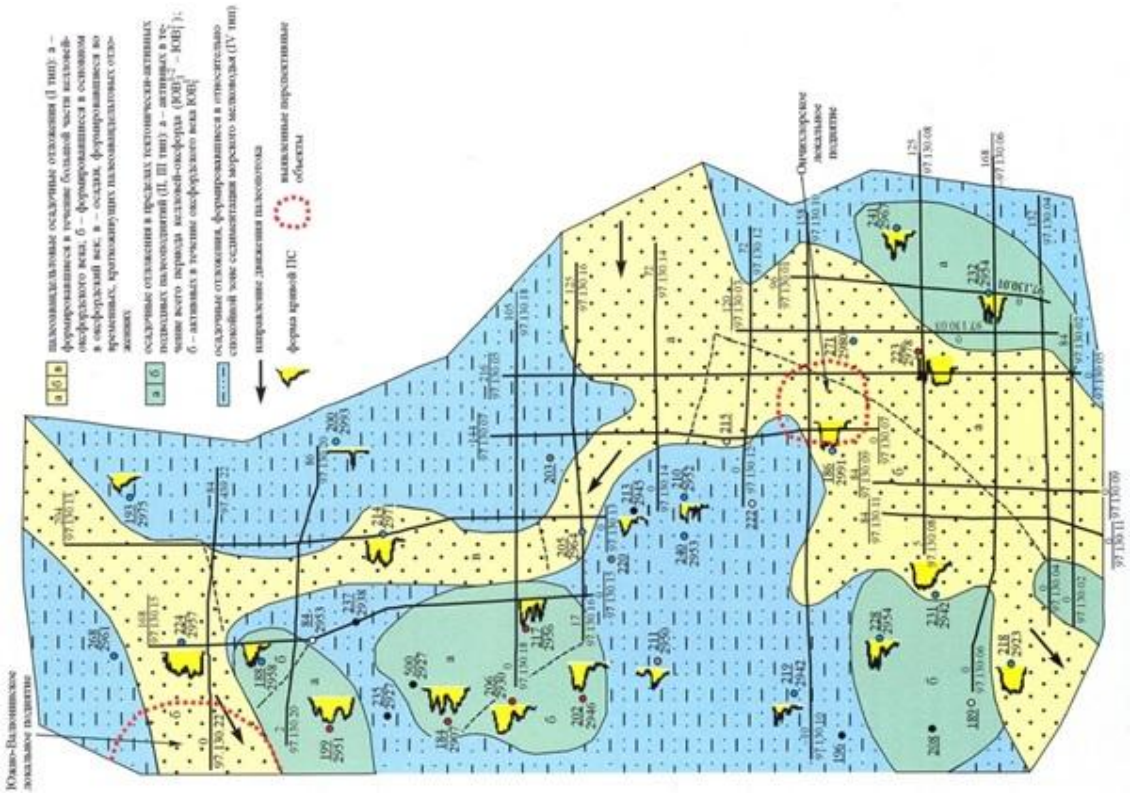


Рис. V.8.6. Литолого-фациальная карта, составленная по данным бурения и сейсморазведки пласта $ЮВ_1^{1-2}$ Западно-Варьеганской площади (Н. М. Кропачев, К. Г. Скачек, 2008)

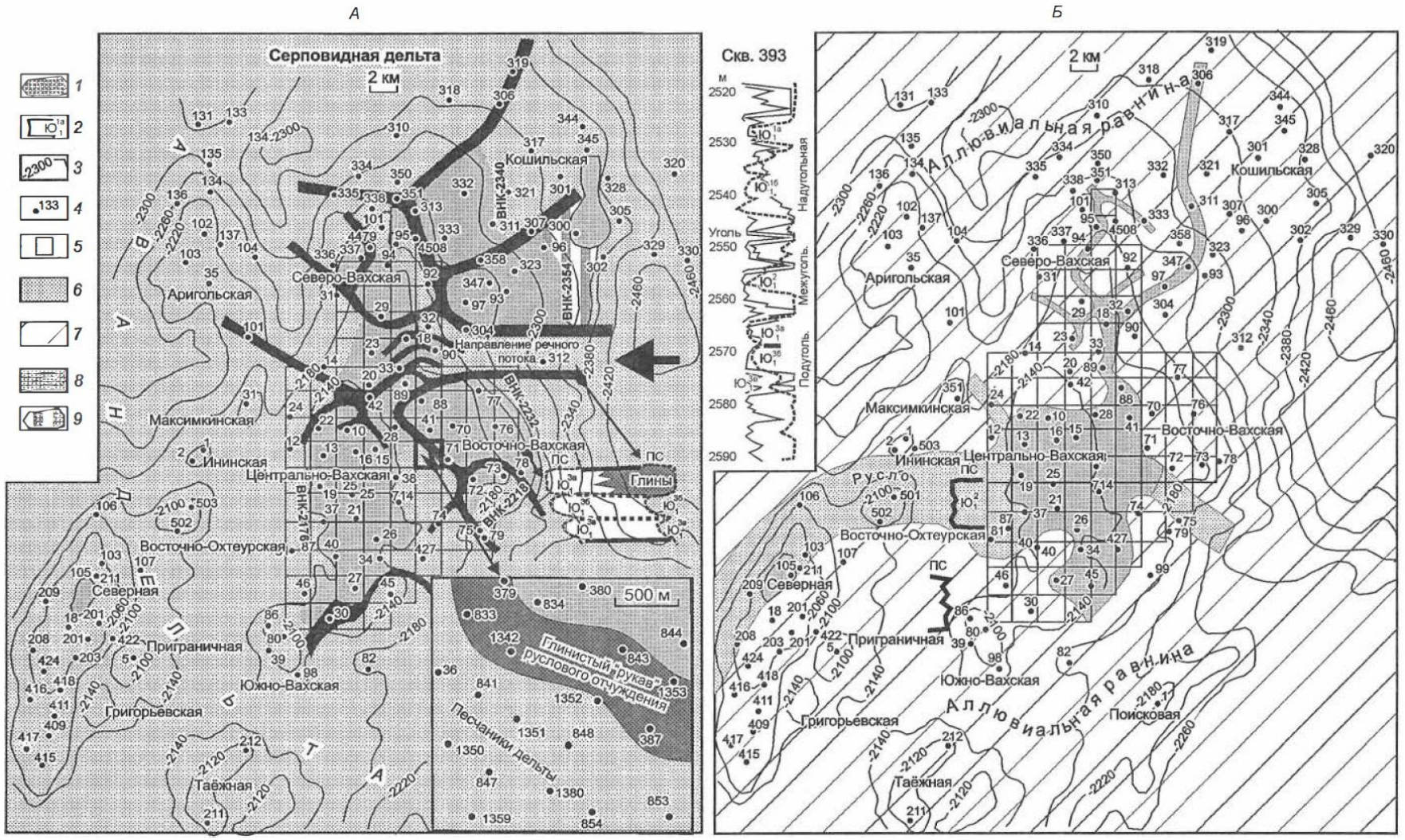


Рис. V.8.8. Литолого-фациальные карты пластов $Ю_1^3$ (*А*) и $Ю_1^2$ (*Б*) Вахского месторождения с элементами нефтегазоносности (В. Б. Белозеров и др., 2001): *1* – поле нефтеносности выявленное; *2* – форма кривой ПС продуктивного пласта; *3* – сейсмоизогипсы горизонта IIа (подошва баженовской свиты); *4* – поисково-разведочная скважина, ее номер; *5* – территория, изученная по данным эксплуатационного бурения; *6* – песчаные отложения дельтовых рукавов и устьевых баров; *7* – алеврито-глинистые отложения континентальной равнины; *8* – глинистые «рукава» отчужденных дельтовых проток; *9* – прогнозируемое поле нефтеносности

В статье (В. П. Алексеев и др., 2014) высказано положение о том, что ко всем терригенным коллекторам васюганского горизонта приемлемо понятие **пэчворк** (patchwork) (рис. V.8.9). Особенно важно, что такое понимание полностью дезавуирует «бытовое» представление об одновозрастных коллекторах, сплошным «покрывалом» занимающих большие пространства. Сам механизм формирования терригенных геологических тел определяет их «лоскутность», с неизбежно вытекающими трудностями в распознавании и прослеживании.

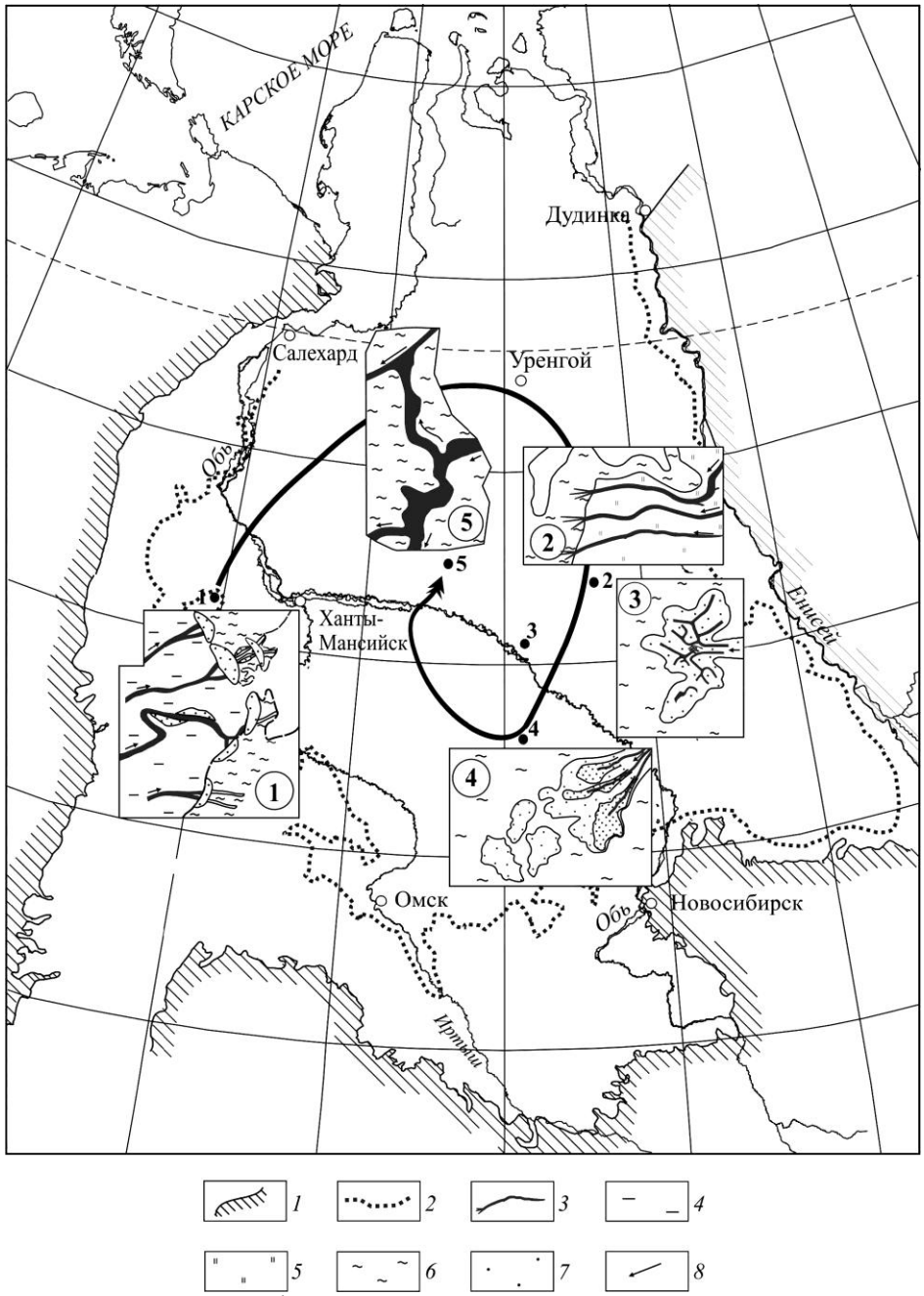


Рис. V.8.9. Палеогеографические реконструкции васюганского горизонта по коллектору $Ю_1$, демонстрирующие закрепление в разрезе наиболее «удобных» палеоландшафтов (для рассматриваемого объекта – конусов выноса дельтовых потоков) (В. П. Алексеев и др., 2014):

1 – граница Западно-Сибирского бассейна; *2* – граница площади развития келловей-оксфордских отложений; *3–7* – палеоландшафты: *3* – русла рек, *4* – межрусловые пространства, *5* – болота, *6* – прибереговое мелководье, *7* – бары и конусы выноса рек; *8* – направление движения водотоков. Цифры 1–5 соответствуют участкам, для которых выполнены реконструкции разными авторами (точками показано их положение на общей карте, а кружками – фрагменты упрощенных, схематизированных карт). Жирная круговая стрелка отражает последовательные характеристики участков (от 1-го до 5-го)

V.9. БАЖЕНОВСКО-АБАЛАКСКИЙ КОМПЛЕКС (БАК)

V.9.1. Общие представления

Доманикиты [domanikites] – тонкозернистые, часто тонкоплитчатые осадочные породы черного, реже бурого цвета, обогащенные сапропелевым ОВ. В специальной литературе доманикиты часто именуются битуминозными глинами, аргиллитами или черными сланцами. Такие названия ошибочны, так как содержание глинистой фракции в них, как правило, не превышает 30 %, а нередко она вообще отсутствует. Содержание ОВ в доманикитах колеблется от 5 до 20 %. Если в горных породах содержание ОВ > 20 %, они переходят в горючие сланцы, если < 5 % – в глинистые и глинисто-карбонатные породы (доманикоиды при $C_{орг}$ 0,5–5 %). При содержании ОВ < 8 % скачком меняется состав пород – исчезает, например, свободный аутигенный кремнезем, что сказывается и на характере вторичных изменений, в частности на возможности формирования в доманикитах в ходе этих изменений эффективных коллекторов. Накопление доманикитов происходит преимущественно в глубоководных морских бассейнах с нормальной соленостью при низких скоростях терригенного осадконакопления, обеспечивающих обогащение горных пород. РОВ. Доманикиты, как и доманикоиды, являются типичными нефтематеринскими породами (Геологический словарь, 2010, т. 1).

Таблица V.9.1

Состав отложений баженовской свиты; по данным ВНИГРИ

Компонент	Содержание общее %
Аутигенный кремнезем	29,5
Глинистая фракция	29,5
Органическое вещество	22,5
Алевритовая фракция	5,0
Карбонаты	11,0
доломит	1,5
кальцит	3,5
пирит	2,5

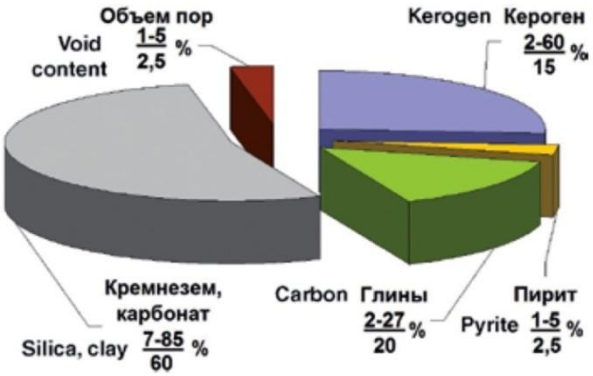


Рис. V.9.1. Минерально-компонентная модель баженовской свиты (район деятельности ООО «РН-Юганскнефтегаз») (И. С. Афанасьев и др., 2010)

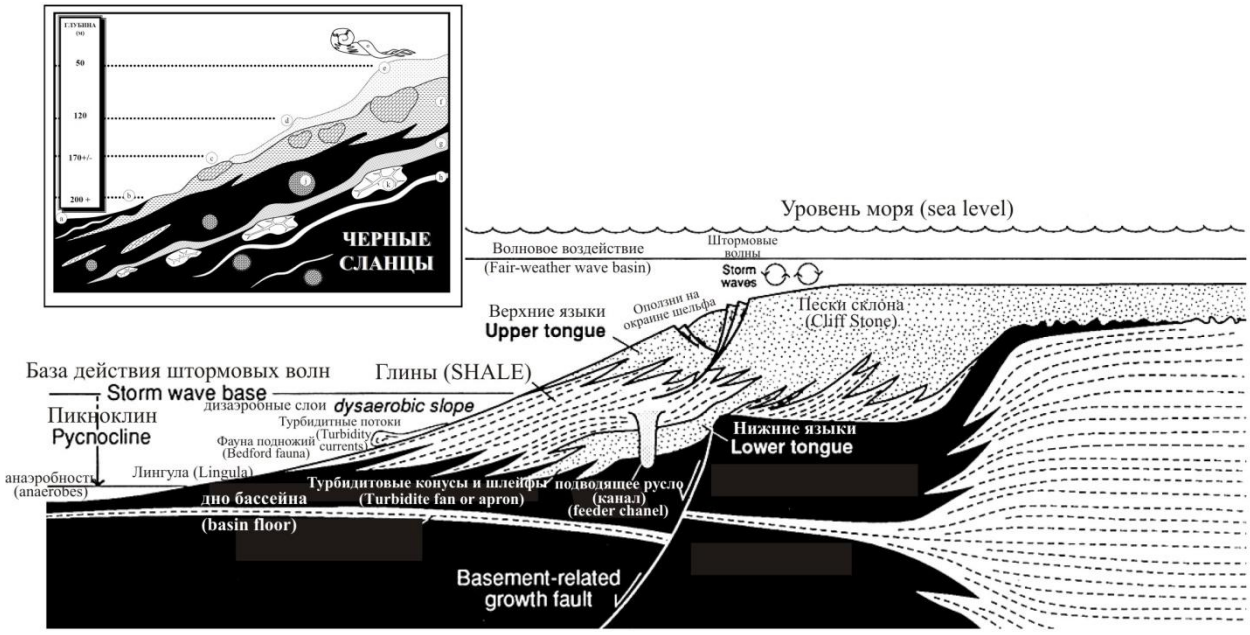


Рис. V.9.2. Модель осадконакопления для секвенции Бэдфорд в Восточном Кентукки и Западной Вирджинии (F. R. Ettensohn e. a., 2009). В левом верхнем углу – врезка со схемой из работы (G. C. Baird, C. E. Brett, 1991)

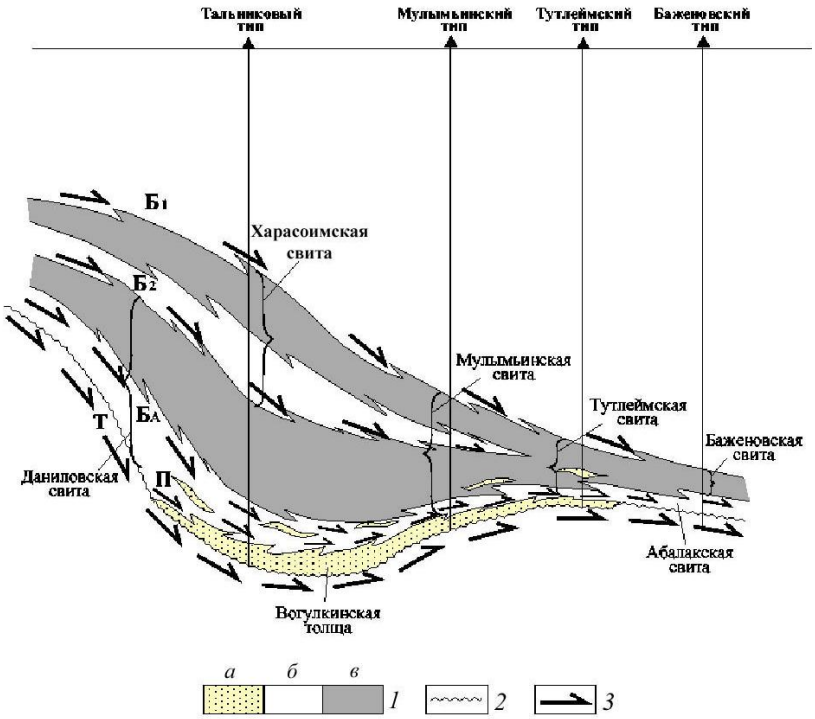


Рис. V.9.3. Принципиальная схема залегания глинисто-битуминозной формации (Ю. Н. Федоров, 2004):

1 – породы: *а* – песчаные, *б* – глинистые, *в* – битуминозные; *2* – несогласия; *3* – отражающие горизонты, фиксирующие возрастное скольжение (см. также рис. V.1.10)

V.9.2. Строение и палеогеография (коллектор $Ю_0$)

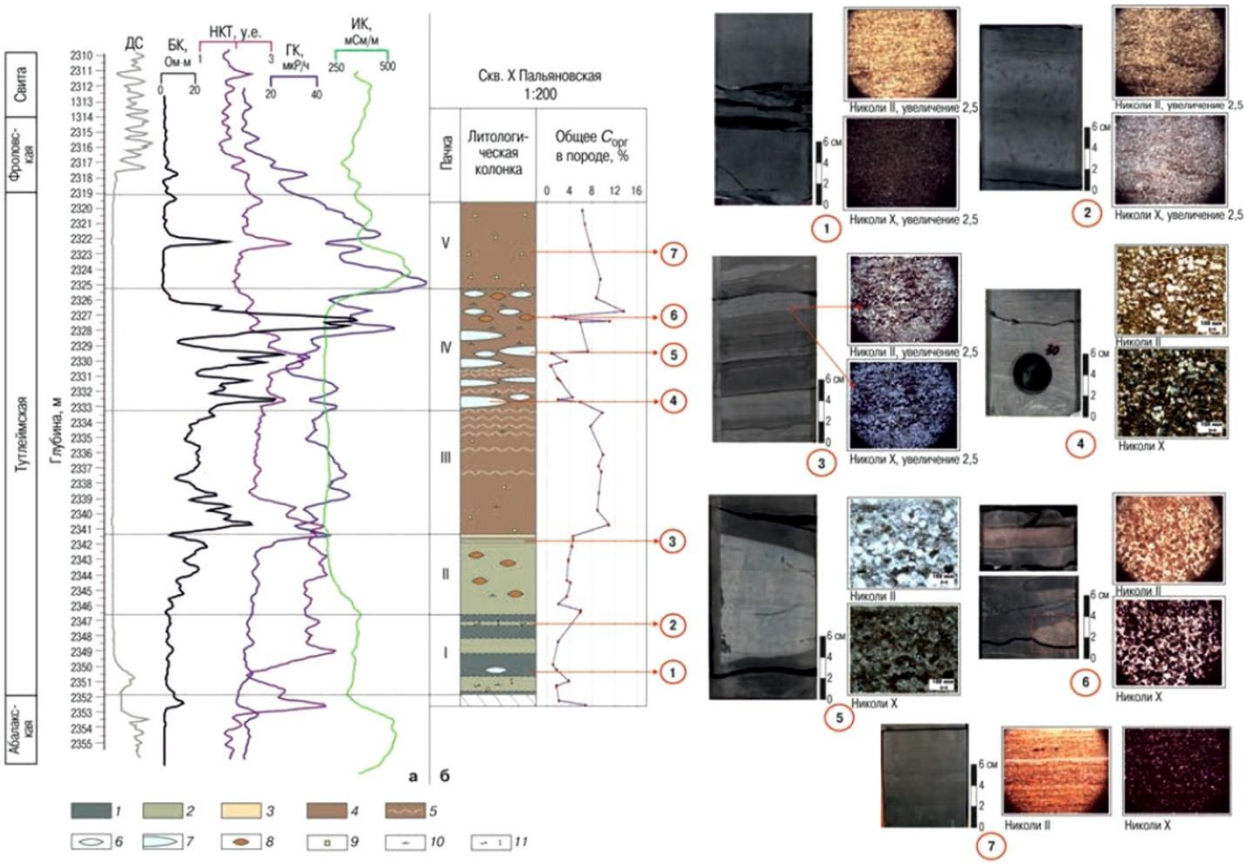


Рис. V.9.4. Комплексная литолого-физическая характеристика разреза баженовского горизонта (на примере скв. X Пальяновской площади (К. В. Стрижнев, 2015):

1 – аргиллиты кремнистые; *2* – силициты глинистые; *3* – силициты биоморфные; *4* – глинисто-кремнистые высокоуглеродистые породы; *5* – прослои раковинного детрита; *6*, *7* – карбонатные конкреции соответственно мелкие и крупные; *8* – стяжения фосфоритов, *9* – выделения сульфидов; *10* – известковистость; *11* – ходы илоедов

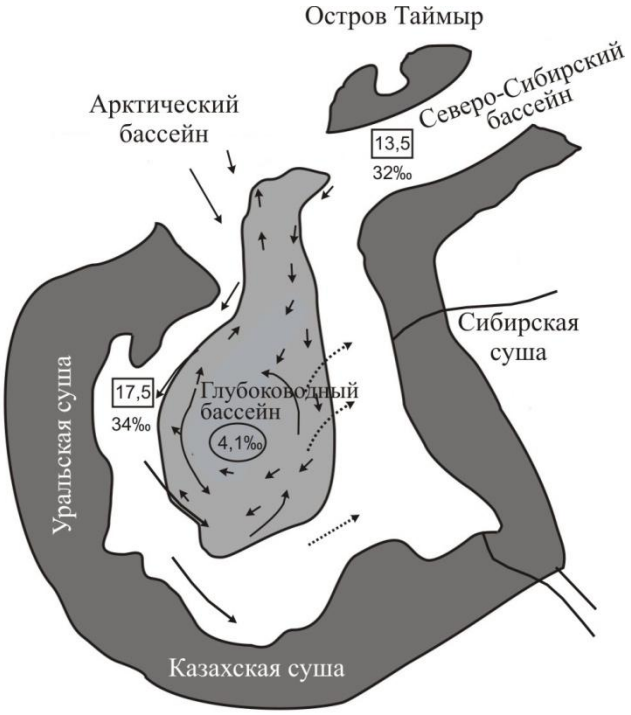
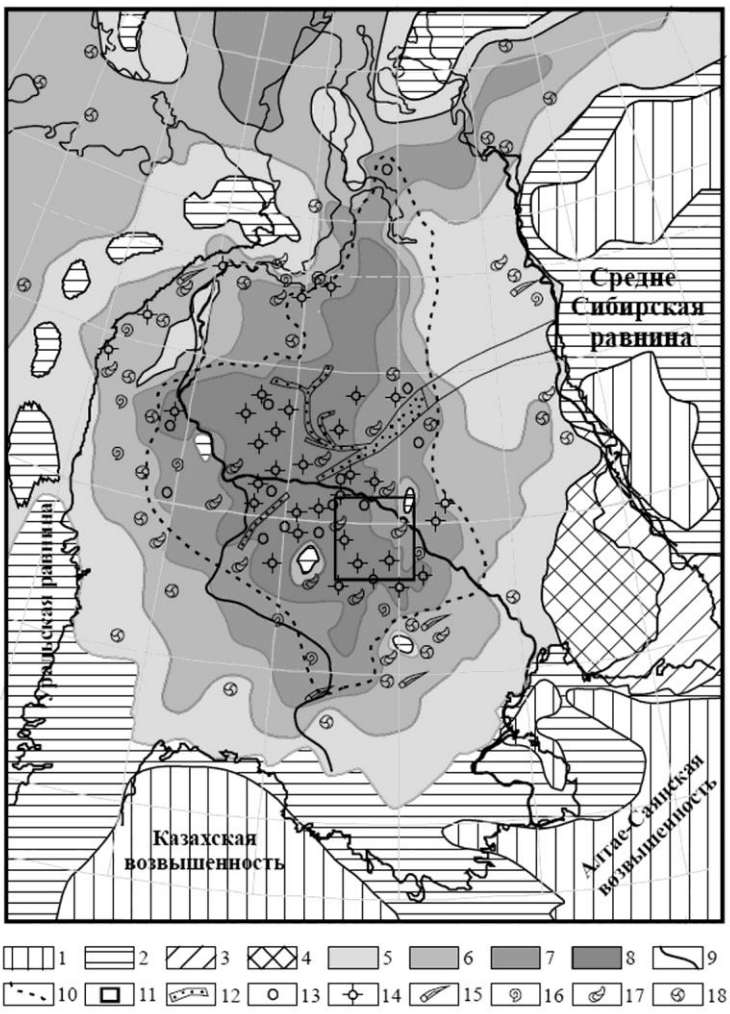


Рис. V.9.5. Палеогеографическая схема Западно-Сибирского бассейна и смежных бассейнов на севере в баженовское (волжско-берриасское) время (В. А. Захаров, 2006).

Предполагаемые течения: теплые (длинные сплошные стрелки) и прохладные (пунктирные стрелки) поверхностные и холодные придонные (короткие стрелки). Затенена халистатическая зона. Суши – Сибирская, Казахская, Уральская и Таймырская показаны темно-серым цветом. Цифры в прямоугольниках – среднегодовая температура вод пелагиали (в град. Цельсия) по результатам изучения ^{18}O; в овале – предполагаемые температуры придонных глубинных вод и абсолютная палеосоленость, высчитанная методом Ракера-Валентайна по раковинам устриц

Рис. V.9.6. Палеогеографическая карта Западной Сибири в поздневолжское время (Е. А. Предтеченская и др., 2006).

Палеогеографические обстановки: *1* – плато, нагорья, горные области (> 600 м); *2* – области денудации (холмистое плато) (200-600 м); *3* – аллювиально-озерно-болотная равнина (до 200 м); *4* – марши, лагуны; *5* – верхняя сублитораль; *6* – средняя сублитораль; *7* – нижняя сублитораль; *8* – псевдобатиаль. Границы: *9* – Западной Сибири; *10* – битуминозных отложений; *11* – район исследований; *12* – аномальные разрезы. Органические остатки: *13* – кокколитофориды; *14* – радиолярии; *15* – белемниты; *16* – аммониты; *17* – двустворчатые моллюски; *18* – фораминиферы



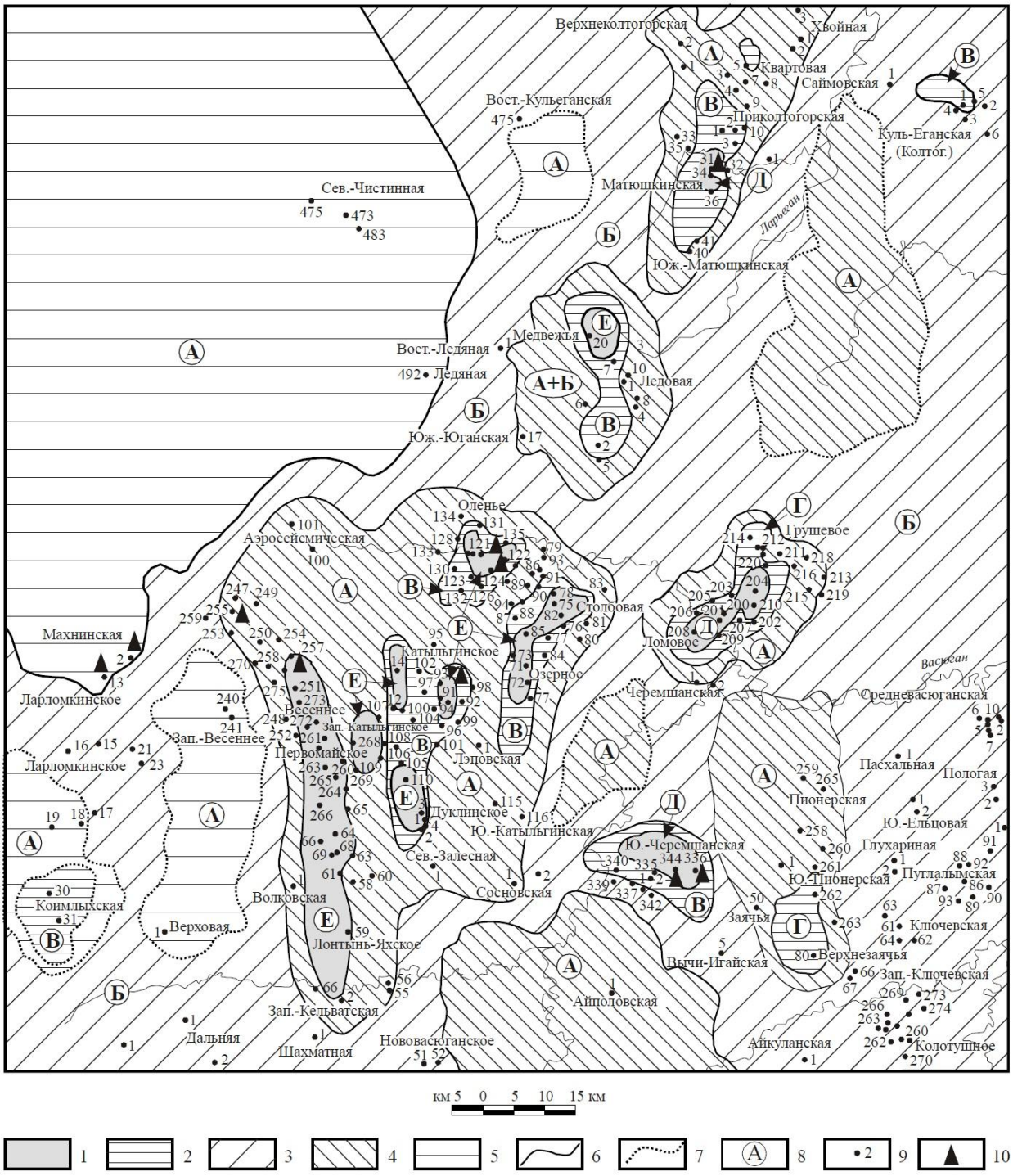


Рис. V.9.7. Схематическая литолого-палеогеографическая карта Каймысовской акватории Баженовского моря (Е. А. Предтеченская и др., 2006).

Палеографические обстановки: *1* – ракушняковые банки относительно мелководные; *2* – ракушняковые банки относительно глубоководные; *3* – нижняя сублитораль; *4* – депрессионные зоны нижней сублиторали; *5* – псевдобатиаль. Границы: *6* – установленные по литологическим и геохимическим признакам; *7* – установленные по структурно-фациальным признакам; *8* – иловые впадины: А – кремнистые (радиоляриевые) илы; Б – смешанные кремнисто-карбонатные илы. Подводные ракушняковые банки: В – относительно глубоководные (глуб. свыше 100 м); Г – более мелководные (глуб. 60-100 м); Д, Е – мелководные (глуб. 30-60 м); *9* – изученные скважины и их номера; *10* – нефтеносные скважины

V.9.3. Аномальный разрез баженовской свиты (АРБ)

На ряде участков «обычный» темноокрашенный облик баженовской свиты сильно изменяется за счет включения интервалов светлоокрашенных песчаников. Такие разрезы получили название «аномальных». Насчет причин их формирования имеется ряд точек зрения (С. Ф. Кулагина и др., 2017); они приведены в табл. V.9.2. Механизм формирования АРБ с седиментогенных позиций, на небольших глубинах, раскрыт в ряде публикаций В. Ф. Гришкевича и др. (В. Ф. Гришкевич и др., 2017); увеличение толщин баженовской свиты на участках с ее «опесчаниванием» легко объясняется различиями в уплотнении пород (рис. V.9.8; см. п. III.11).

Таблица V.9.2

Формирование аномальных разрезов баженовской свиты (АРБ): факторы, гипотезы и возможные варианты

Механизм / Время	Седиментогенный: самоорганизация (аутогенный)	Седиментогенный: наложенный (алло-, ксено-генный)	Тектоно-генный
Сингенетично	① Донно-течениевые потоки; фациальное замещение	② Турбидиты	③ — (системообразующий фактор)
Диагенетично - диахронно	④ Клиноформно-диастемальный тип	⑤ Сейсмо-турбидиты	⑥ Изостазия
Постгенетично	⑦ — (псевдотектоника)	⑧ Олистостромы	⑨ Шарьяжи, диапиры, флюидодинамика

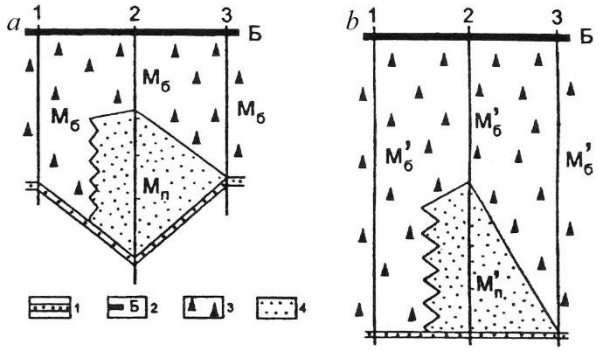


Рис. V.9.8. Аномальный разрез баженовской свиты по условной линии скважин 1–3 в скв. 2 (*a*) и его реконструкция с учетом резко различного уплотнения пород при эпигенезе (*b*) (см. п. III.11): *1* – георгиевская свита; *2* – кровля баженовской свиты (отражающий горизонт Б); *3* – битуминозные алевроаргиллиты; *4* – песчаники. При пересчете толщин коэффициент уплотнения песчаников принят за 1,0 ($М'_п = М_п$), а баженитов – за 2,0 ($М'_б = 2М_б$)

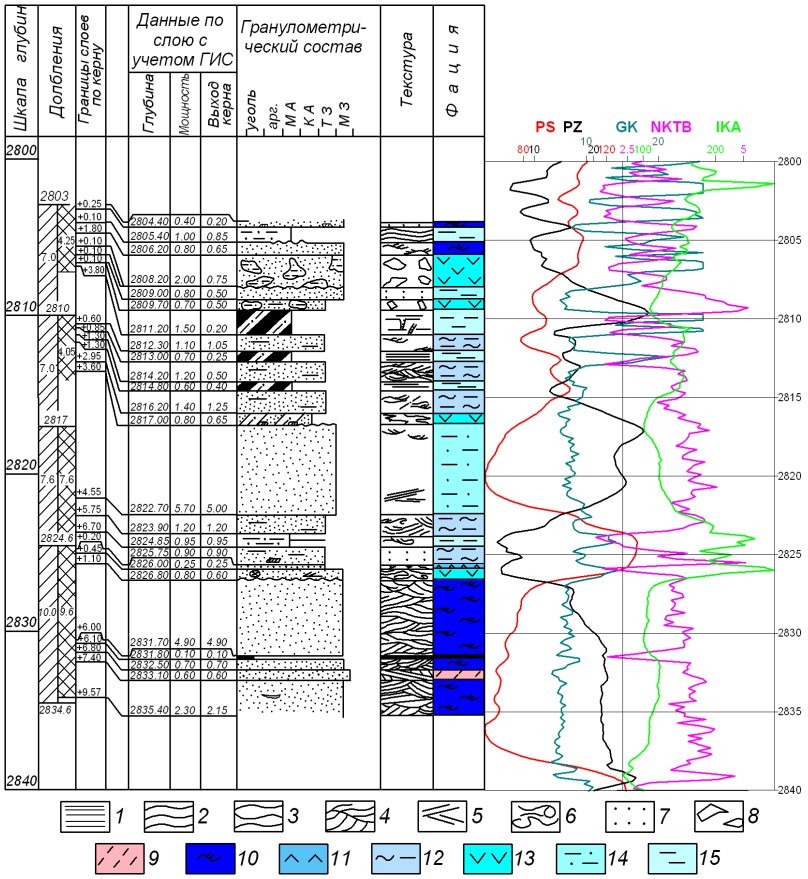


Рис. V.9.9. Фрагмент колонки скв.215 Северо-Покачевского месторождения в интервале, охватывающем «аномальный» разрез баженовской свиты:

Текстуры: *1-5* – слоистость: *1* – горизонтальная, *2* – пологоволнистая, *3* –линзовидноволнистая, *4* – косоволнистая, *5* – косая; *6* – нарушенная взмучиваниями и оползаниями; *7* – массивная текстура; *8* – включения остроугольных обломков.

Фации: *9* – песчаных осадков подводнодельтовых конусов выноса (БДД), *10* – песчаных осадков активного (барового) бассейнового мелководья (БМБ), *11* – алевропесчаных осадков активного глубоководья (георгиевская свита), *12* – песчаных осадков удаленного бассейнового мелководья, *13* – «пуддинговых» осадков течениевых потоков (БУА), *14* – песчаных осадков открытой части бассейна (БУЗ), *15* – алевроглинистых и битуминозных осадков открытой части бассейна (БУГ)

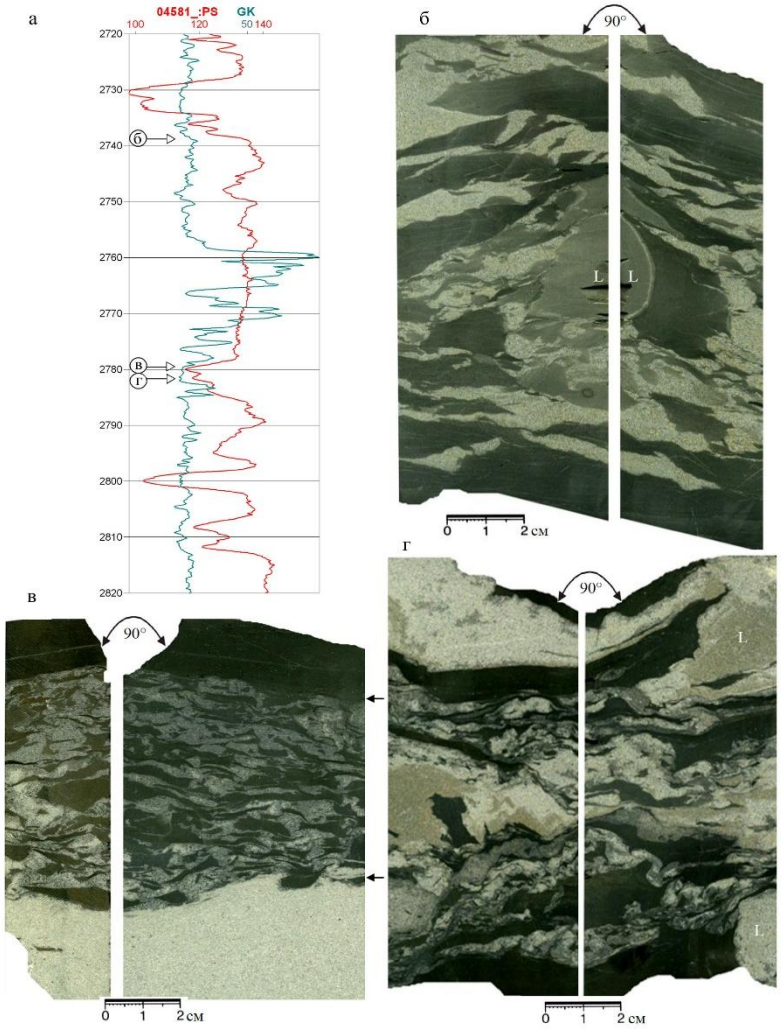


Рис. V.9.10. Сканированное изображение образцов керна, отобранных из аномального разреза баженовской свиты (Ключевское месторождение, Широтное Приобье):

а – фрагмент колонки скважины, с указанием места отбора образцов;

б – «пуддинговый» песчаник. Достаточно однородная основа (matrix) представлена мелкозернистым сравнительно хорошо сортированным песчаником. В нем содержится до 40 % линз и обломков битуминизированных алевроаргиллитов. При сильно меняющихся размерах они в основном уплощенные (соотношение осей от 1:3 до 1:10), с неровными, остроугольными окончаниями. В центре – округлая линза серого цвета (L) более дальнего переноса, со светлым окаймлением (карбонатизацией), хорошо заметным в правом срезе;

в – нижняя часть образца: тонко-мелкозернистый хорошо сортированный массивный песчаник с единичными литокластами (на левом срезе). Фация песчаных зерновых потоков удаленной части бассейна (БУЗ). Верхняя часть – известково-алевроаргиллитовая органогенная порода (баженит). Между стрелками – собственно отложения АРБ. В песчаном матриксе (от нижнего слоя отличается серым цветом в силу «зараженности» тонким алевритовым материалом) значительное количество (до 20 %)уплощенных линз и обломков баженитов близкой размерности (1-3 х 5-20 мм) и остроугольной формы;

г – меланжевый песчаник, фиксирующий подводное обрушение некоего уступа в слабоконсолидированном рельефе. Собственно песчаник мелкозернистый, довольно плохосортированный в результате смешения слабосцепленных частиц. Это подчеркнуто пятнистой текстурой песчаных квазиколобков, имеющих размер 1,5-2 см (L). Обрывки алевроаргиллитов черного и темно-серого цвета занимают до 30 % объема, имеют причудливые «махровые» контакты, частично сохраняя уплощенную форму

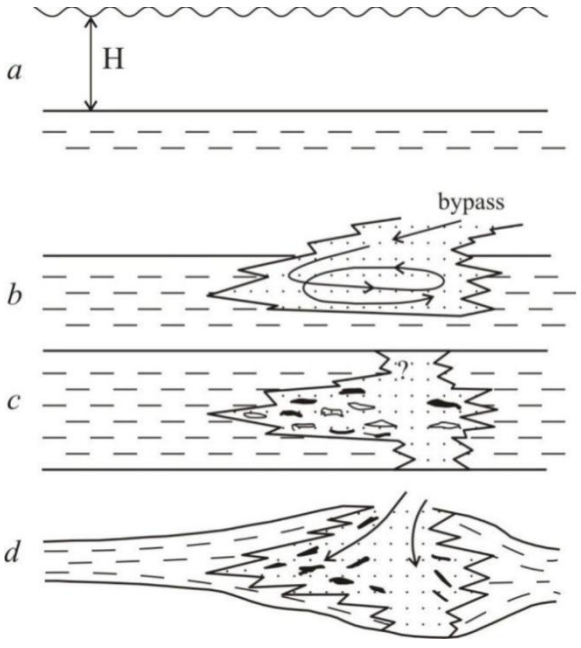


Рис. V.9.11. Принципиальная последовательность формирования аномальных разрезов баженовской свиты (АРБ):

a – накопление отложений баженовской свиты в анаэробной среде при глубине дна бассейна (*H*) около 200 м;

b – привнос песчаного материала, распределяемого геострофическими течениями (показано спиралевидной стрелкой);

c – синседиментационное положение АРБ;

d – постседиментационные нарушения, в том числе за счет различий в уплотнении осадков

V.10. АЧИМОВСКАЯ ТОЛЩА

V.10.1. Общие представления

На рис. V.10.1 приведен фрагмент геологического строения неокомских отложений (берриас + валанжин + готерив + баррем = 125-145,5 млн лет: см. рис. IV.3.5). В более общем виде оно было отображено на рис. V.1.9, V.1.10. Как видно, эти сведения являются прекрасной иллюстрацией *основного фациального закона*, рассмотренного в IV.5, с выводами из него в IV.6-IV.7.

На разрезе отчетливо видно «промежуточное» положение ачимовской толщи между достаточно хорошо распознаваемыми «баженитами» и основными продуктивными пластами неокома групп А и Б. Вкупе с малой освещенностью керном это обусловливает существенные трудности фациальной диагностики отложений данной части разреза.

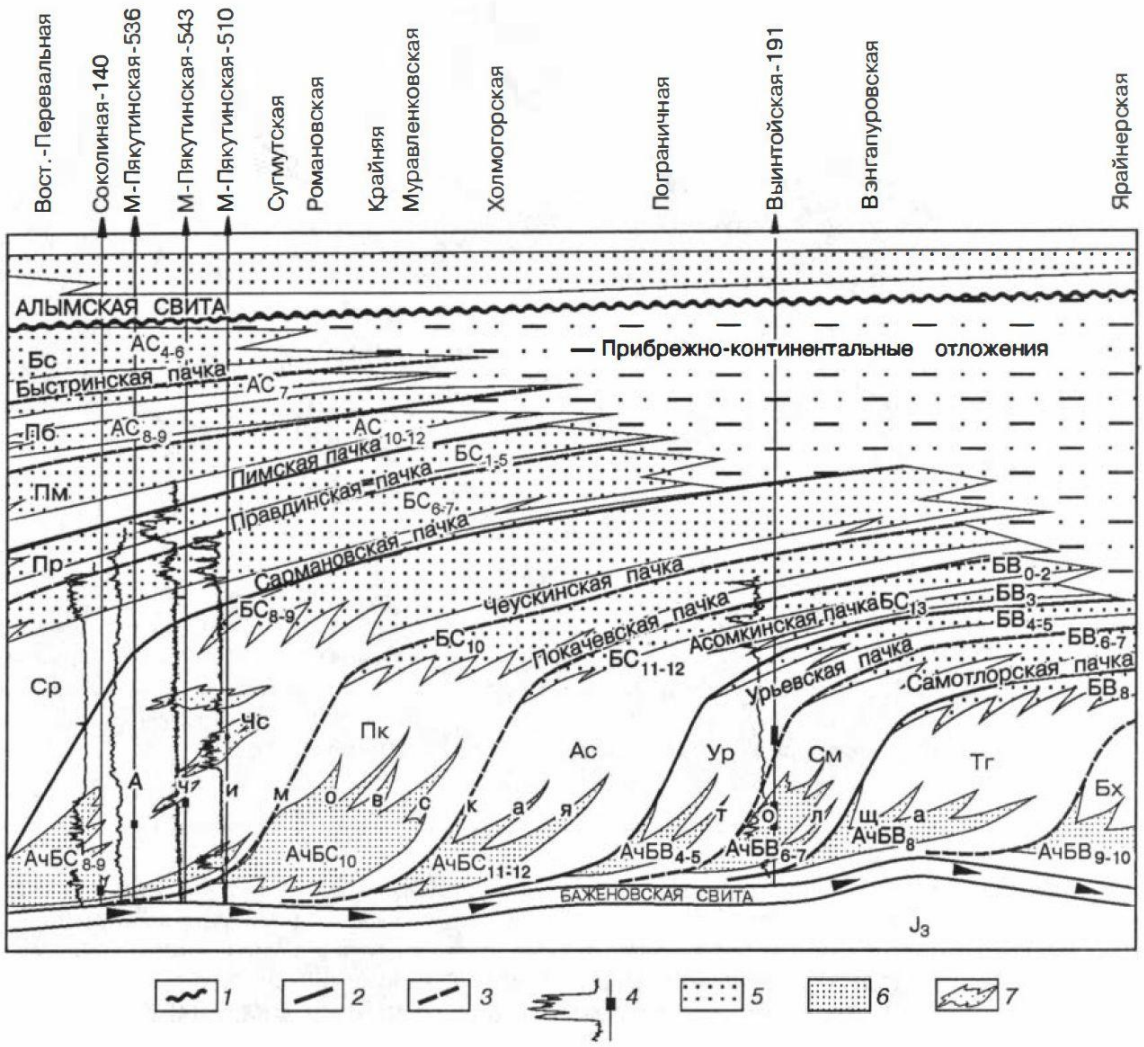


Рис. V.10.1. Фрагмент принципиальной модели клиноформного строения неокомского продуктивного комплекса центральных районов Западной Сибири (Северное Приобье, 2000, с. 49; с изменениями по К. В. Звереву, В. А. Казаненкову, 2001)

Клиноциклиты: Бс – быстринский, Пб – приобский, Пм – пимский, Пр – правдинский, Ср – сармановский, Чс – чеускинский, Пк – покачевский, Ас – асомкинский, Ур – урьевский, См – самотлорский, Тг – тагринский, Бх – бахиловский. Границы: *1* – нексоциклитов, *2* – региональных клиноциклитов, *3* –субрегиональных клиноциклитов; *4* – кривая ПС и интервалы отбора керна; *5* – мелководно-морские песчаники, *6* – глубоководно-морские песчаники (подножие склона); *7* – склоновые песчаники

V.10.2. Турбидитная концепция

Описание турбидитов или плотностных потоков и формируемых ими конусов выноса приведено в п. II.13.2. Для ачимовских отложений оно выполнено в работе (Сейсмологический …, 1992) и в виде блок-диаграммы показано на рис. V.10.2. (см. также рис. II.13.4).

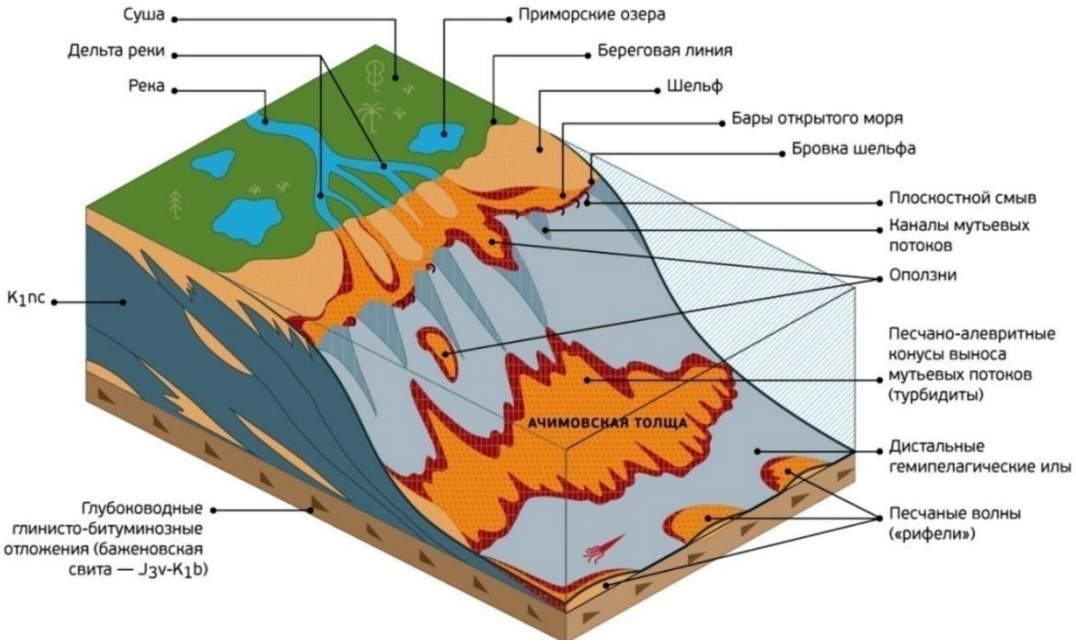


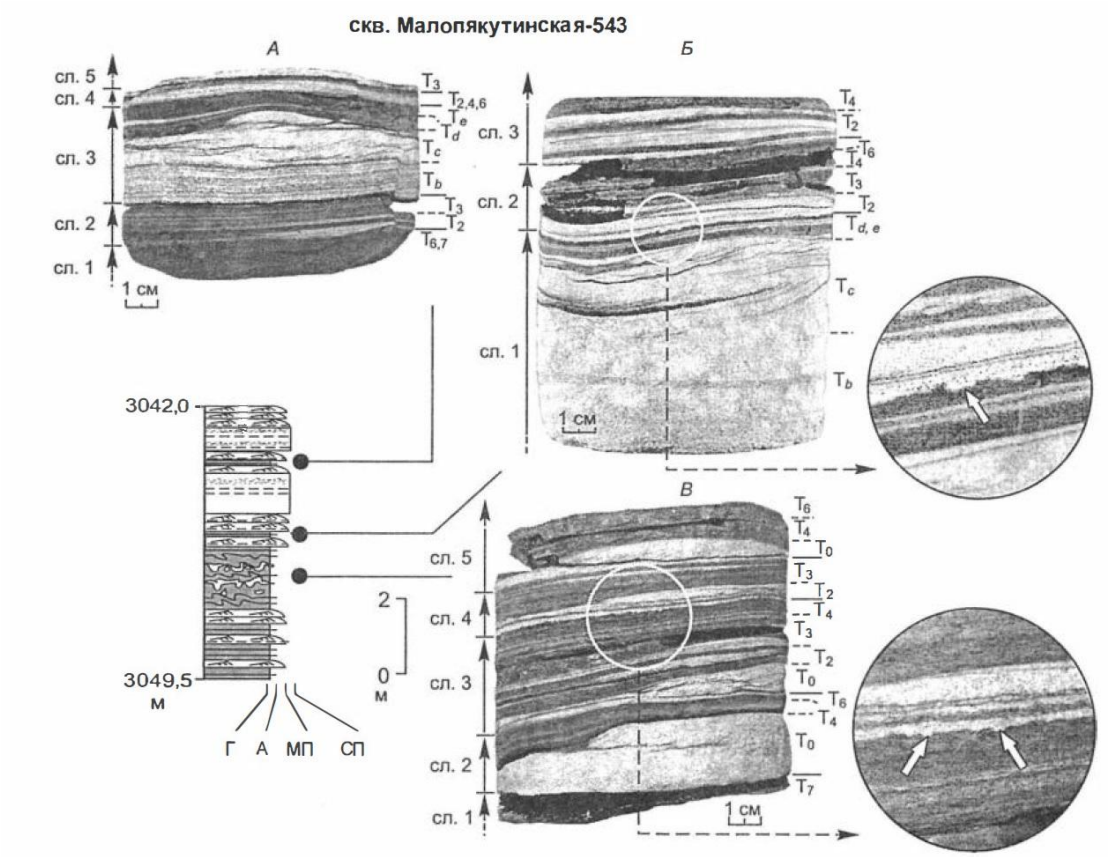
Рис. V.10.2. Принципиальная схема формирования ачимовских отложений Западной Сибири (Геология…, 2000)

Последовательное представление о формировании ачимовских отложений в рамках данной концепции дают табл. V.10.1; рис.V.10.3 – V.10.5.

Таблица V.10.1

Литологическая характеристика литофаций ачимовской толщи
(К. В. Зверев, В. А. Казаненков, 2001)

Литофация	Литологическая характеристика породы	Мощность осадочных единиц	Строение и текстурные особенности (с сокращениями)	Текстурная последовательность в единицах T_{a-e} и T_{0-8}	Осадочный процесс
1. Массивные и горизонтально-слойчатые песчаники	Песчаник кварцево-полевошпатовый, средне- и мелкозернистый, от плохо до среднесортированного	От 0,5-1 до 4-10 м	Массивные бестекстурные песчаники, местами тонкая горизонтальная слойчатость в средней и верхней части песчаных слоев и пачек, горизонты интракластов аргиллита и глинистого алевролита	T_a, T_{ab}	„Проксимальные" высокоплотные турбидитовые течения
2. Градационные горизонтально- и мелкокосослойчатые песчаники	Песчаник кварцево-полевошпатовый, мелкозернистый реже среднезернистый, плохо и среднесортированный	От 0,03-0,05 до 0,5 м	Горизонтальная и мелкая косая слойчатость, редко массивный песчаник, в основании слоев резкая нижняя граница и градационная кровля песчаных слоев	T_a, T_{ab}, T_{abcde}, T_{acde}, T_{bcde}, T_{cde}	Низкоплотные песчаные турбидитовые течения
3. Массивные алевролиты с глинистыми интракластами	Алевролиты песчанистые, плохо сортированные; крупнозернистые разности кварцево-полевошпатовые	От 0,1 до 2 м	Массивные алевролиты; рассеянный тонкий и мелкий углистый детрит; резкие неэрозионные нижняя и верхняя границы слоев; горизонты несортированных линейно ориентированных глинистых интракластов		Тонкозернистые дебрисные потоки
4. Градационные алевролиты и аргиллиты	Алевролиты среднесортированные полевошпатово-кварцевые, аргиллиты массивные	От 0,8-1 до 5-6 см	Алевролиты мелкокосослойчатые до горизонтально-слойчатых, резкая нижняя поверхность слоев, часто с текстурными внедрениями, в верхней части слоев алевролит градационно переходит в аргиллит; аргиллиты массивные, небиотурбированные или слабобиотурбированные	$T_{0,1,2,3}$, $T_{0,1,3,4}$, $T_{0,3,4,6}$, $T_{0,4,6}$, $T_{2,4,6}$, $T_{3,4}$, $T_{3,4,6}$	Низкоплотные тонкозернистые турбидитовые течения; гемипелагическая седиментация (осаждение наиболее тонких взвешенных фракций из тонкозернистого шлейфа турбидитового течения и из нефелоидного слоя)



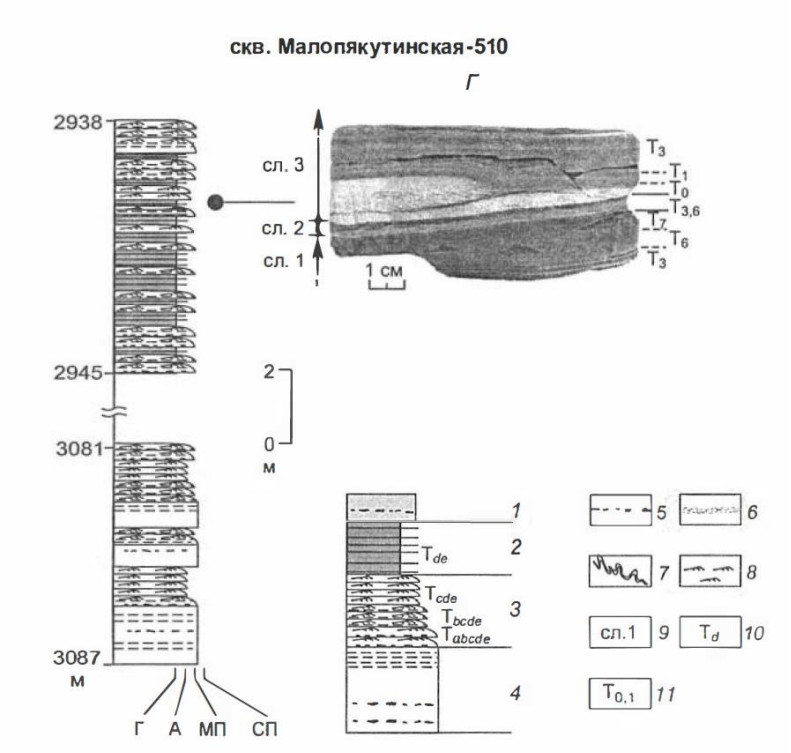


Рис. V.10.3. Литологическая характеристика ачимовских отложений (С. В. Ершов и др., 2001).

Во всех образцах (*А* – *Г*) видно тонкое переслаивание тонкозернистых турбидитов (литофация 4). Слои песчаных турбидитов (литофация 2) более толстые (образцы: *А* – сл. 3 и *Б* – сл. 1) и характеризуются небольшой толщиной верхней глинисто-алевритовой части (текстурные интервалы *d* и *e*). В подошве некоторых слоев тонкозернистых турбидитов (литофация 4) видны текстуры нагрузки (показаны стрелками в кружках). *1* – массивные алевролиты (литофация 3); *2* – градационные алевролиты и аргиллиты (литофация 4); *3* – градационные горизонтально- и мелкокосослойчатые песчаники (литофация 2); *4* – массивные и горизонтально-слойчатые мелко- и среднезернистые песчаники (литофация 1); *5* – интракласты алевролитов и аргиллитов; *6* – скопления углистого детрита; *7* – текстуры конседиментационных деформаций, имеющие преимущественно оползневую природу; *8* – мелкая косая слойчатость течениевой ряби; *9* – номера турбидитовых слоев; *10* – обозначение текстурных подразделений последовательности Боума; *11* – обозначение подразделений последовательности Стоу. На гранулометрической линейке: Г – аргиллит, А – алевролит, МП – мелкозернистый песчаник, СП – среднезернистый

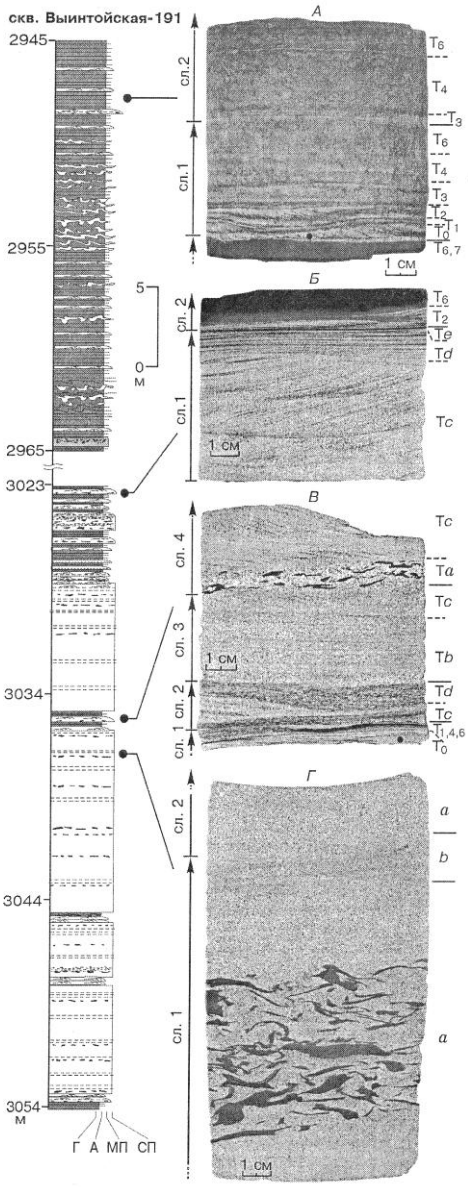


Рис. V.10.4. Литологическая характеристика отложений неокома в разрезе скважины Выинтойская-191 (К. В. Зверев, В. А. Казаненков, 2001).

В интервале 3054-3023 м отложения ачимовской толщи, в интервале 2965-2945 м – надачимовские алевролиты и аргиллиты. Справа от литологической колонки показано строение песчаных турбидитов (литофация 2; *Б* (сл. 1), *В* (сл. 2, 3, 4)) и тонкозернистых турбидитов (литофация 4; *А, Б* (сл. 2), *В* (сл. 1)). Слои песчаных турбидитов в образце *(В)* имеют неполную текстурную последовательность. *Г* – горизонт глинистых интракластов в мелкозернистом массивном песчанике (литофация 1). Заметно отсутствие сортировки глинистых обломков и их субгоризонтальная ориентировка. В верхней части образца в песчанике различается слабовыраженная горизонтальная слойчатость

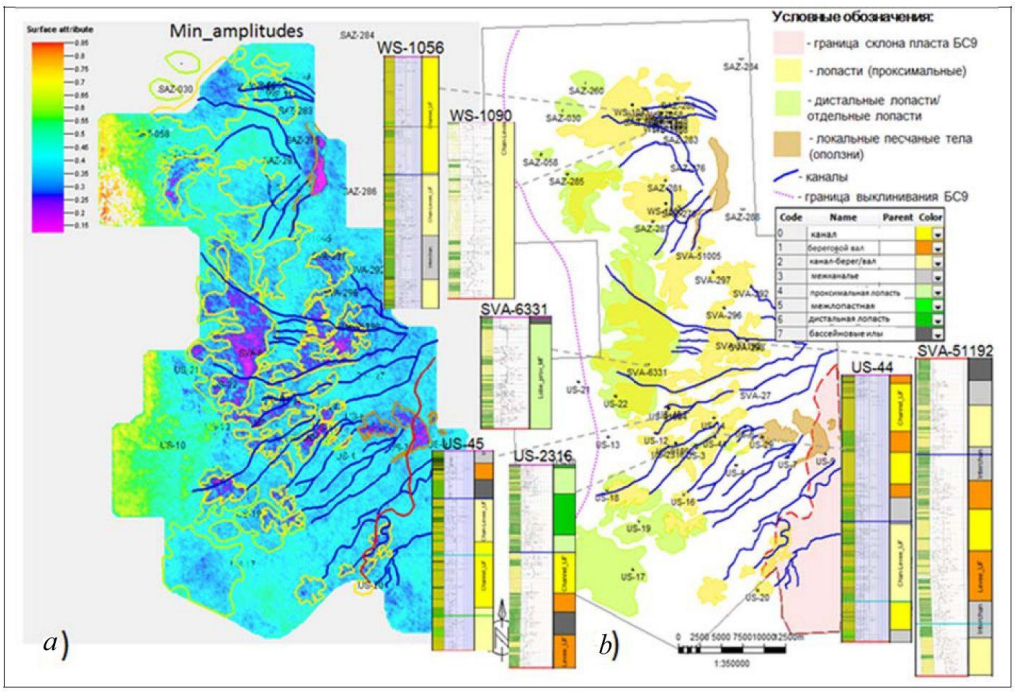


Рис. V.10.5. Схема строения ачимовских отложений клиноформы БС8 (М. С. Алехина и др., 2017): *a* – сейсмофациальная карта, *b* – концептуальная карта с учетом данных керна и ГИС

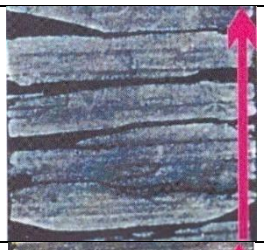
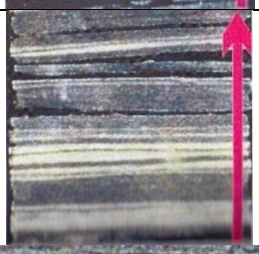
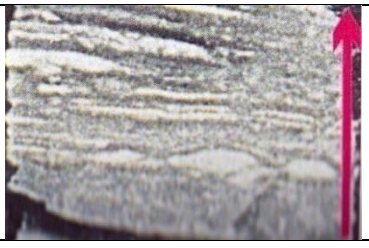
V.10.3. Мелководно-шельфовый вариант

Отнесение ачимовских отложений к «классическим» турбидитам находится в принципиальном противоречии с самим механизмом формирования таковых. Оно связывается с глубинами приемного бассейна **не менее 1000-1200 м**, что соответствует второму уровню лавинной седиментации (см. п. III.9.3). Не имеется сомнений в том, что таких глубин не только во время формирования ачимовской толщи, но и ранее (для заведомо более глубоководных отложений баженовской свиты: см. V.9.2) не было.

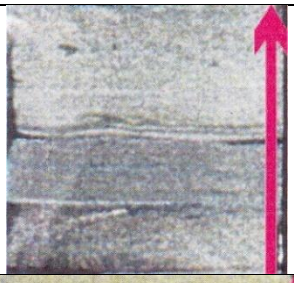
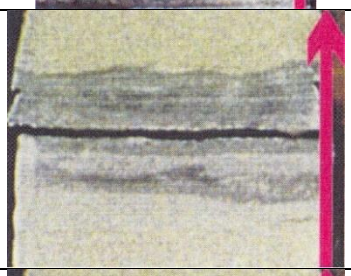
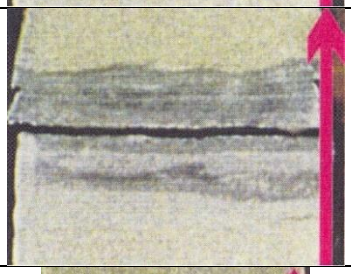
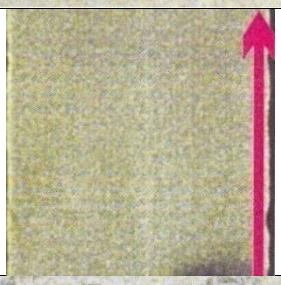
Отмеченное несоответствие нивелируется при принятии «обычного», то есть достаточно мелководного (не более 200 м) генезиса отложений. Возможность *переинтерпретации* фациального состава показана в табл. V.10.2.

Таблица V.10.2

Разные подходы в интерпретации условий осадконакопления

Основные литофации комплекса конуса выноса Приобского типа (П. Е. Сынгаевский и др., 2015. С. 373-382; с сокращениями)	Фото образцов. Длина красной стрелки = 7 см	Интерпретация по Атласу субаквальных нижнемеловых отложений Западной Сибири (В. П. Алексеев, 2014): см. табл. II.5.8
Литофация 1. Однородный аргиллит. Отложение происходило в глубоководно-морских условиях в спокойной части дна бассейна		**Фация БУГ**: алевритоглинистых осадков открытой части бассейна
Литофация 2. Слоистый аргиллит. Отлагались в спокойных глубоководных условиях или под воздействием донных течений		**Фация БМП**: алевритопесчаных осадков дальней зоны подвижного мелководья
Литофация 3. Песчаники с параллельной слоистостью и незначительными следами нагрузки в основании. Условия формирования: дистальная часть конусов выноса		**Фация БМП**: алевритопесчаных осадков дальней зоны подвижного мелководья
Литофация 4. Тонкое переслаивание аргиллитов и мелкозернистых песчаников с горизонтальной, реже волнистой прерывистой слоистостью. Условия образования: насыпи, намывные валы, дистальные части питающих каналов дна бассейна		**Фация БМР**: переслаивания алевритовых и песчаных осадков в зоне активной волновой переработки (проксимальные темпеститы)
Литофация 5. Чередование аргиллитов и мелкозернистых песчаников с волнистой слоистостью. Отлагались в осадочной системе с недостатком песчаного материала, в условиях периодически проявляющихся слабых разнонаправленных течений		**Фация БМА**: алевритопесчаных осадков активного подвижного мелководья (дистальные темпеститы)

Окончание табл. V.10.2

Основные литофации комплекса конуса выноса Приобского типа (П. Е. Сынгаевский и др., 2015. С. 373-382; с сокращениями)	Фото образцов. Длина красной стрелки = 7 см	Интерпретация по Атласу субаквальных нижнемеловых отложений Западной Сибири (В. П. Алексеев, 2014): см. табл. II.5.8
Литофация 6. Мелкозернистые песчаники со слоистостью ряби и следами нагрузки. Отлагались в условиях низкой гидродинамической активности, при меняющемся направлении палеотечений		**Контакт фаций: БМА (верх) и БМР (низ)**: расшифровку аббревиатур см. выше
Литофация 7. Мелкозернистые песчаники с конволютной слоистостью. Условия образования: переработка и модификация благодаря нестабильности субстрата и оползневым явлениям нижнего склона		**Фация БМР**: переслаивания алевритовых и песчаных осадков в зоне активной волновой переработки (проксимальные темпеститы). См. литофацию 4
Литофация 8. Следы нарушений типа соскальзывания и оползания в песчаных отложениях. Характерны для оползневых участков нижнего склона, но могут встречаться повсеместно в пределах заполнения питающих каналов		**Фация БМР**: то же, что литофации 4 и 7 (ритмиты: см. рис. II.4.3)
Литофация 9. Массивные среднезернистые и мелкозернистые песчаники. Отлагались в условиях сильного и среднего течения. Вероятна многократная переработка в окислительной среде, происхождение неясно		**Фация БУЗ**: песчаных осадков зерновых потоков
Литофация 10. Мелкозернистые песчаники со следами биотурбации. Условия формирования: переработка морскими организмами в режиме от очень слабого течения до застойных условий, в окислительной среде		**Фация БУО**: алевритоглинистых и песчаных осадков склонов и оползней
Литофация 11. Косослоистые мелкозернистые песчаники. Условия формирования: активные течения, возможно, штормовая переработка волнами. Наиболее характерны для зоны транспортировки шельфа		**Фация БДА**: алевритопесчаных осадков передовой части дельты

Привлекательный, во многом паллиативный подход изложен в статье (А. В. Ступакова и др., 2017). Вкратце он сводится к следующему. «В районе центрального относительного мелководного плато периодически действовали только внутрибассейновые низкоплотностные турбидитные течения, которые имели штормогенное или цунамигенное происхождение».

V.11. НЕОКОМСКИЙ КОМПЛЕКС (ОСЛОЖНЕННЫЙ ПОДКОМПЛЕКС)

V.11.1. Общие представления

Клинотема (от *клино…* и греч. thema – основание, основа; Rich J.I., 1951; **clinothem) –** толща осадков, сформированная в обстановке, характеризующейся уклоном поверхности дна водоема, например на *континентальном склоне* (Геологический словарь, 2011. Т. 2, с. 55).

Клиноформа (Rich J.I., 1951; **clinoform**) – в первоначальном понимании – обстановка осадконакопления, соответствующая наклонному рельефу дна водоема – от зоны прибоя до глубоководных частей. В современной отечественной литературе термин К. применяют, как правило, для обозначения линзовидных в разрезе седиментационных тел с отчетливыми первичными наклонами слоев, сложенных обломочными породами и формирующихся в склоновой части палеобассейна седиментации за один цикл колебаний, т. е. в значении, соответствующем *клинотеме* в понимании Дж. Рича. В новом значении термин К. широко используют в *секвенс-стратиграфии,* особенно при изучении нефтегазоносных осадочных толщ. Некоторые исследователи считают К. особым видом лито-

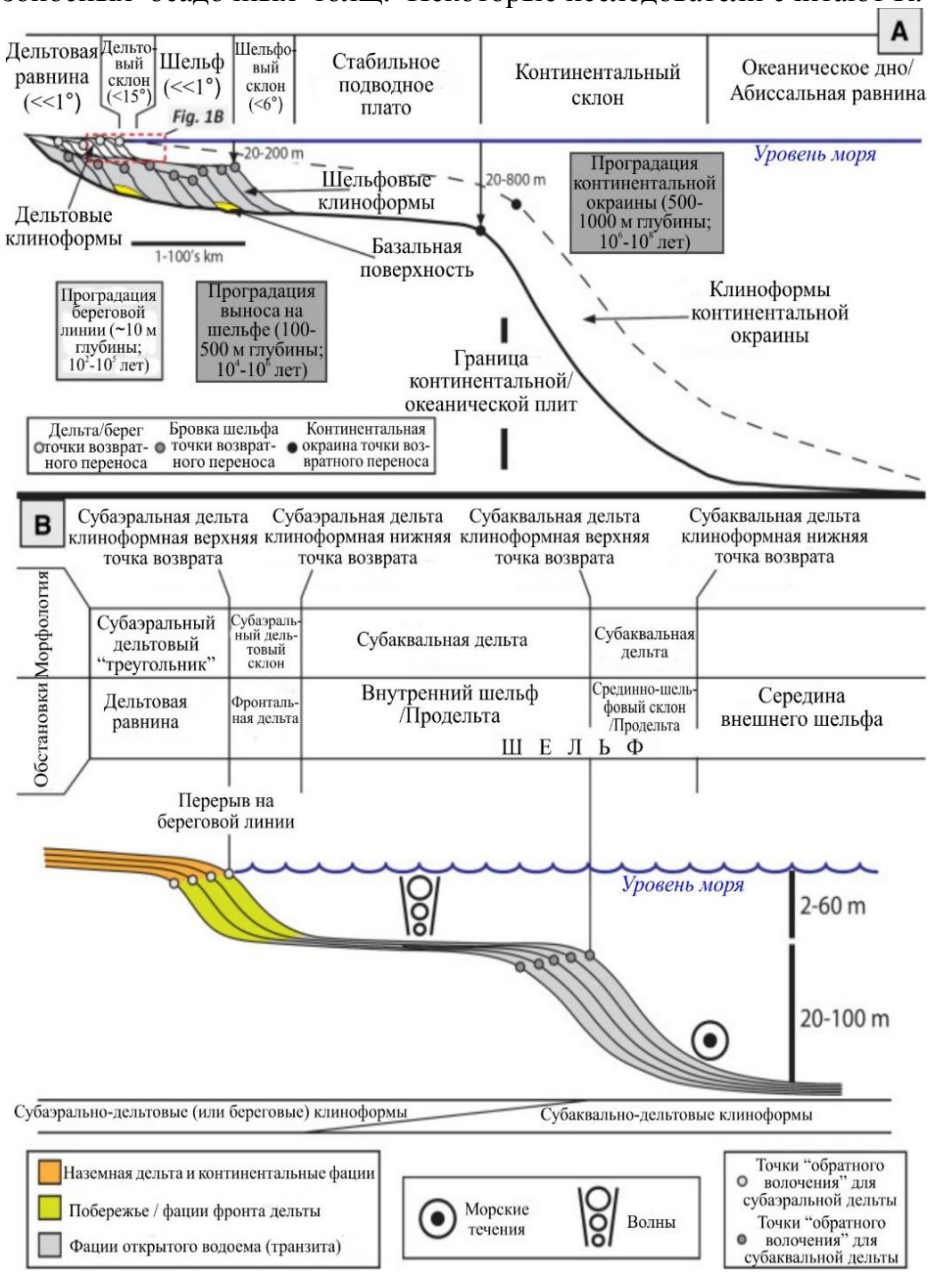


Рис. V.11.1. Клиноформные системы в разных масштабах (S. Patruno e.a. 2015):

А – идеализированный разрез вкрест береговой линии, показывающий три активно вливающиеся системы клиноформ: береговую дельтовую, шельфовую призму и континентально-окраинную;

В – «врезка» в профиль (см. на рис. А), иллюстрирующая прибереговую зону.

На верхних перегибах клиноформ показано три положения rollover point – точек смены передвижения материала от его прямого перемещения в соответствии с гравитацией до «обратного волочения» (dip reversal) в связи с волновыми процессами

стратиграфических или секвенс-стратиграфических подразделений, другие рассматривают как термин свободного пользования. Иногда в К. включают одновозрастные *ундаформу* и *фондоформу*. В крупных платформенных бассейнах (например, на Западно-Сибирской платформе) К. протягиваются вдоль их окраин на сотни километров при ширине в первые десятки километров (Геологический словарь, 2011. Т. 2, с. 55).

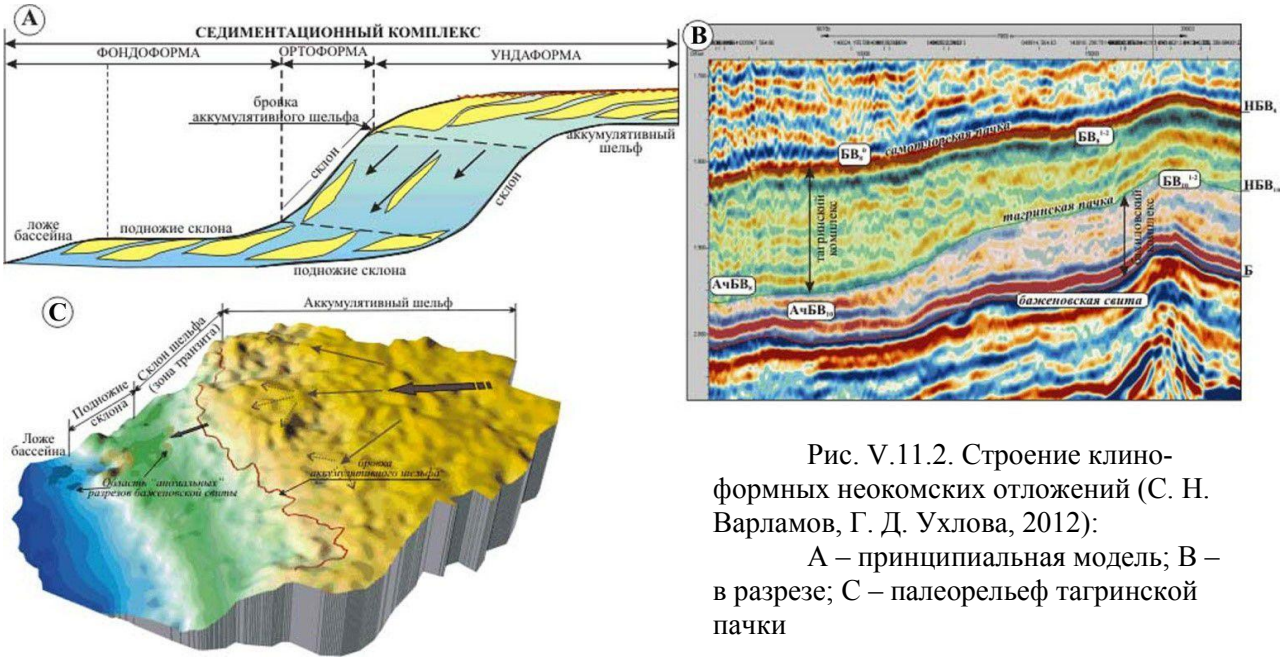


Рис. V.11.2. Строение клиноформных неокомских отложений (С. Н. Варламов, Г. Д. Ухлова, 2012):

А – принципиальная модель; В – в разрезе; С – палеорельеф тагринской пачки

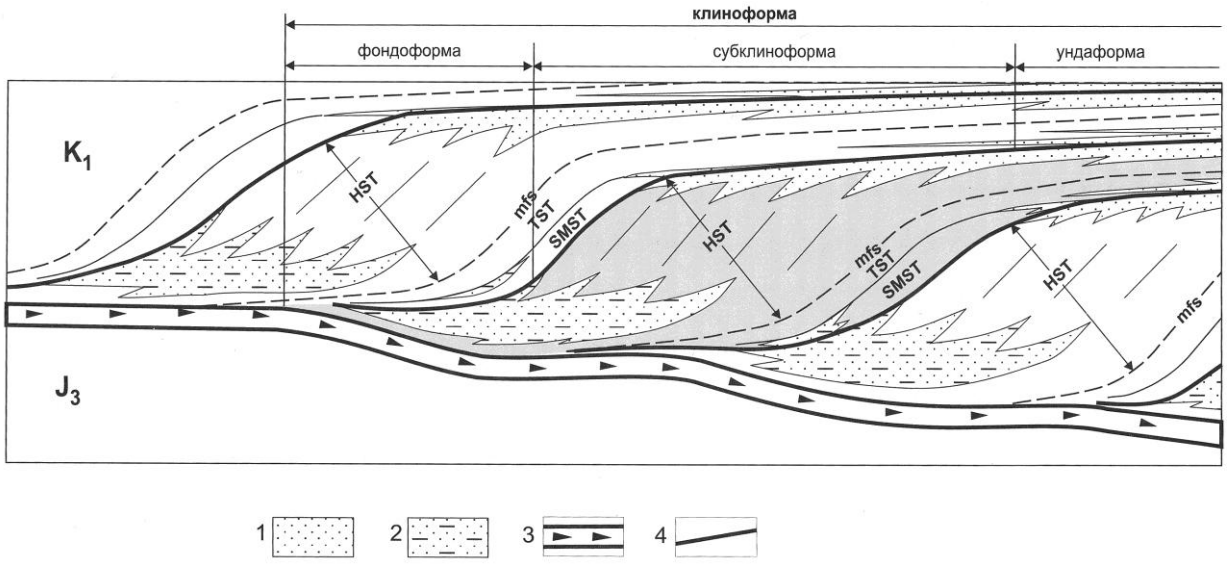


Рис. V.11.3. Принципиальная секвенс-стратиграфическая схема строения неокомских отложений Нижневартовского Приобья (по Ю. Н. Карогодину, 2002: из (Геологическая …, 2006, с. 152; см. также рис. V.10.1):

1 – песчаные шельфовые пласты, *2* – песчано-алевритовые дистальные пласты, *3* – битуминозные аргиллиты баженовской свиты, *4* – границы секвенсов второго типа III порядка.

HST – системные тракты высокого стояния (highstand systems tract), TST – трансгрессивные системные тракты (transgrassive systems tract), SMST – системные тракты шельфовых окраин (shelf margin systems tract), mfs – поверхность максимального затопления (maximum flooding surface)

V.11.2. Основные модели осадконакопления

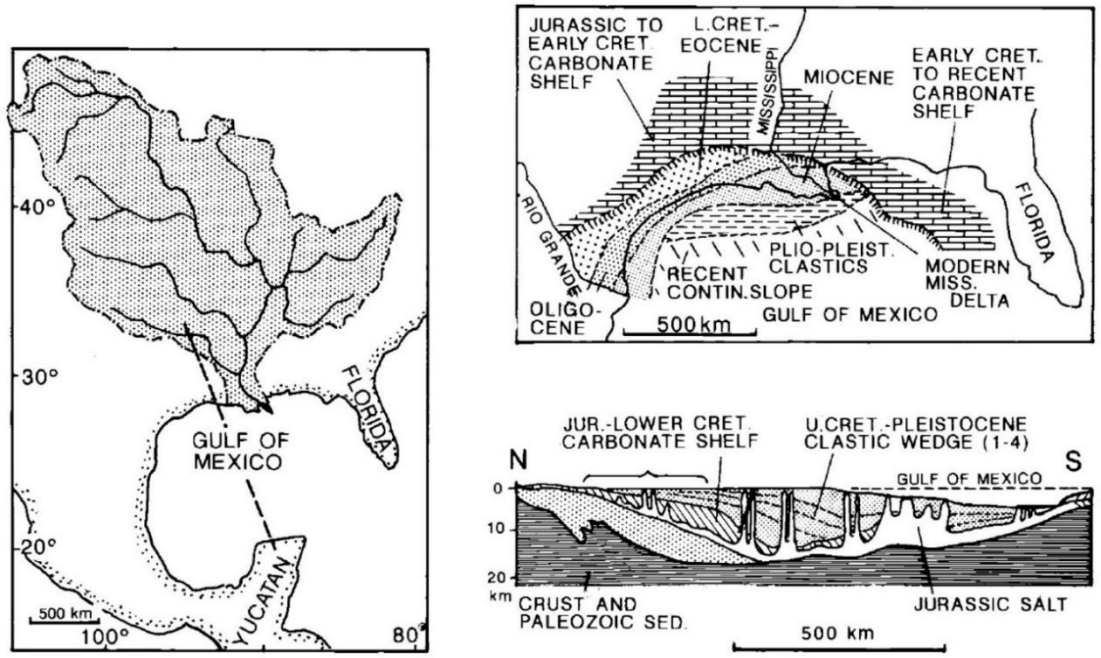


Рис. V.11.4. Классический эталон дельтовой модели в виде продвижения дельты р. Миссисипи (R. Einsele, 1992. P. 421): миграция кластических осадков в позднемеловое время в Мексиканский залив (см. также рис. II.11.7)

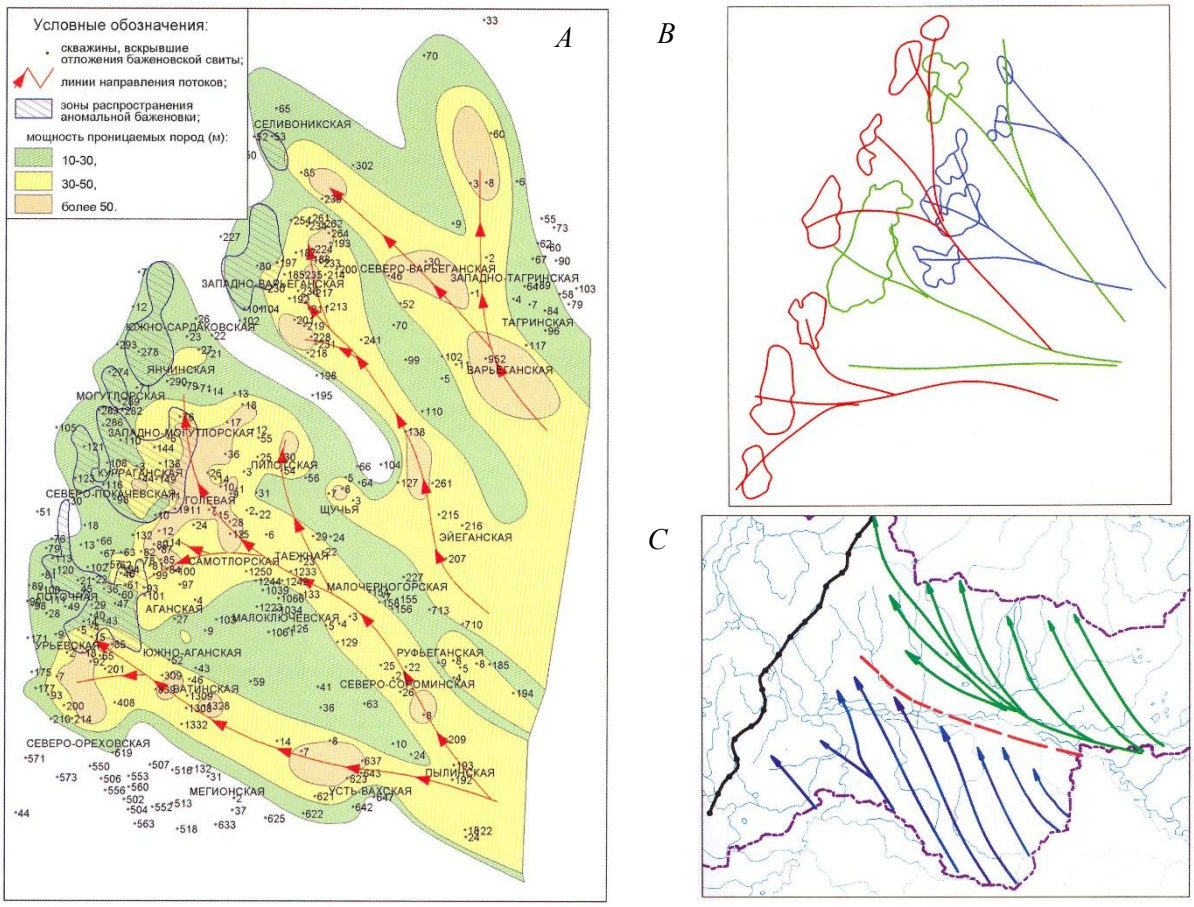


Рис. V.11.5. Формирование неокомских клиноформ Широтного Приобья (Атлас "Геологическое …", 2007): *A* – схема сопоставления дельтовых систем во время формирования клиноформ $БВ_{4-5}$, $БВ_{6-7}$ и $БВ_{8-9}$; *B* – схема авандельты пра-Оби во время формирования резервуара $БВ_{8-9}$ (см. рис. IV.8.9, В); *C* – схема осей основных потоков пра-Оби и пра-Иртыша в раннемеловое время

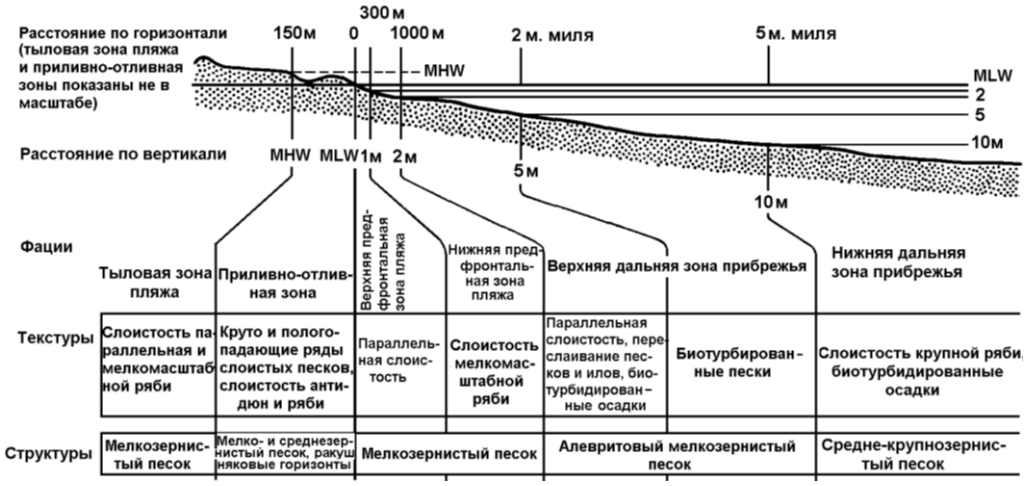


Рис. V.11.6. Зональное размещение осадочных пачек в прибрежной полосе (Г.-Э. Рейнек, И. Б. Сингх, 1980), часто используемое при фациальных реконструкциях неокома (близкий вариант приведен на рис. II.12.3).

MHW – средний уровень высокой воды; MLW – средний уровень низкой воды

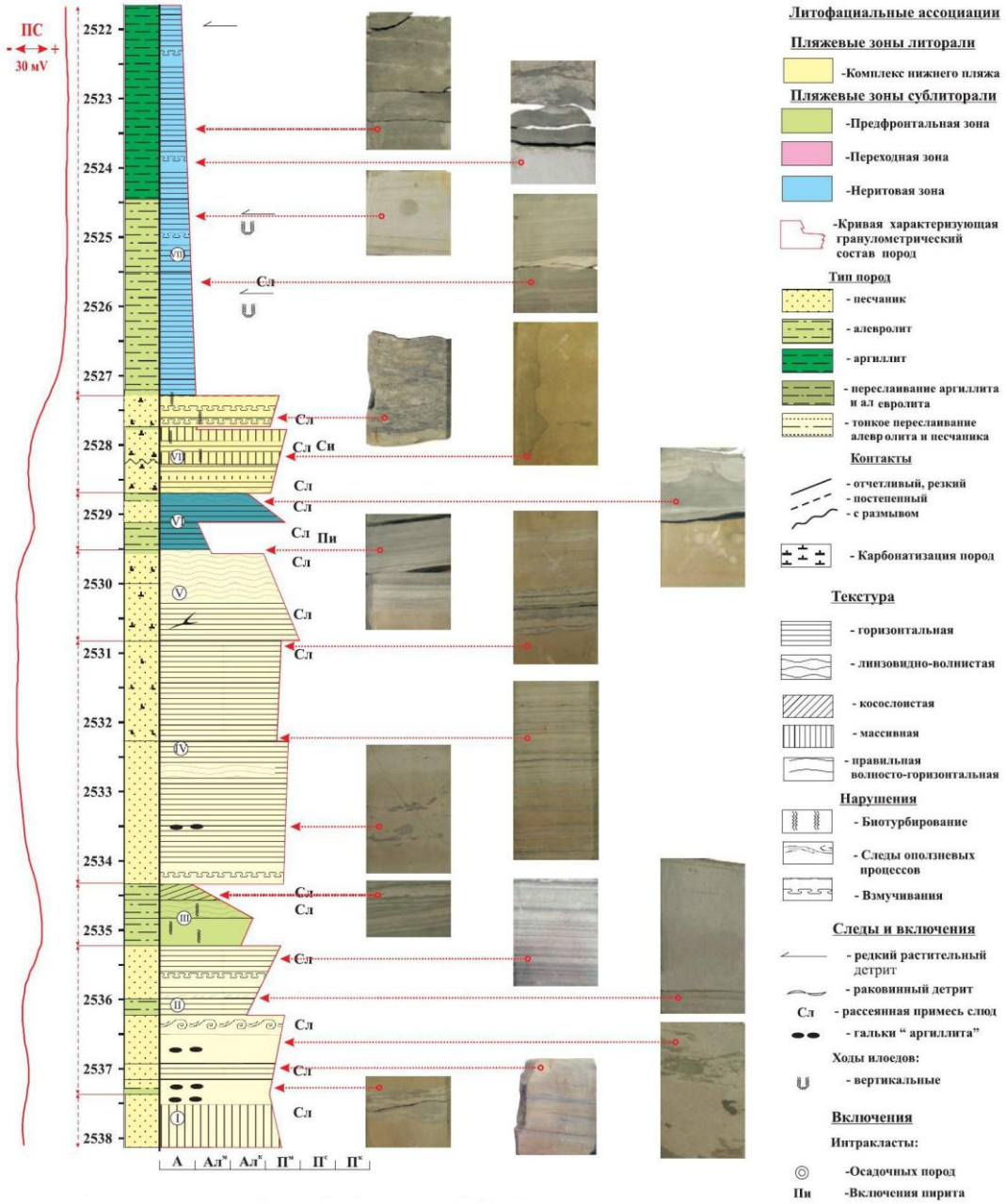


Рис. V.11.7. Седиментационный разрез по скважине 5845 Кочевского месторождения (К. Г. Скачек и др., 2011)

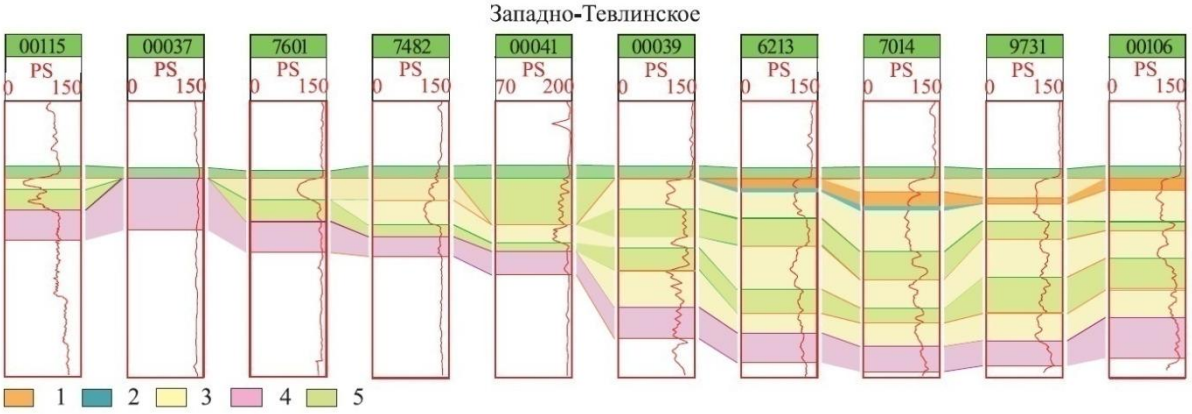


Рис. V.11.8. Профиль распространения фациальных отложений пласта $БС_{10}^{2+3}$ по линии скважин 115-37-7601-7482-41-39-6213-7014-9731-106 Тевлинско-Русскинского месторождения (К. Г. Скачек и др., 2011). Фациальные зоны: Надлиторальный комплекс (супралитораль): *1* – Верхний пляж, *2* – Лагуна; Литоральный комплекс (литораль): *3* – Нижний пляж; Сублиторальный комплекс (сублитораль): *4* – Переходная зона пляжа, *5* – Предфронтальная зона пляжа

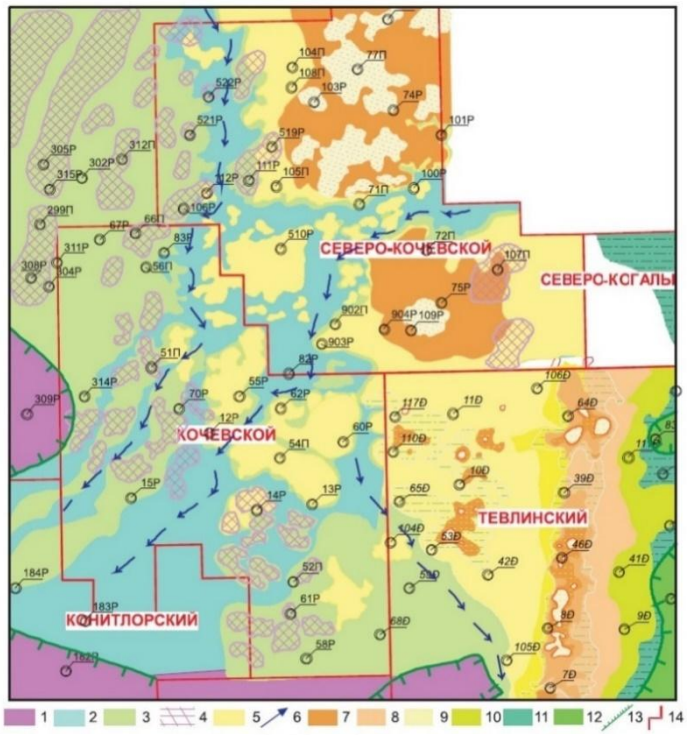


Рис. V.11.9. Карта распространения фациальных зон на время завершения чеускинской трансгрессии (К. Г. Скачек и др., 2011).

Генетические типы сублиторали: *1* – отложения переходной зоны пляжа, *2* – зона смыва, *3* – отложения предфронтальной зоны пляжа, *4* – трансгрессивные бары. Генетические типы литорали: *5* – отложения зоны нижнего пляжа, *6* – знакопеременные течения. Генетические типы супралиторали: *7* – отложения верхнего пляжа, *8* – отложения тыловой зоны бара, *9* – дюнный комплекс, *10* – отложения прилагунного пляжа, *11* – отложения лагунного типа, *12* – отложения прибрежной аккумулятивной равнины, *13* – линия глинизации пласта, *14* – граница ЛУ

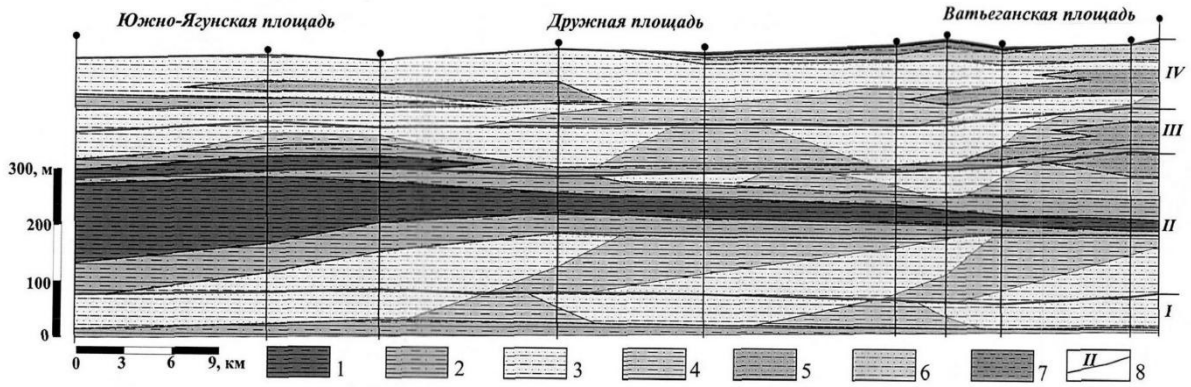


Рис. V.11.10. Структурный литолого-генетический профиль берриас-валанжина северо-восточной части Среднеобской нефтегазоносной области Западной Сибири (Ф. Р. Грабовская, 2013): *1-7* – области развития циклотем: глубоководного шельфа (*1*); мелководного шельфа (*2–4*); дистальная часть – пояс лоскутных песков (*2*), проксимальная часть – песчаные отмели (*3*), межотмельные области (*4*); дельты (*5*), лагуны (*6-7*): дистальная часть (*6*), проксимальная часть (*7*), *8* – границы геоформаций и их номера

V.11.3. Петрофизическая характеристика фаций

В качестве примера практической значимости фациальных исследований приведены результаты исследований по пласту $БП_{11}$ Вынгаяхинского месторождения: рис. V.11.11, V.11.12; табл. V.11.1. Схожий пример для литогенетических типов был приведен в п. I.11.3: см. табл. I.11.2.

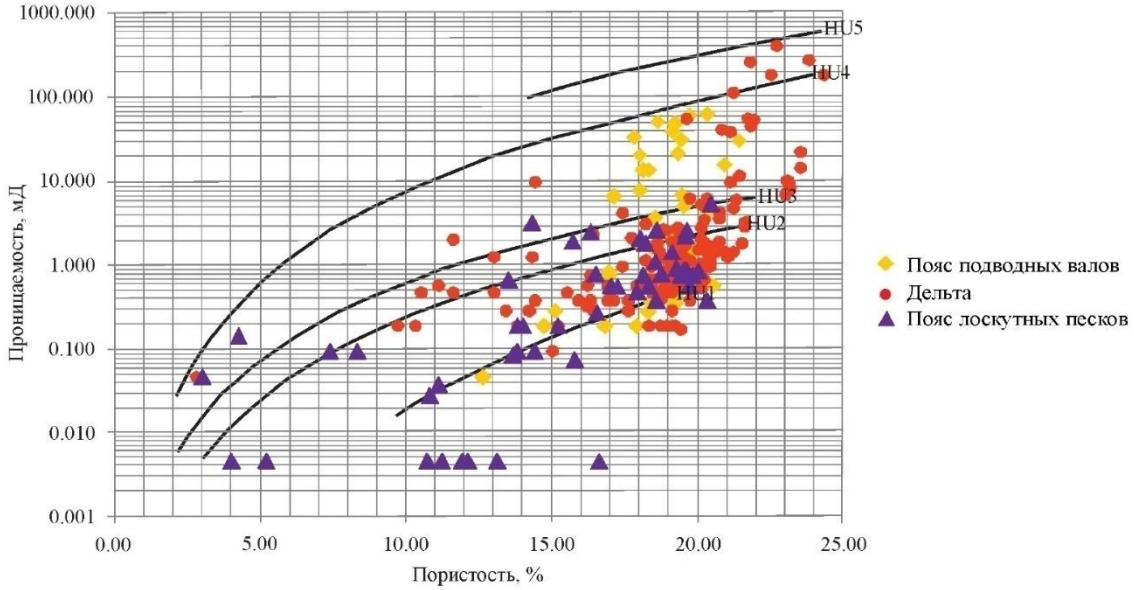


Рис. V.11.11. График зависимостей петрофизических параметров от обстановок осадконакопления и HU (К. А. Хасанова, М. Ю. Митяев, 2014).

Таблица V.11.1

Характеристика гидравлических единиц потока (К. А. Хасанова, М. Ю. Митяев, 2014)

HU	FZI			Литологический тип	Обстановка	
	мин.	макс.	средний			
1	0.01	0.15	0.10	Аргиллит	Пояс илов и пояс дистальных темпеститов	
2	0.16	0.42	0.29	Чередование аргиллитов, алевролитов (преобладают) и песчаников тонко-мелкозернистых	Пояс лоскутных песков	
3	0.43	0.70	0.53	Алевролит средне- крупнозернистый	Дельта	Пояс подводных валов
4	0.71	2.50	1.50	Песчаник тонко- среднезернистый		
5	2.51	4.90	3.10	Песчаник средне- крупнозернистый		

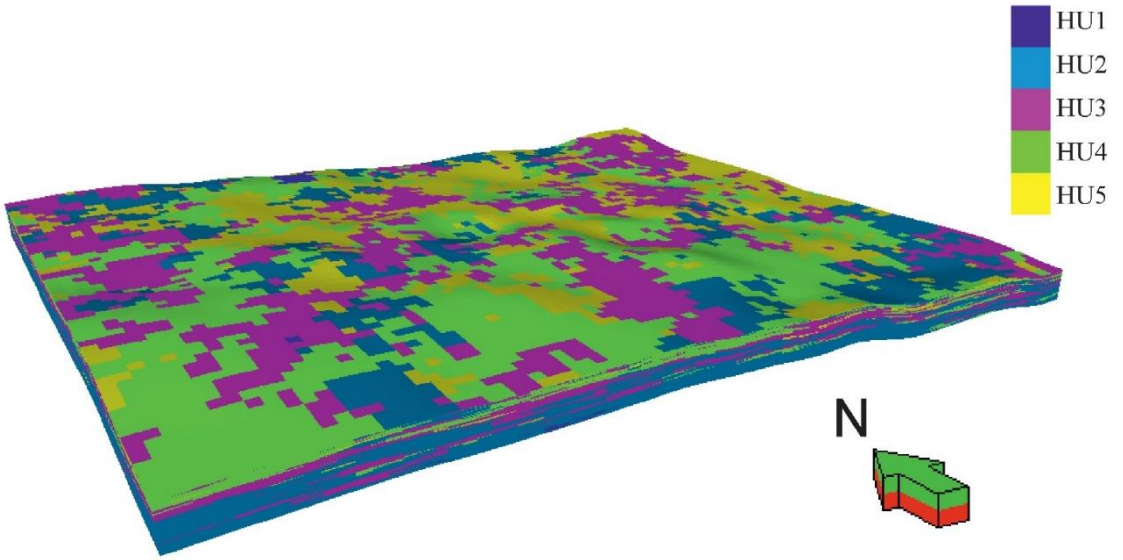


Рис. V.11.12. Модель распределения классов коллекторов (К. А. Хасанова, М. Ю. Митяев, 2014)

V.12. НЕОКОМСКИЙ КОМПЛЕКС (НЕОСЛОЖНЕННЫЙ ПОДКОМПЛЕКС)

V.12.1. Континентальные отложения

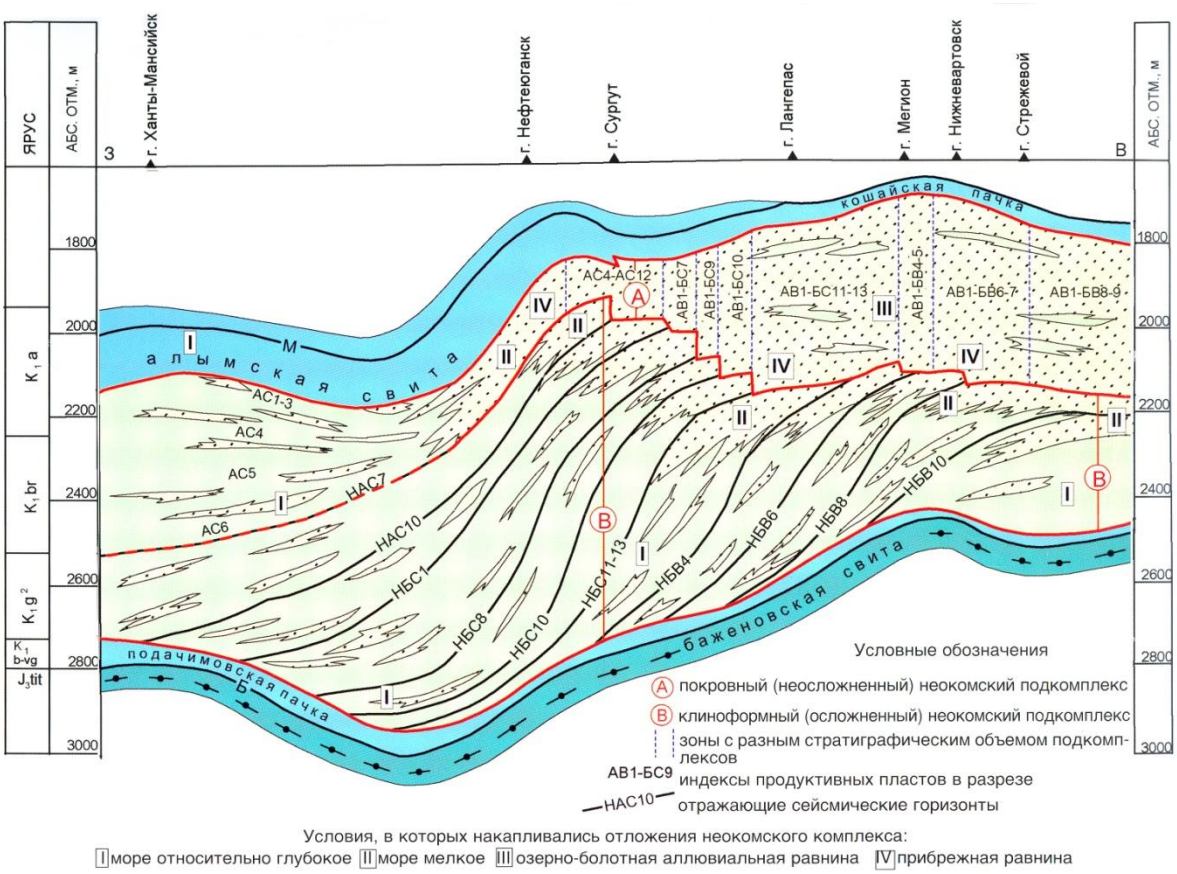


Рис. V.12.1. Схематичный геологический разрез неокомского нефтегазоносного комплекса (Атлас…, 2007). Звездочкой обозначена проекция положения объекта, отображенного на рис. V.12.2

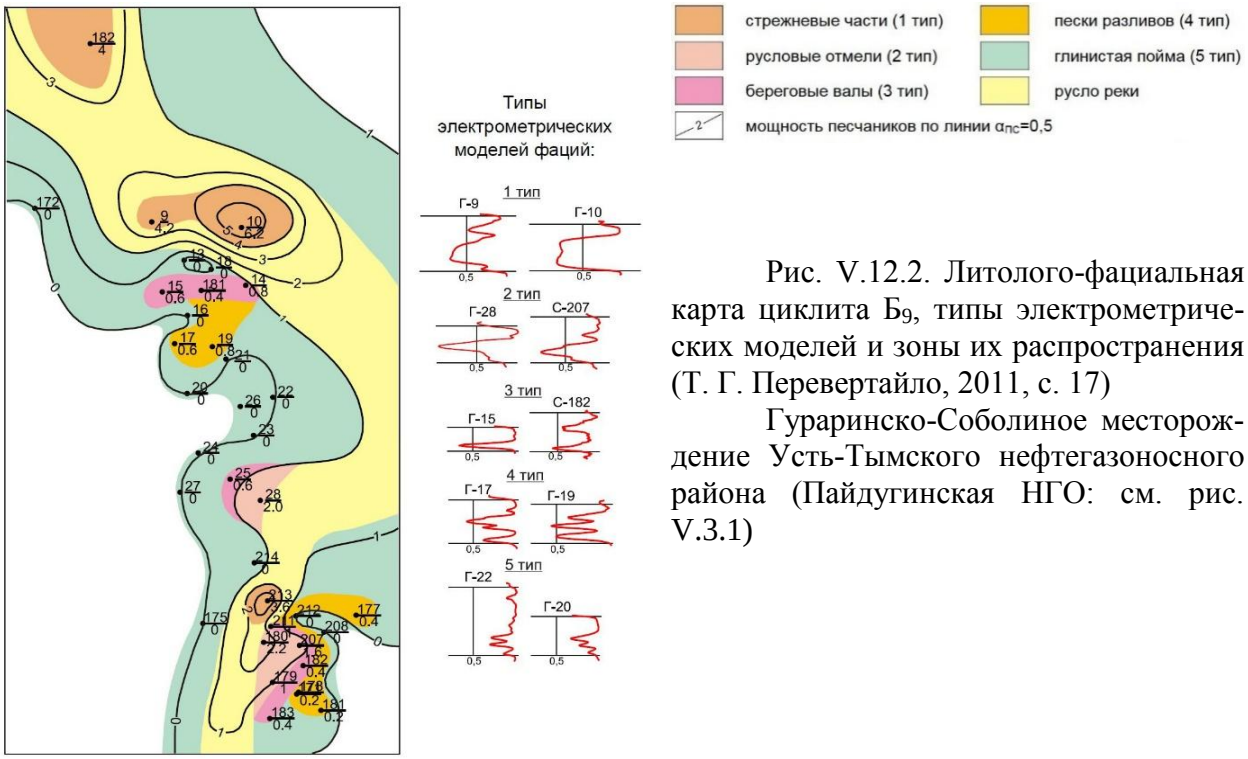


Рис. V.12.2. Литолого-фациальная карта циклита $Б_9$, типы электрометрических моделей и зоны их распространения (Т. Г. Перевертайло, 2011, с. 17)

Гураринско-Соболиное месторождение Усть-Тымского нефтегазоносного района (Пайдугинская НГО: см. рис. V.3.1)

V.12.2. Эволюция палеоландшафтов

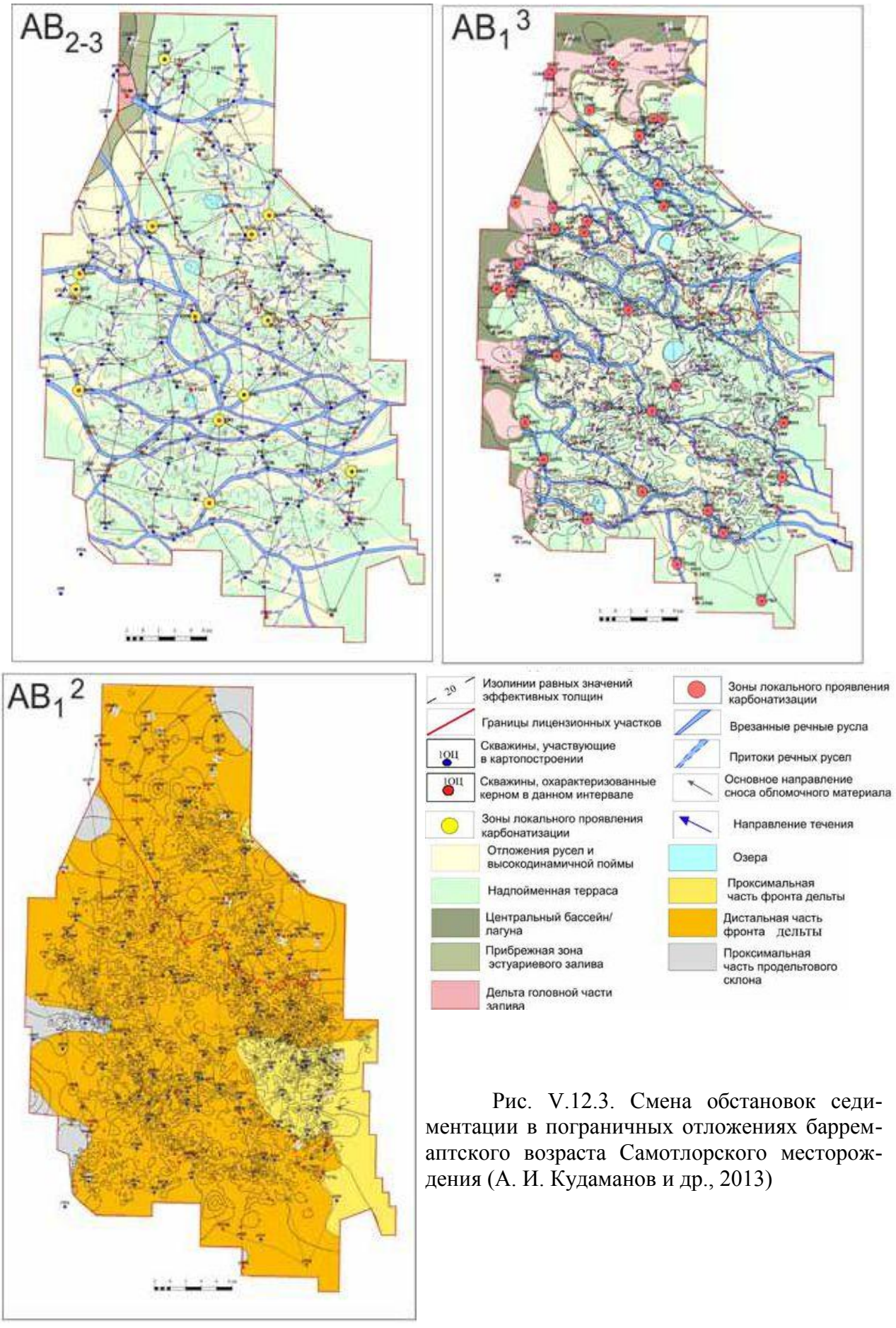


Рис. V.12.3. Смена обстановок седиментации в пограничных отложениях баррем-аптского возраста Самотлорского месторождения (А. И. Кудаманов и др., 2013)

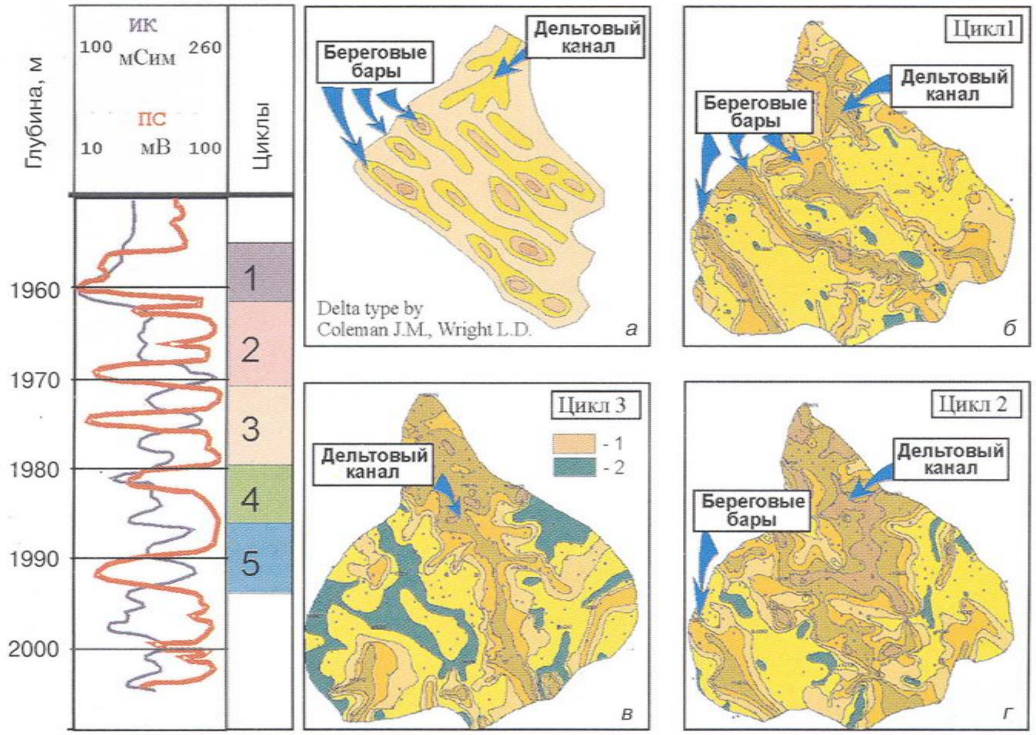


Рис. V.12.4. Отступающая дельта в отложениях АВ Самотлорского месторождения (*б – г*) и *а* – тип дельты из работы (O. Serra, 1985) (С. Б. Денисов и др., 2005): *1* – эффективные толщины, *2* – глины

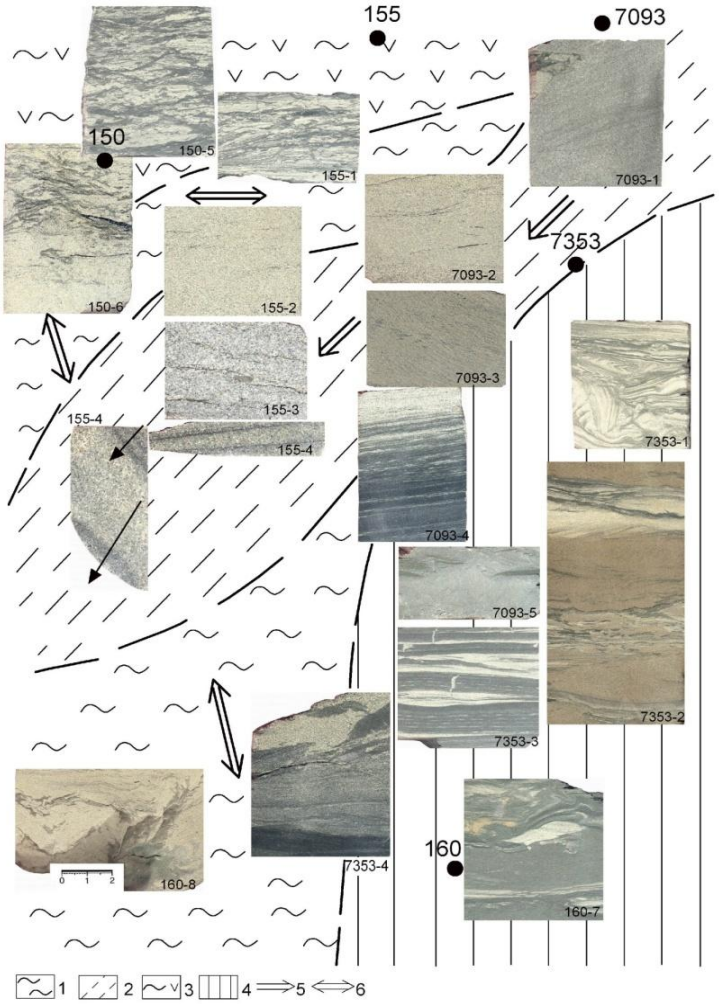


Рис. V.12.5. Принципиальная модель осадконакопления «в образцах» коллектора $А_{1-2}$ Кечимовского л. у.: макрофации: *1* – открытого подвижного мелководья, *2* – подводной части дельты, *3* – малоподвижного полуизолированного мелководья; *4* – прибрежной заливово-озерной равнины; *5* – направления потоков конусов выноса; *6* – векторы волновой переработки материала

V.12.3. Горизонт $АВ_1^{1-2}$ («рябчик»)

Изучение этих отложений приобрело особую практическую значимость в связи с их вовлечением в интенсивную промышленную эксплуатацию (см. IV.12).

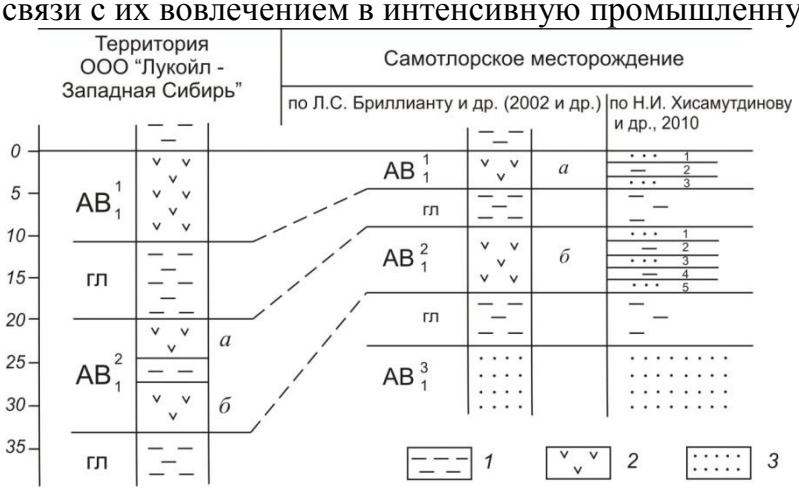


Рис. V.12.6. Строение пласта $АВ_1^{1-2}$ («рябчик») на Самотлорском месторождении:

1 – алевроаргиллиты; *2* – «рябчик» (обобщенно); *3* – тонкозернистые песчаники, алевролиты

Литотип осадочных пород	Литотипы пород по Романову Е.А.	Параметр $a_{гл}$ (по Е.А. Романову)	Глинистость, %	Эфф. толщина, м	Коэф-т проницаемости, мкм^2·10^{-3}	Коэф-т нефтенасыщенности, %	Субфация	Электрометрическая модель	Название субфации	Тип пород-коллекторов
глины	глина	< 0.25	>80	0	0	0	МФЛ, МФЗЛ		Морская, лагунно-морская, заливов и лагун	Неколлектор
«рябчиковые» породы	глинистый "рябчик"	0.25 - 0.35	55-80	< 1	4.0	49.0	МФМШ (гр)		Морская, мелководного шельфа	Заглинизированный коллектор с тонкослоистой текстурой (ТСТ)
	собственно "рябчик"	0.35 - 0.50	30-55	> 1	4.5	52.0	МФМШ (ср)			Коллектор с тонкослоистой текстурой (ТСТ)
	опесчаненный "рябчик"	0.50 - 0.65	5-30	< 2	14.3	54.0	МФМШ (ор)			
				> 2	17.1	57.0	МФБ (ор)		Морская, баров	Коллектор с массивной текстурой (МТ)
«песчаные породы»	глинистый песчаник	0.65 - 0.80	<5	> 3	101.0	61.0	МФБ (гп)			
	песчаник	> 0.8		> 4	583.0	74.0	МФА		Переходная, авандельты	Коллектор с макромассивной текстурой (ММТ)

Рис. V.12.7. Фациальное расчленение интервала пласта $АВ_1^{1-2}$ на Самотлорском месторождении (Л. С. Бриллиант и др., 2002)

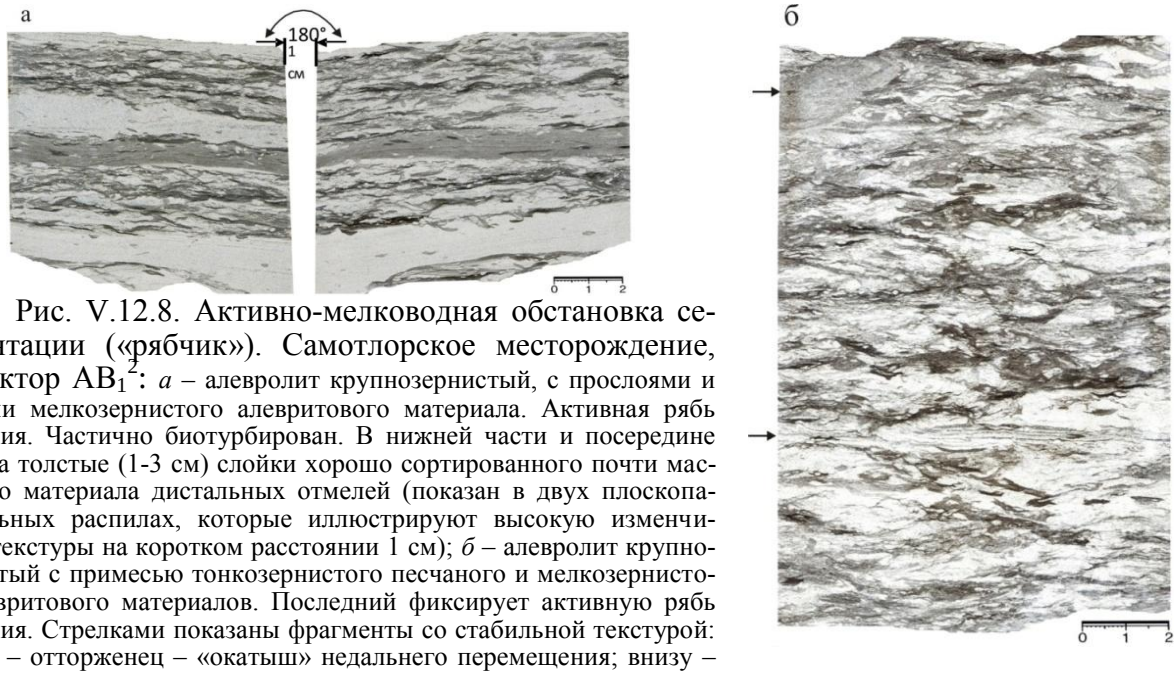
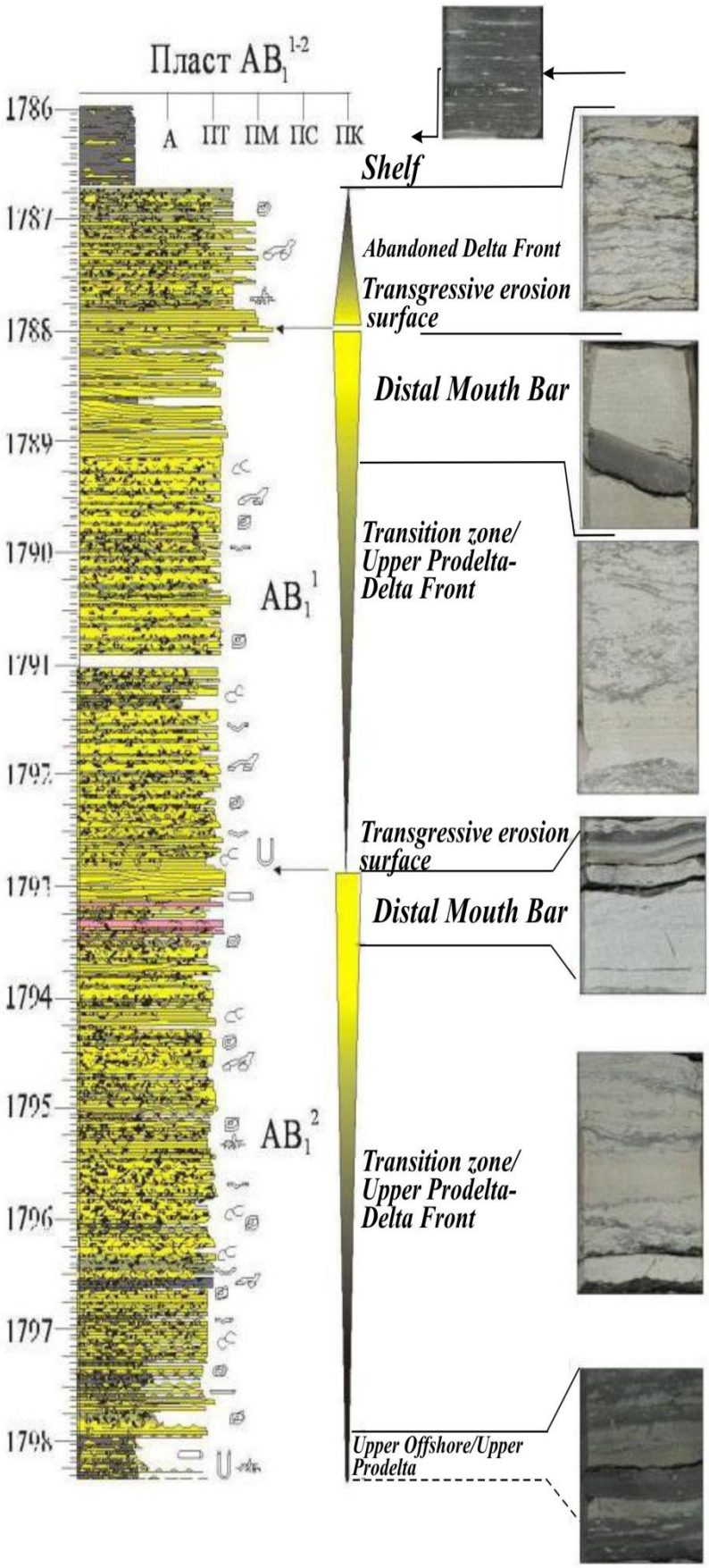


Рис. V.12.8. Активно-мелководная обстановка седиментации («рябчик»). Самотлорское месторождение, коллектор $АВ_1^2$: *а* – алевролит крупнозернистый, с прослоями и линзами мелкозернистого алевритового материала. Активная рябь волнения. Частично биотурбирован. В нижней части и посередине образца толстые (1-3 см) слойки хорошо сортированного почти массивного материала дистальных отмелей (показан в двух плоскопараллельных распилах, которые иллюстрируют высокую изменчивость текстуры на коротком расстоянии 1 см); *б* – алевролит крупнозернистый с примесью тонкозернистого песчаного и мелкозернистого алевритового материалов. Последний фиксирует активную рябь волнения. Стрелками показаны фрагменты со стабильной текстурой: вверху – отторженец – «окатыш» недальнего перемещения; внизу – реликт с отчетливой миллиметровой первичной слоистостью



ВНУТРЕННИЙ ШЕЛЬФ
Аргиллит с тонкими линзами низкоамплитудной волновой ряби и редкими горизонтально ориентированными ходами морских червей (*Planolites*)

ОТМИРАНИЕ ФРОНТА ДЕЛЬТЫ / ПОЛУОТКРЫТЫЙ ЗАЛИВ
Интенсивно биотурбированный сильно глинистый мелкозернистый песчаник с линзами и слойками волновой ряби. Встречаются мелкие обломки углефицированной древесины (стрелка). Ихнофауна представлена горизонтальными ходами полихет и мелких ракообразных (преобладают *Asterosoma, Paleophycus*, реже *Chondrites, Planolites*)

ДИСТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ УСТЬЕВОГО БАРА
Слабобиотурбированные и небиотурбированные мелко- среднезернистые песчаники с прослоями небиотурбированных глинистых алевролитов («жидких илов»). В песчанике волновые и штормовые текстуры, а также рябь течения, местами текстуры оползания

ПЕРЕХОДНАЯ ЗОНА / ВЕРХНЯЯ ПРОДЕЛЬТА-ФРОНТ ДЕЛЬТЫ
Интенсивно биотурбированный глинистый мелкозернистый песчаник с линзовидно-волнистой и полосчатой слоистостью. Тонкие слойки опесчаненного биотурбацией (проникновение песчаного материала по ходам бентоса) глинистого алевролита придают породе полосчатый облик. В песчанике развита волновая рябь, реже штормовые текстуры. Единичные обломки углефицированной древесины. Ихнофауна представлена горизонтально и наклонно ориентированными ходами полихет и мелких ракообразных ихнофации *Cruziana* (в песчанике преобладает *Asterosoma, Paleophycus, Helminthopsis, Cylindrichnus* реже *Rosselia, Rhizocorallium, Tholassinoides*, в алевролите *Chondrites, Planolites*)

ДИСТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ УСТЬЕВОГО БАРА
Слабобиотурбированные песчаники с прослоями небиотурбированных глинистых алевролитов («жидкие илы»)
В песчанике волновая рябь и рябь течения.
Ихнофауна: редкие ходы морских червей (*Paleophycus, Cylindrichnus)*

ПРОКСИМАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ДАЛЬНЕЙ ЗОНЫ ПОДВОДНОГО БЕРЕГОВОГО СКЛОНА / ПЕРЕХОДНАЯ ЗОНА
Интенсивно биотурбированный глинистый мелкозернистый песчаник с тонкими слойками опесчаненного биотурбацией глинистого алевролита придают породе полосчатый облик. В песчанике волновая рябь, реже штормовые текстуры.
Ихнофауна представлена горизонтально и наклонно ориентированными ходами полихет и мелких ракообразных ихнофации *Cruziana* (в песчанике преобладает *Asterosoma, Paleophycus, Helminthopsis, Cylindrichnus* реже *Rosselia, Arenicolites*, в алевролите *Chondrites, Planolites*)

ДИСТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ДАЛЬНЕЙ ЗОНЫ ПОДВОДНОГО БЕРЕГОВОГО СКЛОНА / ВЕРХНЯЯ ПРОДЕЛЬТА
Биотурбированный глинистый алевролит с линзами песчаника с волновой и комбинированной рябью. Ихнофауна: ходы полихет (*Arenicolites, Paleophycus, Chondrites, Planolites*)

Рис. V.12.9. Седиментологический разрез и характеристика обстановок осадконакопления пластов AB_1^{1-2} Самотлорского месторождения (Геологическое моделирование…, 2017, с. 129)

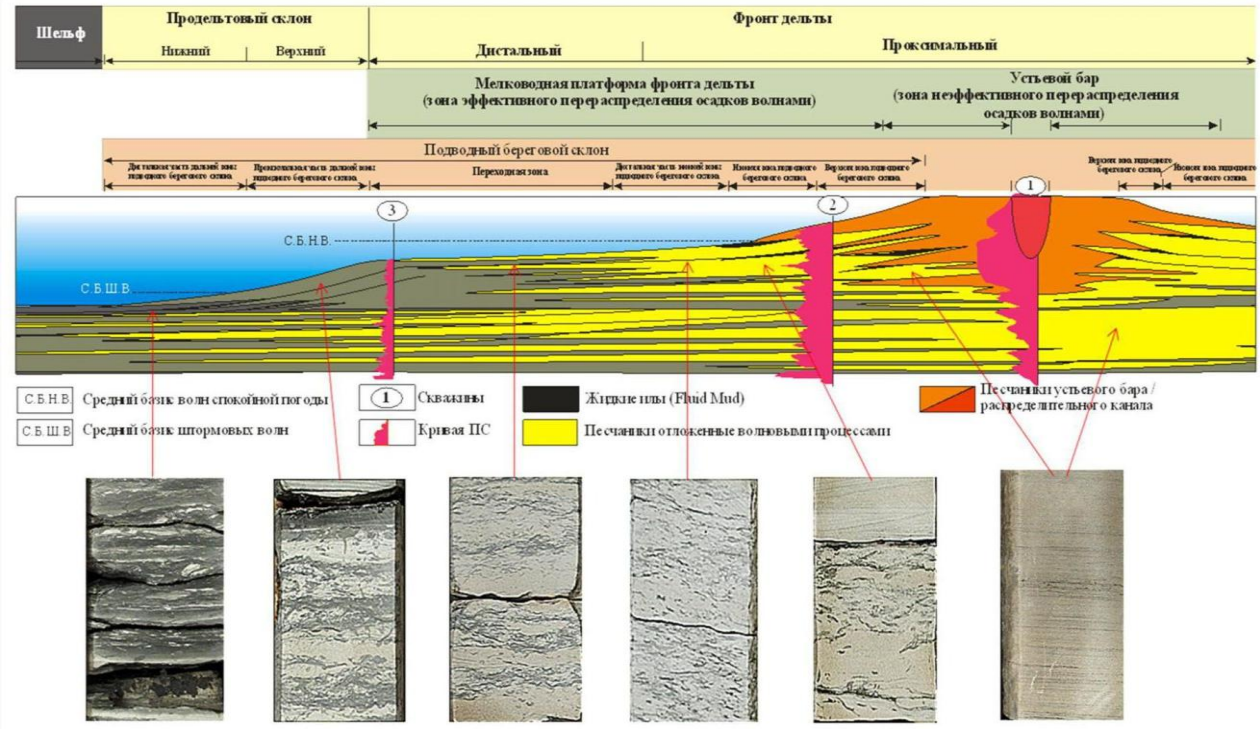


Рис. V.12.10. Схематизированный разрез (в меридиональном направлении) и классификация фациальных зон, выделяемых в отложениях пласта $АВ_1^{1-2}$ Самотлорского месторождения (Геологическое моделирование…, 2017, с. 170). Приведены фото керна, примерно соответствующие каждой зоне седиментации и ее частей (подзон). Электрокаротажная характеристика разреза пласта приведена в скважинах (1, 2, 3). Отмечается постепенная глинизация всего разреза пласта по мере удаления от области депоцентра (р-н скв.1)

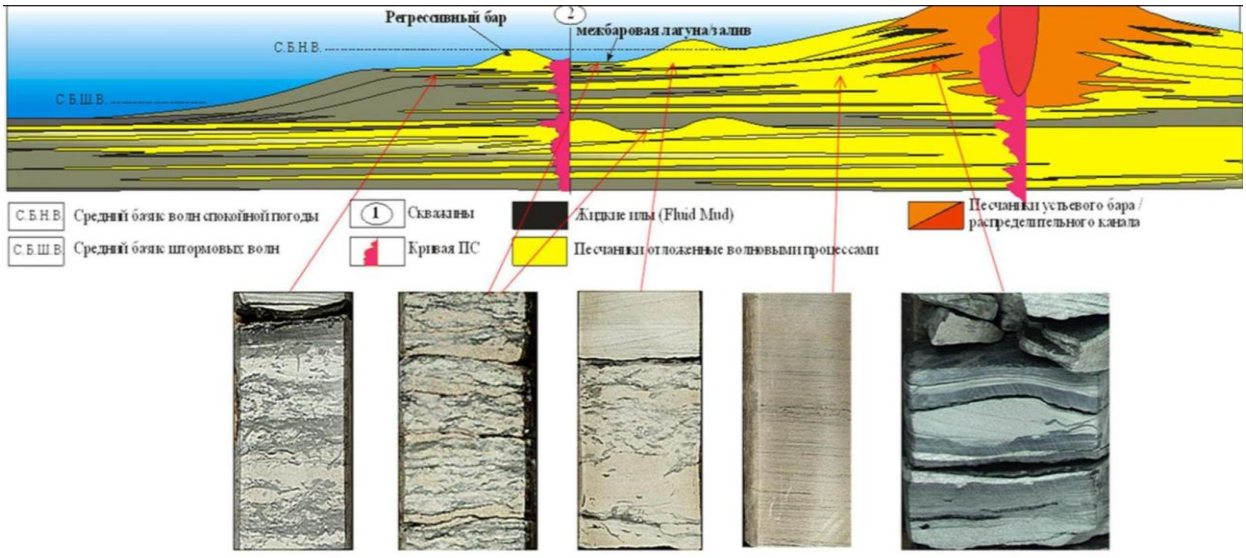


Рис. V.12.11. Схематизированный разрез (в меридиональном направлении) и классификация фациальных зон, выделяемых в отложениях пласта $АВ_1^{1-2}$ Самотлорского месторождения (Геологическое моделирование…, 2017, с. 171). Отложения фронта дельты осложнены регрессивными барами. Приведены фото керна, примерно соответствующие каждой зоне седиментации и ее подзонам. Электрокаротажная характеристика разреза пласта приведена в скважинах (1, 2). Отложения пласта глинизируются по мере удаления от области депоцентра (р-н скв.1)

V.13. АПТСКИЙ КОМПЛЕКС

V.13.1. Викуловская свита

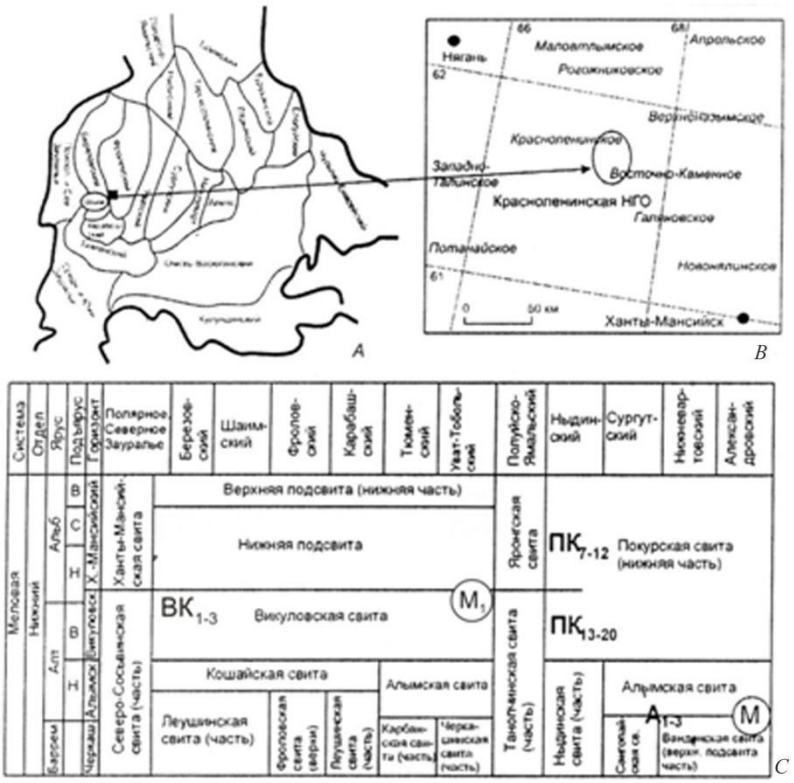


Рис. V.13.1. Контур Западно-Сибирского осадочного мегабассейна и схема районирования нижнемеловых отложений с выделением структурно-фациальных районов (*A*); Красноленинское месторождение (*B*); свитное строение верхнего этажа нижнего мела в отдельных структурно-фациальных районах (*C*)

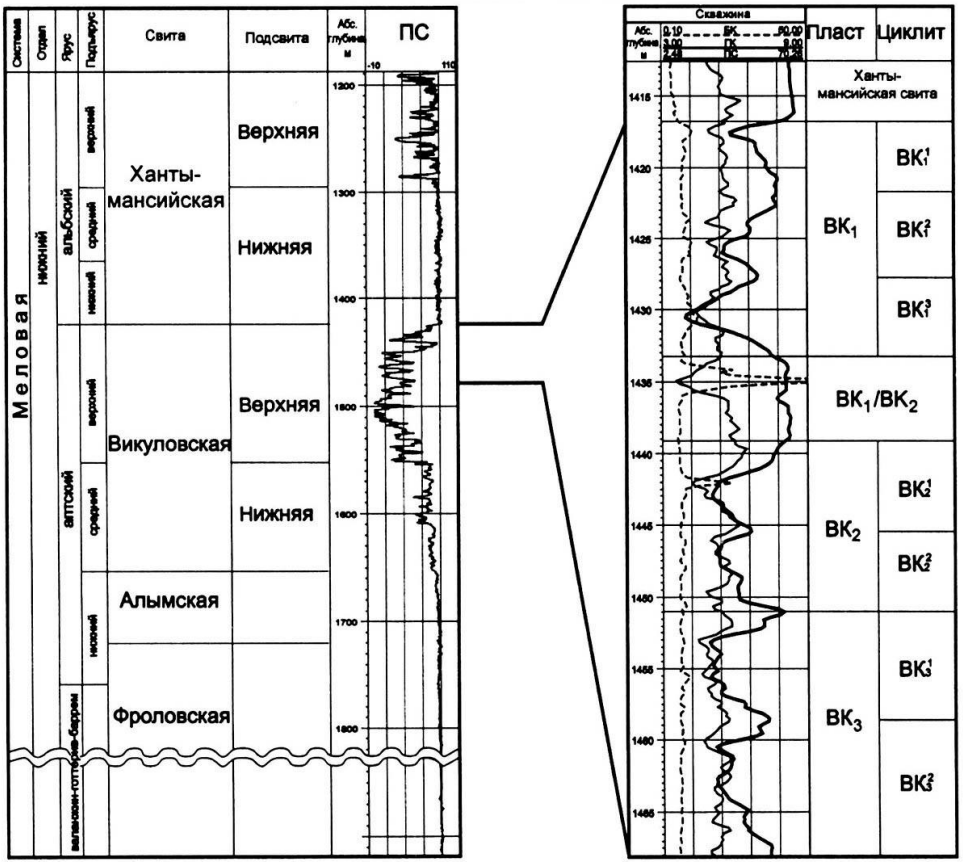


Рис. V.13.2. Стратиграфическая схема нижнемеловых отложений и номенклатура продуктивных пластов викуловской свиты

V.13.2. «Врезанные долины»

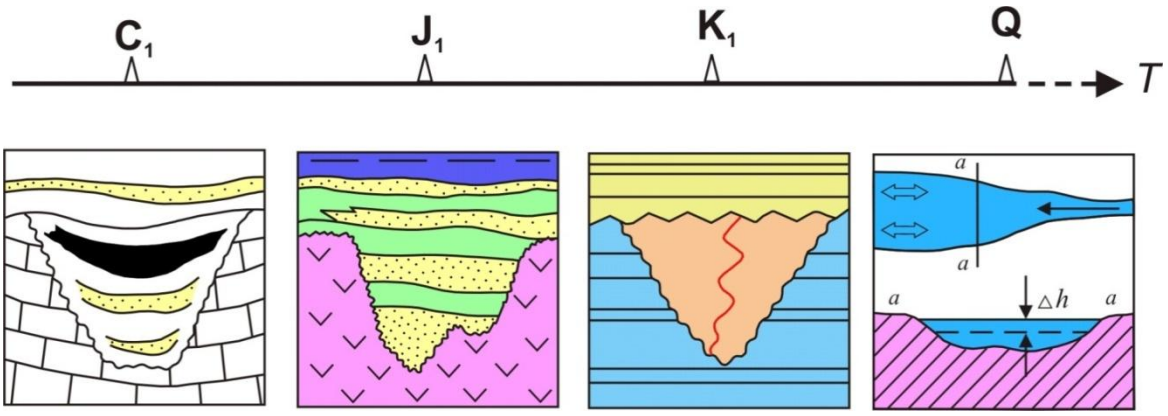


Рис. V.13.3. Врезы в геологическом прошлом, в контексте геологического времени (*T*): C_1 – визейские русловые и озерно-карстовые депрессии (Волго-Урал); J_1 – шеркалинские русла (Западная Сибирь) (см. V.6); K_1 – предлагаемая модель эстуариевых врезов; Q – модель современного эстуария: Δh – изменения уровня прилива и отлива

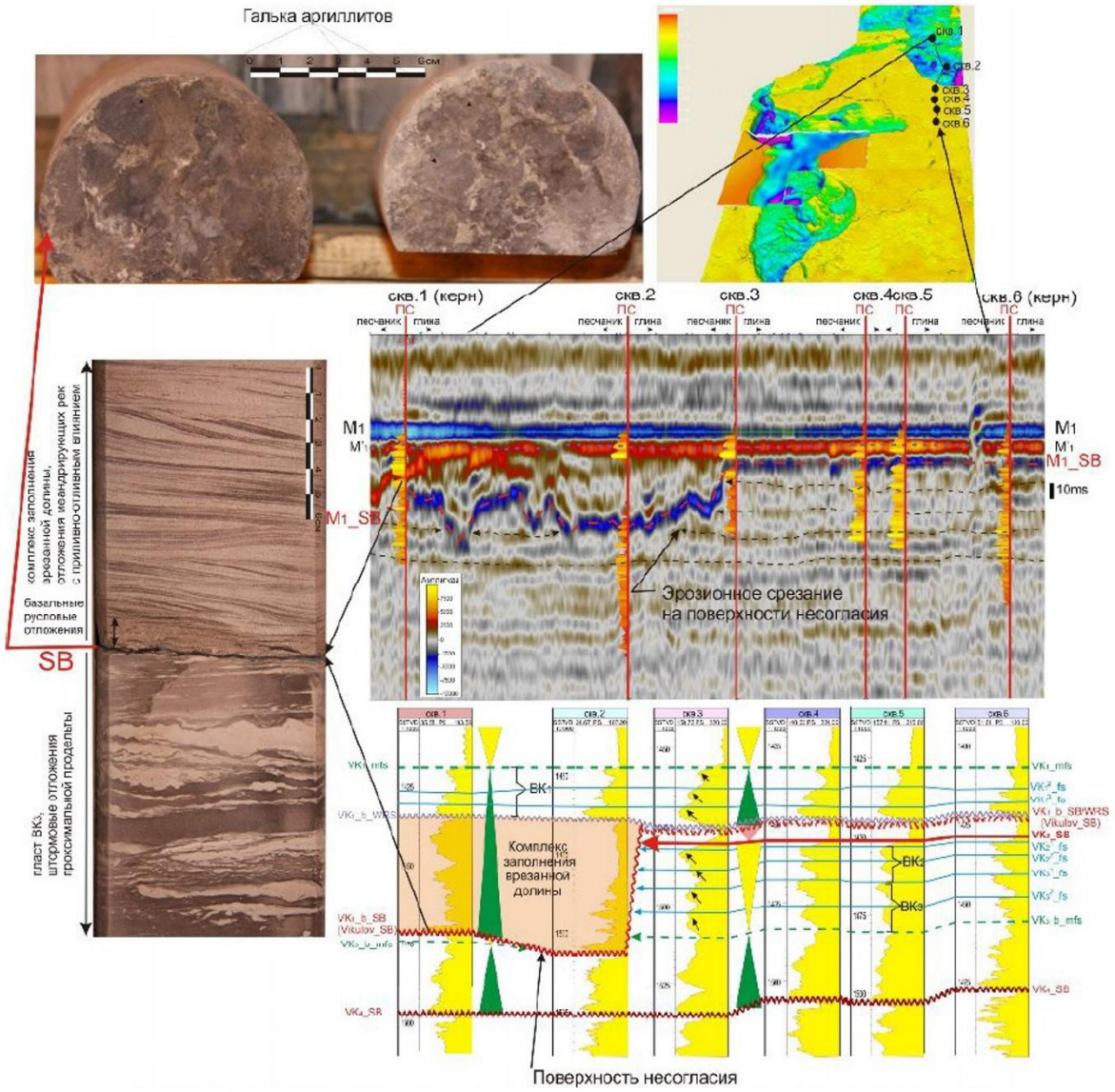


Рис. V.13.4. Эрозионное несогласие по данным керна, сейсморазведки 3D и ГИС (А. Л. Медведев, 2010). На профиле скважин показаны стратиграфические границы секвенсов 3 порядка. WRS (wave ravinement surface) – поверхность волновой эрозии; fs (flooding surface) – поверхность затопления

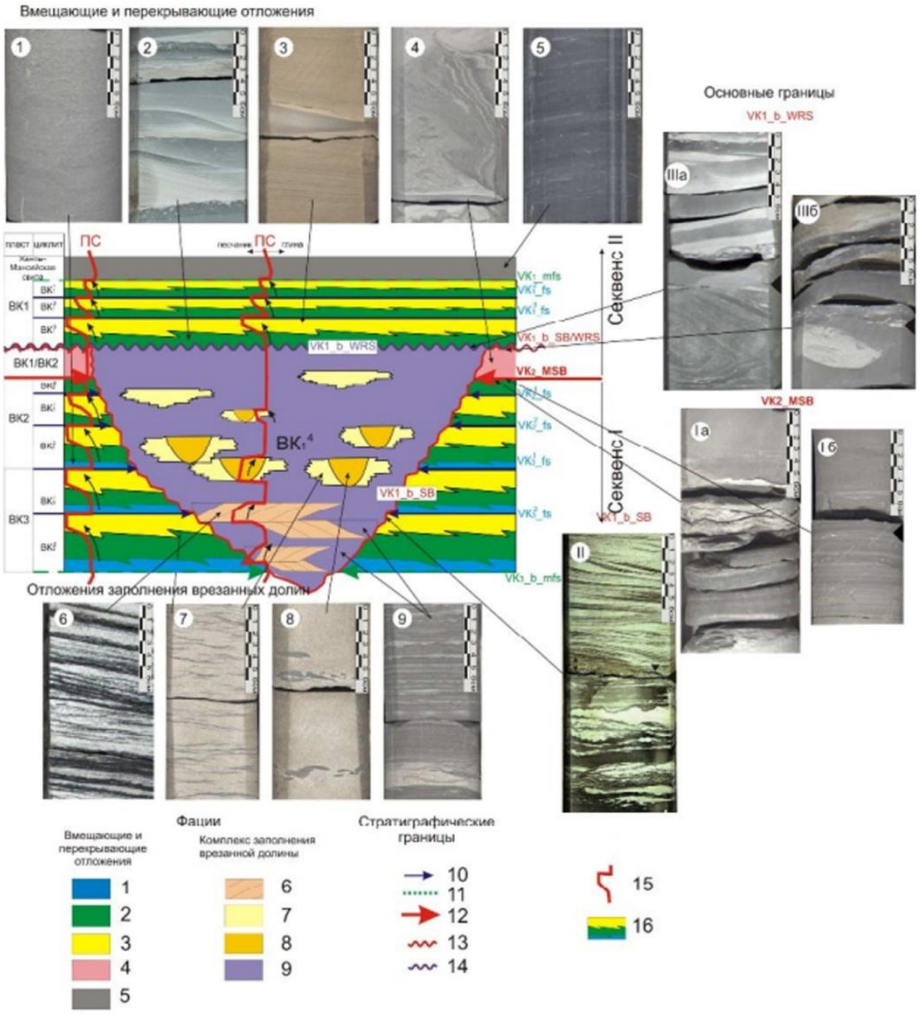


Рис. V.13.5. Фациальная модель продуктивных отложений викуловской свиты с основными секвенс-стратиграфическими границами (А. Л. Медведев, 2010); примеры литофаций приведены также на рис. II.3.1: *1* – алевритистые аргиллиты продельты; *2* – аргиллиты с линзами алевролитов проксимальной продельты; *3* – алевролиты и песчанистые алевролиты дистального фронта дельты; *4* – глинистые алевролиты продельты, образовавшиеся при форсированной регрессии; *5* – аргиллиты шельфа; *6* – песчаники приусловых отмелей (баров) меандрирующих рек с приливно-отливным влиянием/приливно-отливных каналов; *7* – песчаники проксимального фронта дельты головной части эстуария – устьевых баров; *8* – песчаники распределительных каналов; *9* – глинистые отложения дистального фронта дельты головной части эстуария/поймы/старицы; *10* – поверхность затопления; *11* – поверхность максимального затопления; *12* – согласная часть «главной» секвенсной границы *I* типа (*Ia, б*); *13* – эрозионная часть секвенсной границы *I* типа (*II*); *14* – поверхность волновой эрозии (*IIIa, б*); *15* – образ каротажной диаграммы ПС; *16* – дельтовый циклит (парасеквенс)

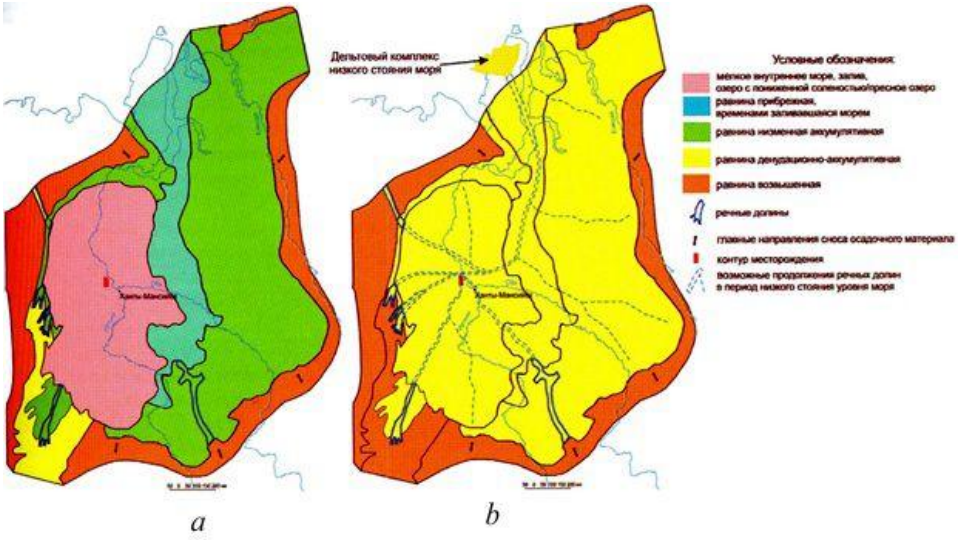


Рис. V.13.6. Положение площади работ на палеогеографической карте на время накопления пластов $ВК_1$ – $ВК_3$ (поздний апт) в период высокого стояния уровня моря (*a*) и концептуальная модель возможного развития речной сети и дельтового комплекса в период низкого стояния моря (*b*) (А. Л. Медведев, 2010)

V.13.3. Состав и строение отложений (фациально-циклический анализ)

Материалы, показанные на рис. V.13.7-V.13.11, показывают, что формирование отложений викуловской свиты вполне могло происходить без привлечения механизма «врезанных долин». К такому же выводу пришел и С. Б. Шишлов (2016), использовавший существенно иную методику установления генезиса отложений (С. Б. Шишлов, 2010).

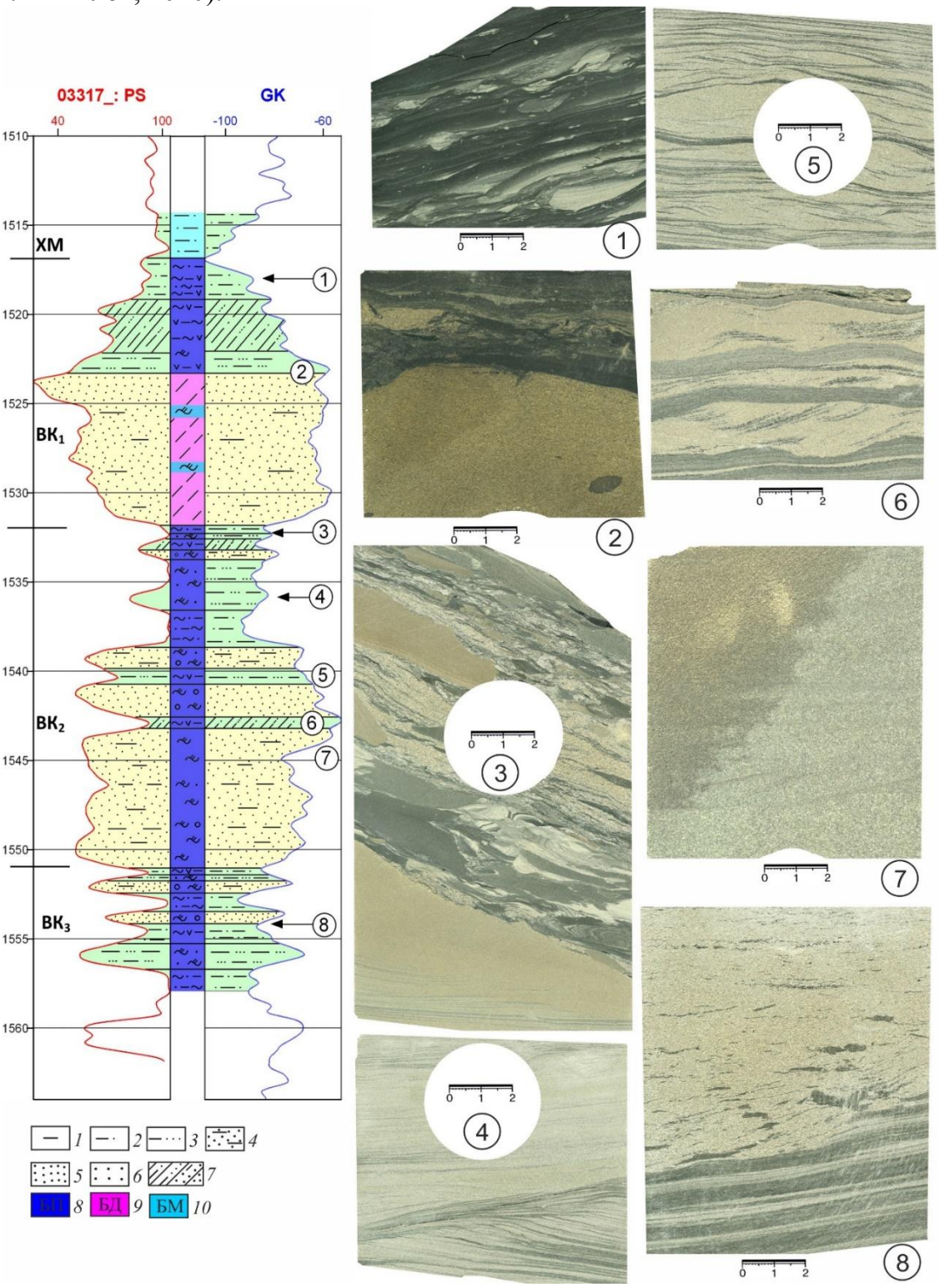


Рис. V.13.7. Фрагмент колонки по скв. 3317 (цифры в кружках – образцы):

гранулометрические типы: *1* – аргиллит; *2* – мелкозернистый и *3* – крупнозернистый алевролиты; *4* – тонкозернистый, *5* – мелкозернистый и *6* – среднезернистый песчаники; *7* – переслаивание различных типов;

фациальный состав (- макрофации): 8 – БП, 9 – БД; 10 – БМ (см. табл. II.5.8)

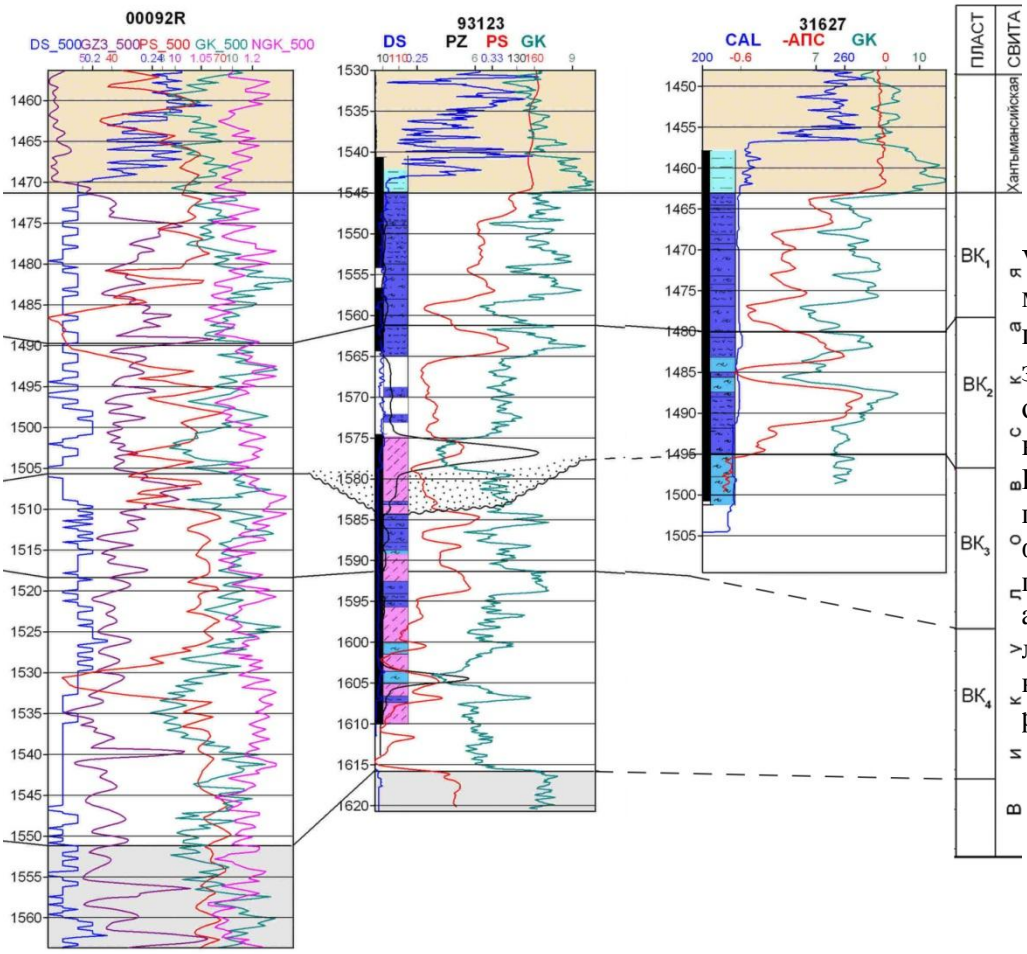


Рис. V.13.8. Фрагмент корреляционного разреза (фациальные обозначения см. на рис. V.13.7). В скв. 93123 на глубине 1580 м фиксируется неглубокий врез с амплитудой около 3 м. Цикличность показана на рис. IV.14.8

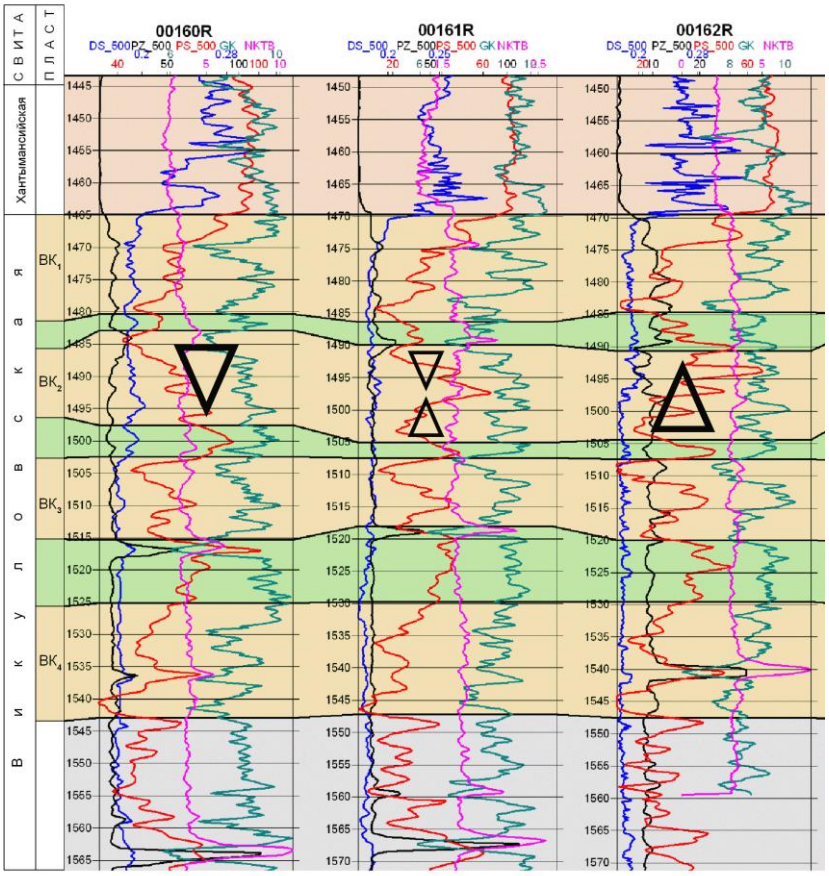


Рис. V.13.9. Фрагмент корреляционного разреза по линии скважин.

Символами показано, как на коротких расстояниях (между скважинами ~2 км) «рециклит» коллектора $ВК_2$ в скв. 160 сменяется «прорециклитом» в скв. 161 и «проциклитом» в скв. 162 (см. IV.7.2). Интерпретация рециклита в скв. 160 наиболее соответствует «дельтовому» механизму, т. е. восходящему увеличению размерности частиц («воронка» на кривой PS: см. II.3.3)

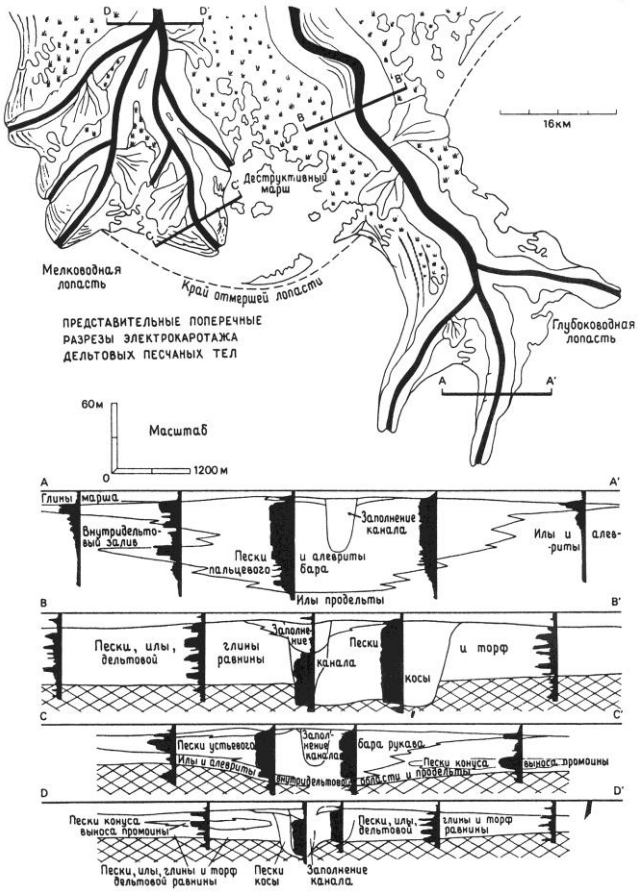


Рис. V.13.10**.** Актуалистический пример для исследуемых отложений: дельта речного типа, не требующая «эстуариевого вреза» (см. рис. II.11.9)

Профили электрокаротажа дельтовых песчаных тел на примере третичной дельтовой системы Холли-Спрингс на побережье Мексиканского залива в США (Galloway W. E., 1968; из работы Обстановки…, 1990, с. 179)

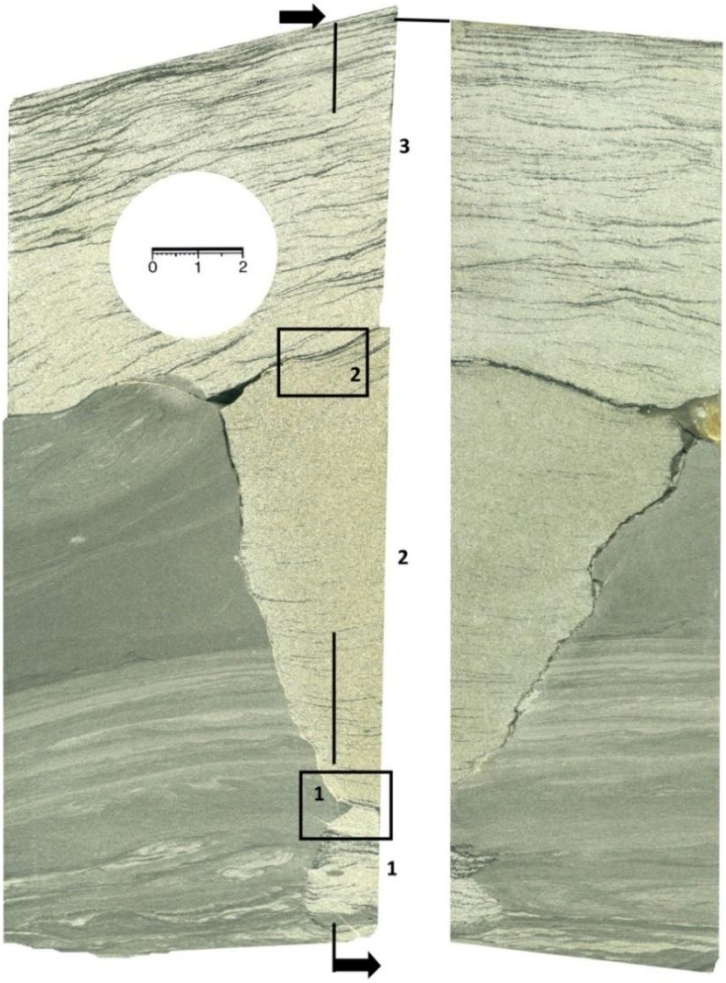


Рис. V.13.11. Модель локального «вреза» на образце керна, отобранного из скв. 1106 с глубины 1560,3 м)

V.14. АЛЬБ-СЕНОМАНСКИЙ КОМПЛЕКС

V.14.1. Общие представления

Отложения аптского яруса фиксируют вполне отчетливую границу между нижележащими, преимущественно нефтеносными, и верхними, преимущественно газоносными комплексами. Эта граница существенно «скользит» во времени.

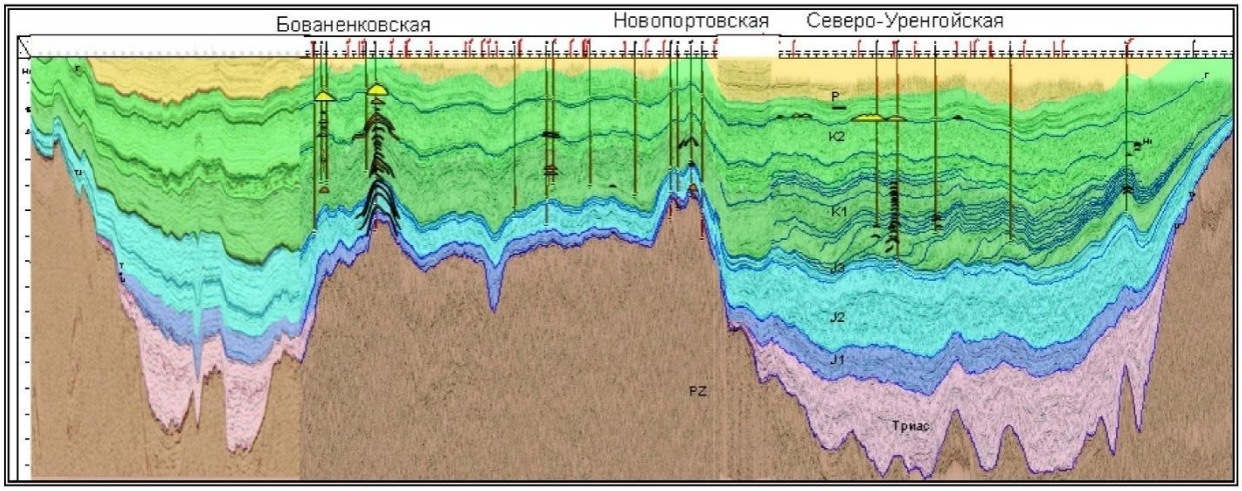


Рис. V.14.1. Композитный геолого-геофизический разрез арктических районов Западной Сибири (И. В. Кислухин, 2009, с. 11)

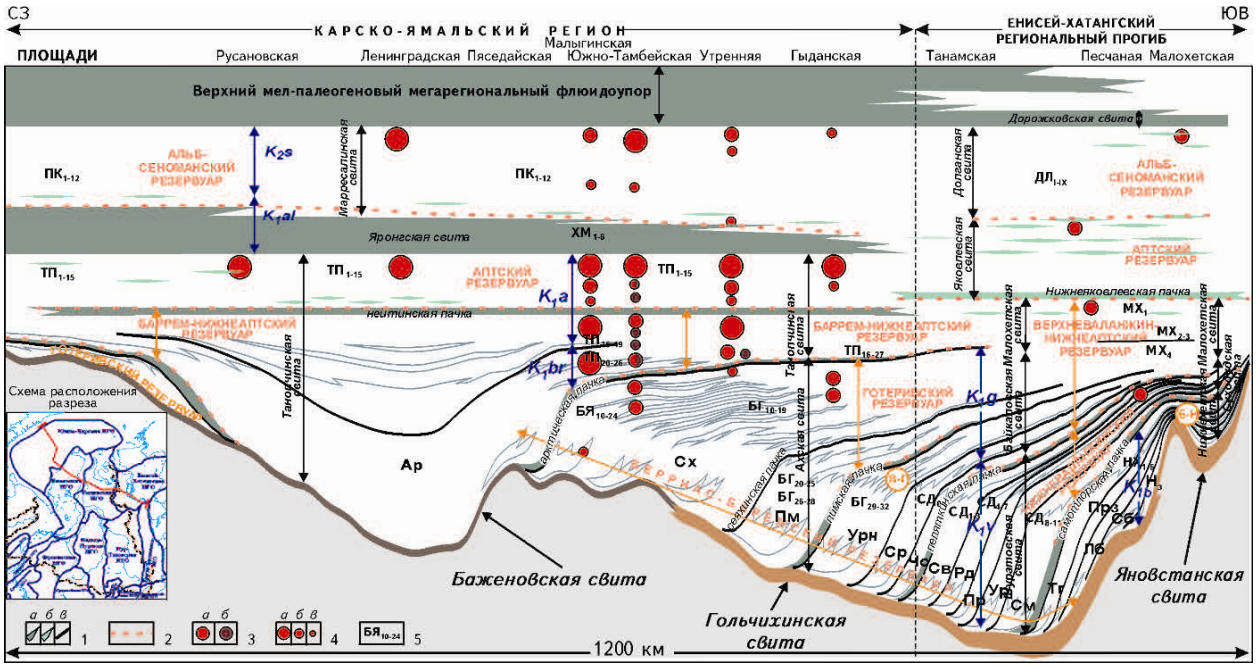


Рис. V.14.2. Принципиальная схема строения резервуаров мела арктической части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, по (В. А. Казаненков и др., 2014):

1 – флюидоупоры*: а) региональные; б) субрегиональные; в) зональные*; *2* – границы резервуаров; *3* – тип флюида в залежах*: а) газовый и газоконденсатный; б) нефтяной*; *4* – размер залежей по извлекаемым запасам: *а) крупные, б) средние, в) мелкие*; *5* – индексы пластов, резервуары: Б-Н – берриас-нижневаланжинский; В-Г – верхневаланжин-готеривский; клиноформы: Ар – арктическая (быстринская), Сх – сеяхинская (ямбургская); Пм – пимская, Урн – уренгойская, Ср – сармановская, Чс – чеускинская, Св – савуйская, Рд – родниковая, Пр – пырейная, Ур – урьевская, См – самотлорская, Тг – тагринская, Прз – приозерная, Лб – лабазная, Сб – сабунская, Нз – назинская

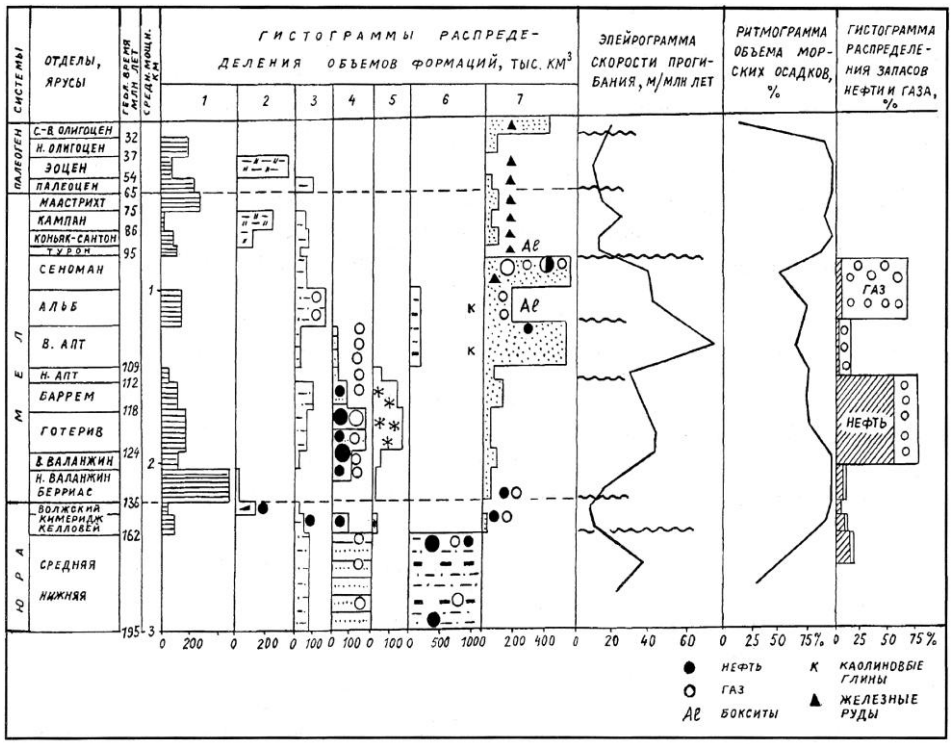


Рис. V.14.3. Общая модель формационного строения и нефтегазоносности платформенного чехла Западно-Сибирской плиты (Е. М. Максимов, 2014, с. 327): Формации: *1* – глинистая морская; *2* – кремнисто-глинистая, глинистая битуминозная; *3* – песчано-глинистая, линзовидно-слоистая континентально-морская; *4* – песчано-глинистая ритмично слоистая континентально-морская; *5* – песчано-глинистая пестроцветная; *6* – песчано-глинистая слабоугленосная континентальная; *7* – глинисто-песчаная континентальная

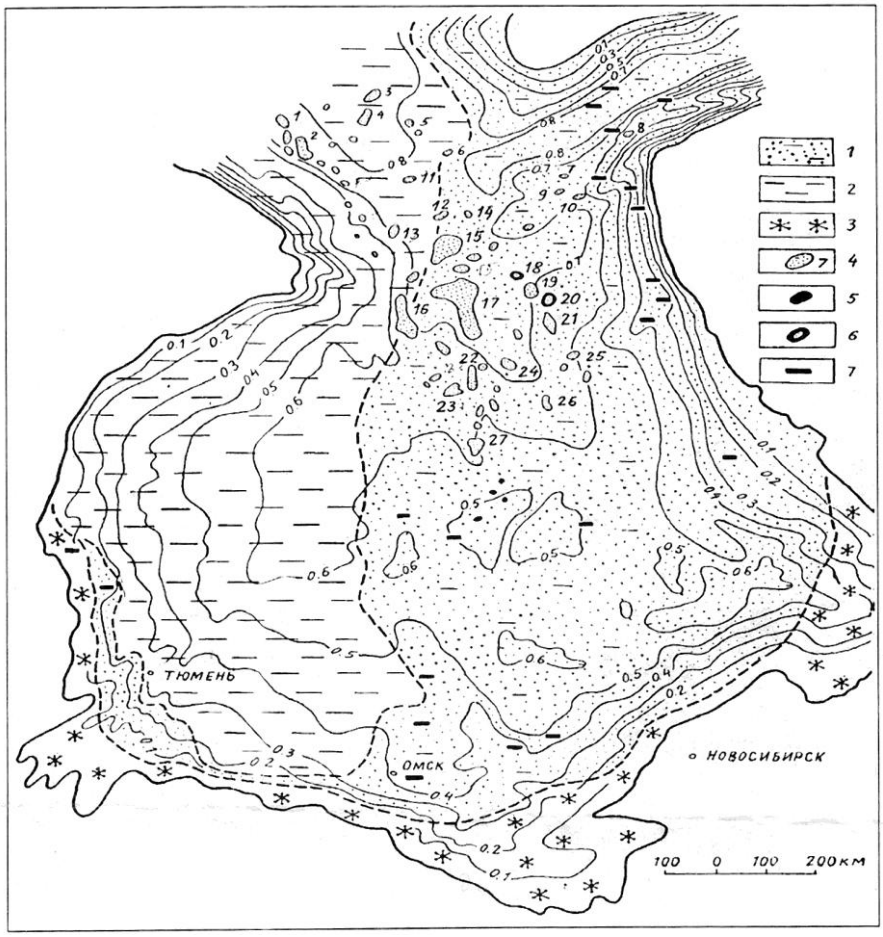


Рис. V.14.4. Формационная карта альб-сеноманского нефтегазоносного комплекса (Е. М. Максимов, 2014, с. 212): Формации: *1* – глинисто-песчаная континентальная; *2* – глинистая морская в объеме нижнего альба, песчано-глинистая в объеме верхнего альба, алевритовая в объеме сеноманского яруса; *3* – песчано-глинистая, пестроцветная. Залежи: *4* – газа; *5* – нефти; *6* – газонефтяные; *7* – бурые угли. Месторождения: 1 – Харасавейское; 2 – Бованенковское; 3 – Северо-Тамбейское; 4 – Южно-Тамбейское; 5 – Утреннее; 6 – Гыданское; 7 – Пеляткинское; 8 – Джангодское; 9 – Соленинское; 10 – Мессояхское; 11 – Геофизическое; 12 – Семаковское; 13 – Новопортовское; 14 – Антипаютинское; 15 – Ямбургское; 16 – Медвежье; 17 – Уренгойское; 18 – Тазовское; 19 – Заполярное; 20 – Русское; 21 – Южно-Русское; 22 – Губкинское; 23 – Комсомольское; 24 – Восточно-Таркосалинское; 25 – Кынское; 26 – Харампурское; 27 – Вынгапурское

V.14.2. Фациальные реконструкции разными методами

На рис. V.14.5 и V.14.6 представлены результаты исследований, проведенных при помощи «базовой модели седиментации В. С. Муромцева» и посредством анализа карт различных сейсмических параметров.

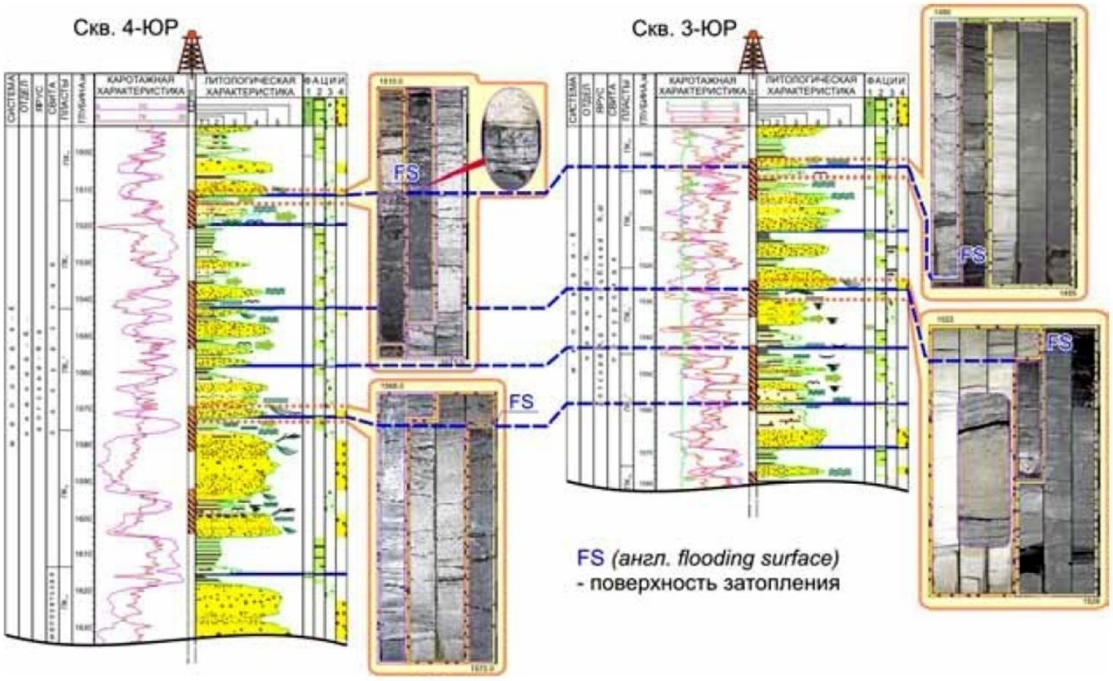


Рис. V.14.5. Схема циклофациального анализа нижне-среднепокурских отложений (М. О. Бербенев, 2013)

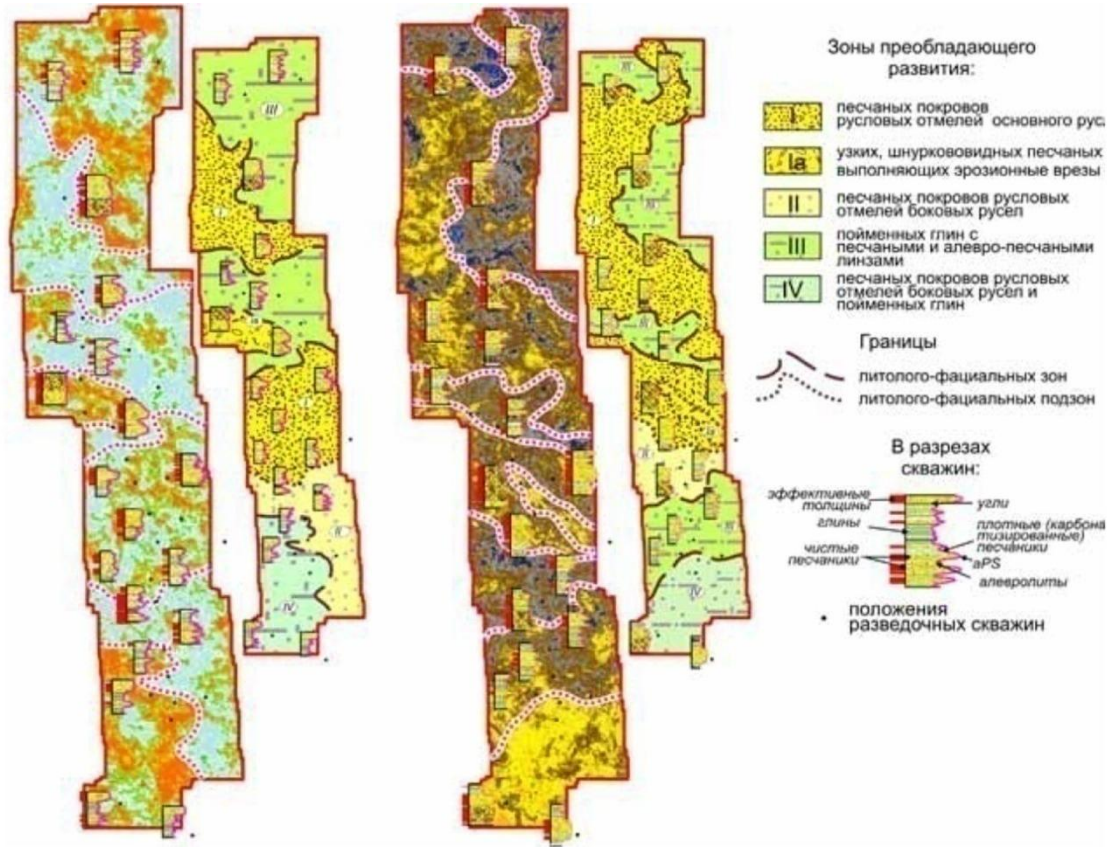


Рис. V.14.6. Схема сейсмофациального районирования альбских отложений на Южно-Русском вале (М. О. Бербенев, 2013)

В работе (Г. Н. Александрова и др., 2010) в результате палинологических исследований определены условия накопления отложений верхней части покурской свиты (табл. V.14.1). Эти сведения существенно дополняют информацию об индикационном значении органических остатков (см. п. I.3.1).

Таблица V.14.1

Состав органического вещества (ОВ) для различных палеофациальных обстановок (Г. Н. Александрова и др., 2010)

Палеообстановки	Палинофация
Нормально-морские	ОВ представлено малым количеством фюзинита в виде некрупных сортированных, окатанных углистых частиц, редкими обрывками тканей растений. Большое количество липтинита в виде многочисленных диноцист, спор, пыльцы и редких коньюгатов зеленых водорослей
Прибрежно-морские опресненные/эстуарные	ОВ представлено фюзинитом в виде многочисленных изометричных окатанных углистых частиц. Липтинита мало – немногочисленные споры и пыльца, коньюгаты зеленых водорослей; в прибрежно-морских фациях к ним добавляются диноцисты
Маршево-болотные	ОВ представлено в основном фюзенитом в виде многочисленных несортированных крупных обрывков тканей растений (трахеиды, фрагменты сетчатого жилкования, кутикулы и др.), при подчиненном содержании углистых частиц. Количество липтинита (спор и пыльцы) варьирует от значительного до малого, постоянно присутствуют коньюгаты зеленых водорослей
Русловые	1) Спокойное течение. ОВ представлено фюзинитом в виде многочисленных слабосортированных обрывков тканей растений, а также мелкими углистыми частицами палочкообразной и изометричной формы. Много липтинита в виде сильно корродированных, рваных спор и пыльцы. Коньюгаты зеленых водорослей малочисленны
	2) Сильное течение (каналы). ОВ практически полностью представлено фюзинитом в виде хорошо сортированных углистых частиц палочкообразной или округлой формы. Липтинит (споры и пыльца, коньюгаты зеленых водорослей) отсутствует или единичен
Озерно-лагунные	ОВ представлено преимущественно фюзинитом в виде многочисленных несортированных обрывков тканей растений, мелкими углистыми частицами, редкими кутикулами и трахеидами тканей растений. Много липтинита в виде спор и пыльцы, многочисленных и разнообразных коньюгат зеленых водорослей хорошей сохранности
Палеопочва	ОВ практически полностью представлено липтинитом – спорами и пыльцой прекрасной сохранности, а также фюзинитом в виде редких некрупных углистых частиц, обрывков тканей растений

Геологами Томского гос. университета выполнены аналитические исследования по 125 пробам, взятым из верхних пластов покурской свиты на Ватьеганской структуре (такие работы охарактеризованы в п. II.6.3). В табл. V.14.2 и V.14.3 показаны результаты факторного анализа по обработке петрогенных оксидов и РЗЭ.

Таблица V.14.2

Результаты факторного анализа петрогенных оксидов – ПФ (И. В. Афонин и др., 2015)

Фактор Factor	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	MnO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOI	Значимость фактора,% Factor value, %
ПФ1	**−0,77**	0,39	−0,21	**0,89**	0,27	**0,82**	**0,74**	0,57	0,65	**0,9**	0,23	0,37
ПФ2	0,05	**−0,82**	**−0,43**	−0,11	**0,74**	0,31	**−0,58**	0,05	**0,43**	0,02	0,09	0,17
ПФ3	**−0,6**	−0,17	**0,47**	−0,02	0,04	−0,05	−0,11	−0,29	−0,09	−0,15	**0,8**	0,13
ПФ4	−0,18	−0,18	**0,71**	−0,03	−0,03	−0,07	−0,13	0,3	0,36	−0,03	**−0,47**	0,09

Таблица V.14.3

Результаты факторного анализа геохимических индикаторов – ГФ (И. В. Афонин и др., 2015)

Фактор Factor	ΣTR	Ce/Ce*	Eu/Eu*	La/Yb	Sr/Ba	U/Th	Fe/Mn	SiO_2/Fe_2O_3	Mn/U	Gd/La	Gd/Yb	Ti/Zr	Значимость фактора,% Factor value, %
ГФ1	0,81	−0,23	0,5	0,89	−0,24	−0,19	0,09	0,06	−0,42	−0,19	0,9	0,01	0,34
ГФ2	0,39	−0,14	0,1	−0,22	0,46	−0,47	−0,34	−0,82	0,46	0,82	0,27	−0,4	0,22
ГФ3	0,07	0,48	0,08	0,17	−0,39	0,54	−0,75	−0,3	0,42	−0,08	0,13	0,33	0,14
ГФ4	0	0,74	0,3	0,06	0,56	0,45	0,4	−0,06	−0,21	0,13	0,13	−0,14	0,12

На рис. V.14.7 показан только один пример определения условий осадконакопления. Всего же авторами установлено «… шесть основных фациально-геохимических зон, соответствующих главным палеогеографическим элементам: руслам (дельтам), старицам, приливно-отливным зонам, лиманам, ближнему шельфу, областям взаимодействия пресных и соленых вод».

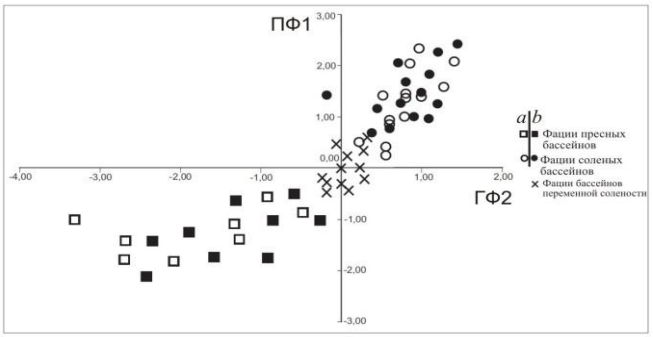


Рис. V.14.7. Распределение значений в поле факторов (И. В. Афонин и др., 2015): *a* и *b* – подгруппы по качественным оценкам окислительно-восстановительных потенциалов

V.14.3. Литолого-фациальный анализ пластов ПК$_{1\text{-}3}$

Такие исследования для Мессояхской зоны нефтегазоносности представлены в работе (Е. Р. Чухланцева, 2016). В табл. V.14.4 приведены сведения об установленных фациях.

Таблица V.14.4

Литогенетические типы и фации, выделенные в отложениях группы пластов ПК$_{1\text{-}3}$
(Е. Р. Чухланцева, 2016; с сокращениями)

Объект	Обстановки осадконакопления	Фации	Биостратиграфическая характеристика	Литогенетические типы
Газалинская пачка	**Мелководный шельф**	Относительное морское глубоководье	Фораминиферы из зоны *Trochammina wetteri, Trochammina subbotinae*. Комплекс диноцист, характеризующийся большим таксономическим разнообразием микрофитопланктона	Глины алевритистые, с массивной текстурой, с раковинным детритом, ихтиодетритом, следами биотурбации
Средний + верхний интервал группы пластов ПК$_{1\text{-}3}$	Приливно-отливный комплекс отложений	Приливно-отливные отмели	Невысокая насыщенность палиноморфами неудовлетворительной сохранности. Агглютинирующие фораминиферы: *Trochammina subbotinae Zaspelova, Trochammina sp., Ammodiscus sp.* Присутствует разрушенное органическое вещество, обломки палинодебриса и углистые частицы	Алевролиты и глины с линзовидно-слоистой текстурой, подчеркнутой тонкими линзами песчано-алевритового материала, с текстурами деформаций, со следами углефицированных корней
				Песчаники мелкозернистые с линзовидно-волнистой, разнообразной волнистой слоистостью, подчеркнутой тонкими слойками глинистого алевролита или мелкого растительного детрита
				Сложное переслаивание глин, глинистых алевролитов, алевритовых песчаников с тонкими прослоями углей, с прослоями карбонатного цемента с признаками биотурбации Cylindrichnus, Arenicolites и следами деформации, с преимущественно линзовидной, линзовидно-волнистой слоистостью
		Приливные гряды		Песчаники мелко- тонкозернистые, с мелкой косой слоистостью с признаками ряби течения (восходящая, разнонаправленная), слоистость подчеркнута слойками углисто-слюдисто-глинистого материала, сцементированы кальцитом
		Прибрежные гряды и береговые намывные косы		Песчаники мелко- тонкозернистые, с разнообразной слоистостью: прерывистой флазерной, косоволнистой выпуклой, преимущественно сильно срезанной, с S-образной косоволнистой с признаками ряби течения (восходящая, разнонаправленная), подчеркнутой слойками углисто-слюдисто-глинистого материала

Окончание табл. V.14.4

Объект	Обстановки осадконакопления	Фации	Биостратиграфическая характеристика	Литогенетические типы
Нижний интервал группы пластов ПК$_{1-3}$	**Дельтовый комплекс отложений**	Дельтовые распределительные каналы	Палиноморфы средней сохранности, с множеством рванных и смятых пыльцевых зерен и спор. Органическое вещество представлено обломками растительного детрита, с присутствием минеральных кристаллов и мелких обломков органического происхождения	Песчаники мелко-тонкозернистые с массивной текстурой, с включением глинистых и сидеритовых обломков, с биотурбацией типа Cylindrichnus, Planolites, Teichichnus
				Песчаники с включениями обломков алевролитов («псевдоконгломераты), образованные неокатанными, «плавающими» обломками алевролита в песчаном матриксе
				Алевролиты горизонтально-слоистые с линзами песчаника тонкозернистого основания дельтовых проток
		Передовая часть дельты		Песчаники тонко-мелкозернистые, с отчетливой серийной разнонаправленной крупной пологой косой слоистостью, со слоистостью веерного типа
		Междельтовые заливы		Глинистые алевролиты с мелкомасштабными прослоями тонкозернистых песчаников, с горизонтальной, волнистой слоистостью, со следами деформаций, с биотурбацией корневыми остатками
		Приморские болота (марши)	Органическое вещество представлено в основном обломками обугленного растительного детрита. Преобладают споры сфагновых мхов и папоротникообразных. Значительно участие в палиноспектрах спор *Sphagnum sp*. Осадконакопление в условиях заболачивания	Глины углистые черные, массивные, насыщенные фитодетритом, с прослоями глинистых алевролитов, с остатками корневых систем, с крупными остатками растений, с неявной горизонтальной либо массивной слоистостью

Установлено, что пространственная неоднородность емкостных и фильтрационных свойств пород обусловлена выявленной литолого-фациальной зональностью. Улучшенными коллекторскими свойствами характеризуются отложения дельтовых каналов и приливно-отливных отмелей, ухудшенными – прибрежных баров и краевых частей дельтовых каналов, худшие коллектора связаны с отложениями междельтовых заливов (табл. V.14.5).

Таблица V.14.5

Значения ФЕС для различных фаций пластов ПК$_{1-3}$

(Е. Р. Чухланцева, 2016; с сокращениями)

Фация	Пористость Кп, %	Проницаемость Кпр, mD
Приливно-отливная отмель	$\frac{1.25-43.13}{29.8}$ *	$\frac{0.01-3793}{219}$
Прибрежные бары	$\frac{1.76-38.65}{30.1}$	$\frac{0.01-4777}{250}$
Краевой части дельтовых каналов	$\frac{1.78-41.55}{28.4}$	$\frac{0.01-3674}{305}$
Центральной части дельтовых каналов	$\frac{1.85-43.62}{33.0}$	$\frac{0.01-5044}{801}$
Внутридельтовых заливов	$\frac{2.72-38.69}{23.5}$	$\frac{0.01-2891}{92}$

* В числителе: от – до; в знаменателе – среднее.

К ПОИСКУ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ИЗМЕНЕНИЯХ ФАЦИАЛЬНОГО СОСТАВА

V.15. ОТЛОЖЕНИЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

V.15.1. Исходные представления

На рис. V.15.1 приведены представления о единстве в коэволюции процессов на микро- и макроуровнях. Так же, как океан состоит из бесконечного количества капель воды, так и в каждой капле отражается океан.

Рис. V.15.1. Космическая эволюция макро- и микроструктур (E. Jantsch, 1980, p. 94). Асимметричное развертывание физических полей требует вхождения во взаимодействие, шаг за шагом, новых структурных уровней – от макроскопического до микроскопического

На рис. V.15.2 показан разномасштабный подход к изучению основного материала для определения фациального состава отложений - керна скважин.

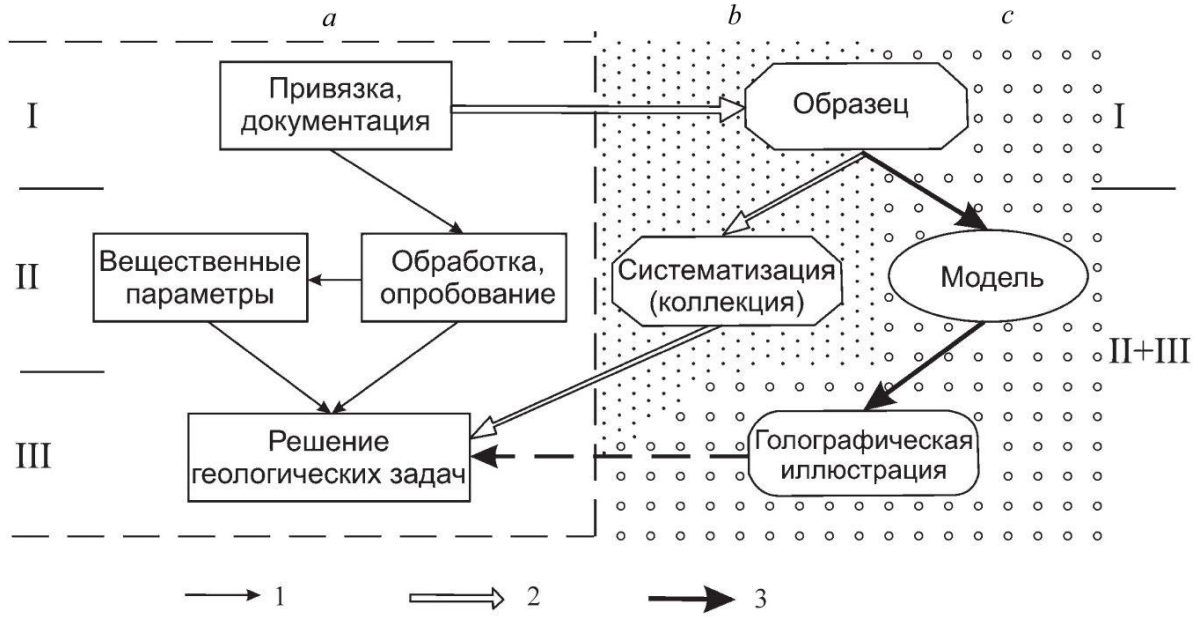


Рис. V.15.2. Работа с керном в нефтегазовой литологии:

1 – стандартная, *2* – специальная, *3* – широко использованная в пособии; *a* – обычная схема, применяемая в организациях производственного и научно-исследовательского профиля; *b* – специализированные работы, прежде всего фациальные исследования; *c* – особый, "штучный" подход. I–III – уровни, отражающие последовательность выполнения исследований

Использование конкретных образцов для решения или иллюстрации к решению различных задач неоднократно применялось в разных частях пособия. Дополним их еще двумя примерами, имеющими хотя и частное, но довольно существенное методологическое значение.

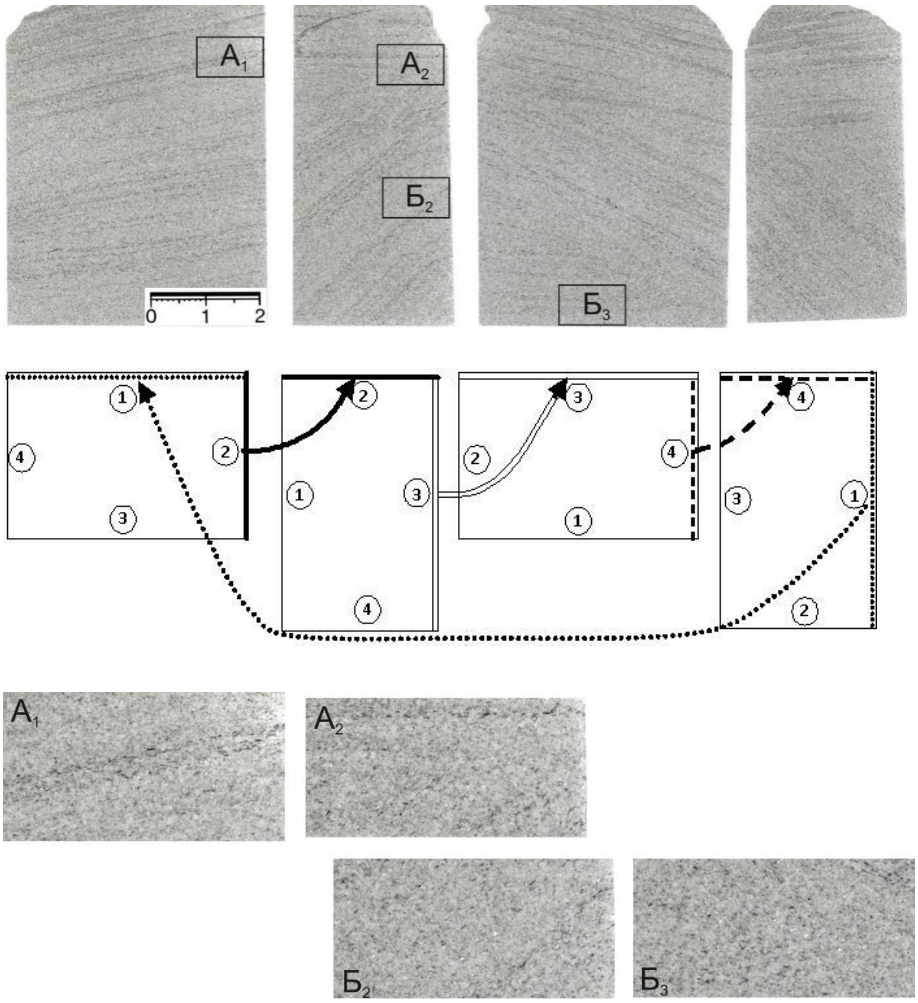


Рис. V.15.3. Развертка образца тонко-мелкозернистого песчаника (интервал пласта $БВ_8$, Северо-Покачевское месторождение): вверху видно, как псевдогоризонтальная слоистость (крайняя слева плоскость) «транслируется» в косую, с крутыми углами наклона серийных швов и слойков. На плоскости 3 (третье изображение слева) слоистость приобретает Z-образный характер; внизу показаны фрагменты, иллюстрирующие серийные швы

Это наглядная иллюстрация того, что в песчанике не может быть горизонтальной слоистости (см. рис. I.2.13): границы серий *косой* слоистости с параллельными слойками часто либо дезинтегрированы, или незаметны в силу небольших углов наклона.

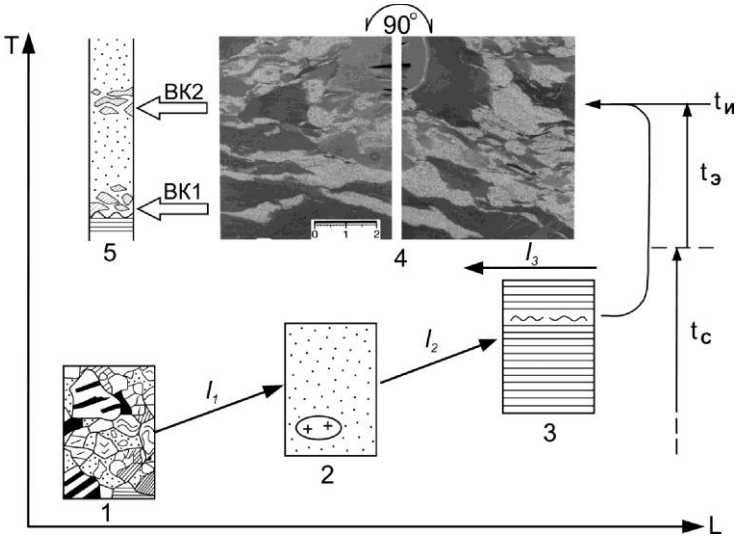
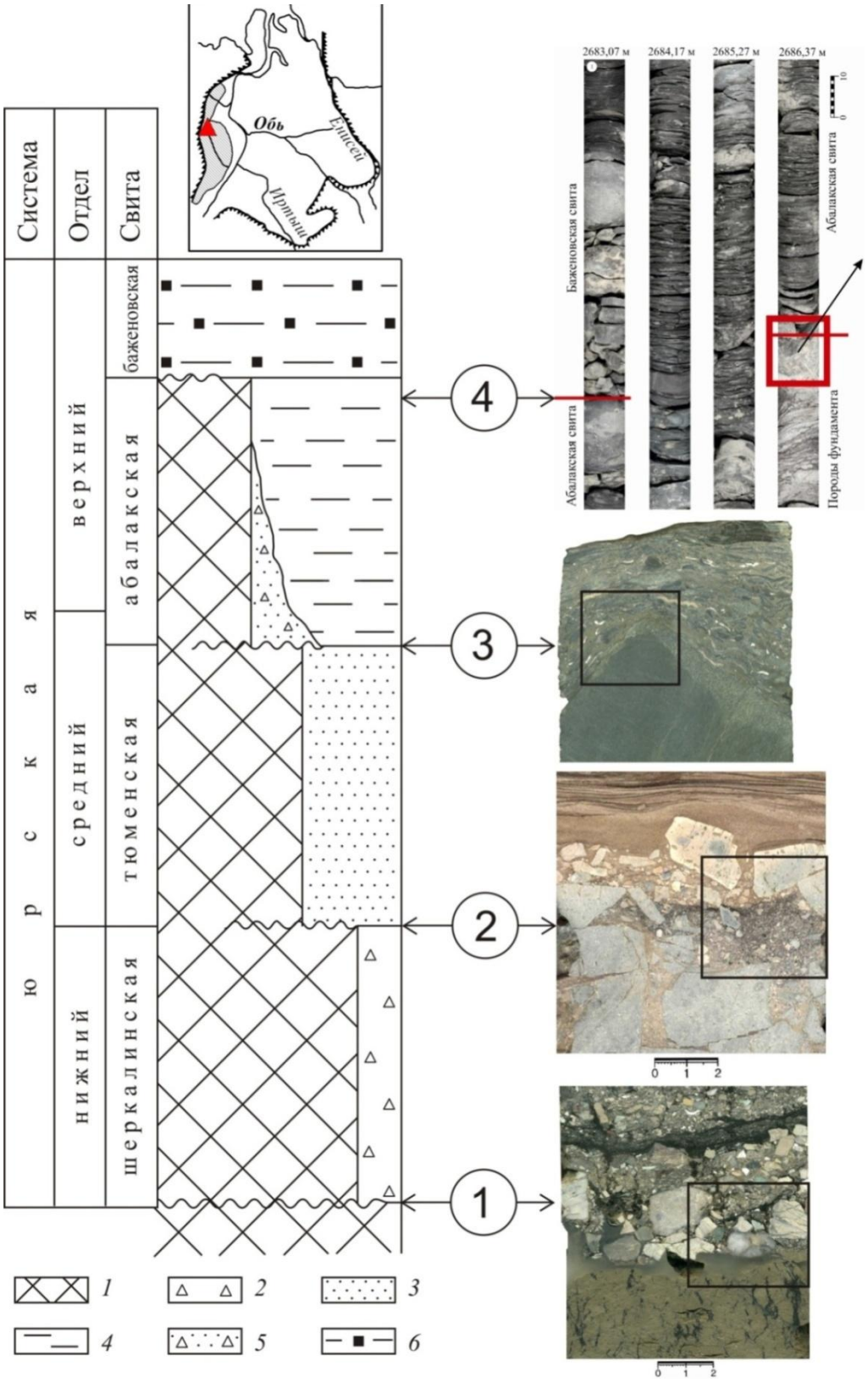


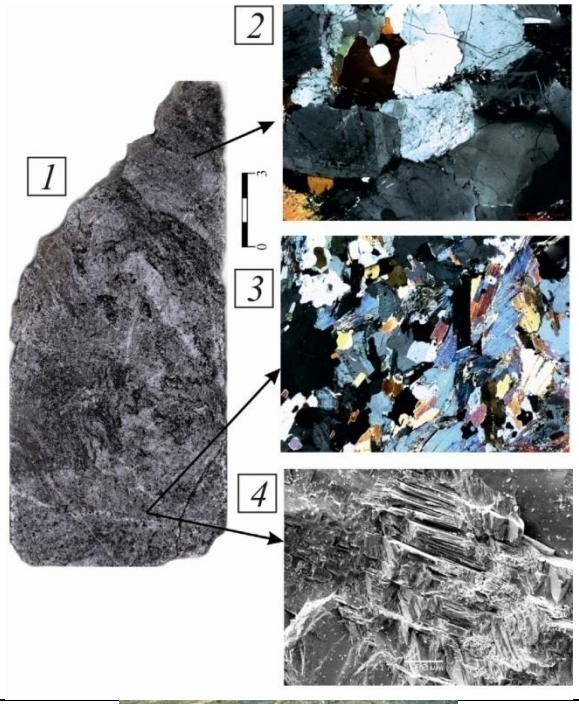
Рис. V.15.4. Модель переноса и переотложения осадочного материала: *L* – расстояние транспортировки; *T* – геологическое время

В образце 2 показана «плавающая» галька. ВК1 и ВК2 – «внутриформационные конгломераты» (укоренившееся, но весьма неточное название). Обычно они представлены песчаным (нередко очень хорошо сортированным) матриксом, с включениями разного количества обломков более тонкой размерности и недальнего переноса. Более удачен термин «пудинговые песчаники».

V.15.2. Временны́е и латеральные изменения фациального состава

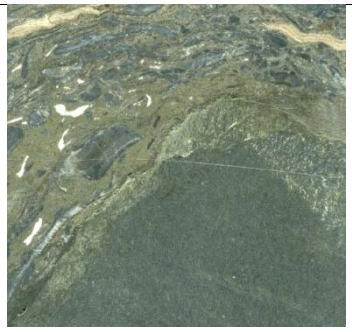
Этому вопросу по существу посвящен весь массив конкретных сведений, изложенный в темах V.5 – V.14. «Закрепим» его двумя сводными примерами, отображенными на рис. V.15.5 и V.15.6. Они (опять же «в образцах») иллюстрируют сводную модель, изображенную на рис. IV.15.5.





Литолого-петрографическая характеристика керна скважины 153 Пальяновского месторождения, Красноленинский нефтегазоносный район (НГР) (В. Н. Гилева и др., 2014):

1 – фото образца на контакте абалакской свиты и пород фундамента на глубине 2687,03 м (положение см. на фото керна: интервал 4 на колонке скважины); *2* – фото шлифа из верхней части образца; *3* – фото шлифа из нижней части образца; *4* – фото из нижней части образца (растровая электронная микроскопия)



Аккумулятивный контакт известково-алевритовых пород вогулкинской толщи с палеозойскими известняками. В юрских породах – текстура облекания. В породах фундамента зона физико-химического выветривания разной толщины: в торцовой зоне до 1 см, в основной – до 2 мм.

Толумское месторождение, скв. 10803, Шаимский НГР

Аккумулятивное налегание хорошо сортированного тонкозернистого линзовидно-волнистого песчаника прибрежного подвижного мелководья открытого озерного водоема (фация ОВМ) на слабодезинтегрированные породы фундамента (предположительно палеозой: С-Р). Толщина зоны интенсивной физической дезинтеграции 2-3 см.

Даниловское месторождение, Шаимский НГР

Непосредственный контакт нижнеюрских отложений шеркалинской свиты с породами фундамента предположительно триасового возраста. Отчетливое аккумулятивное залегание дополнительно фиксируется корневой системой, проникающей в породы фундамента

Рис. V.15.5. Контакты, отражающие стратиграфические перерывы в юрских отложениях Западно-Сибирского осадочного мегабассейна: *1* – фундамент; *2* – нижнеюрские отложения шеркалинской свиты; *3* – среднеюрские отложения тюменской свиты; *4* – средне-верхнеюрские отложения вогулкинской пачки и *5* – абалакской свиты; *6* – верхнеюрские отложения баженовской свиты

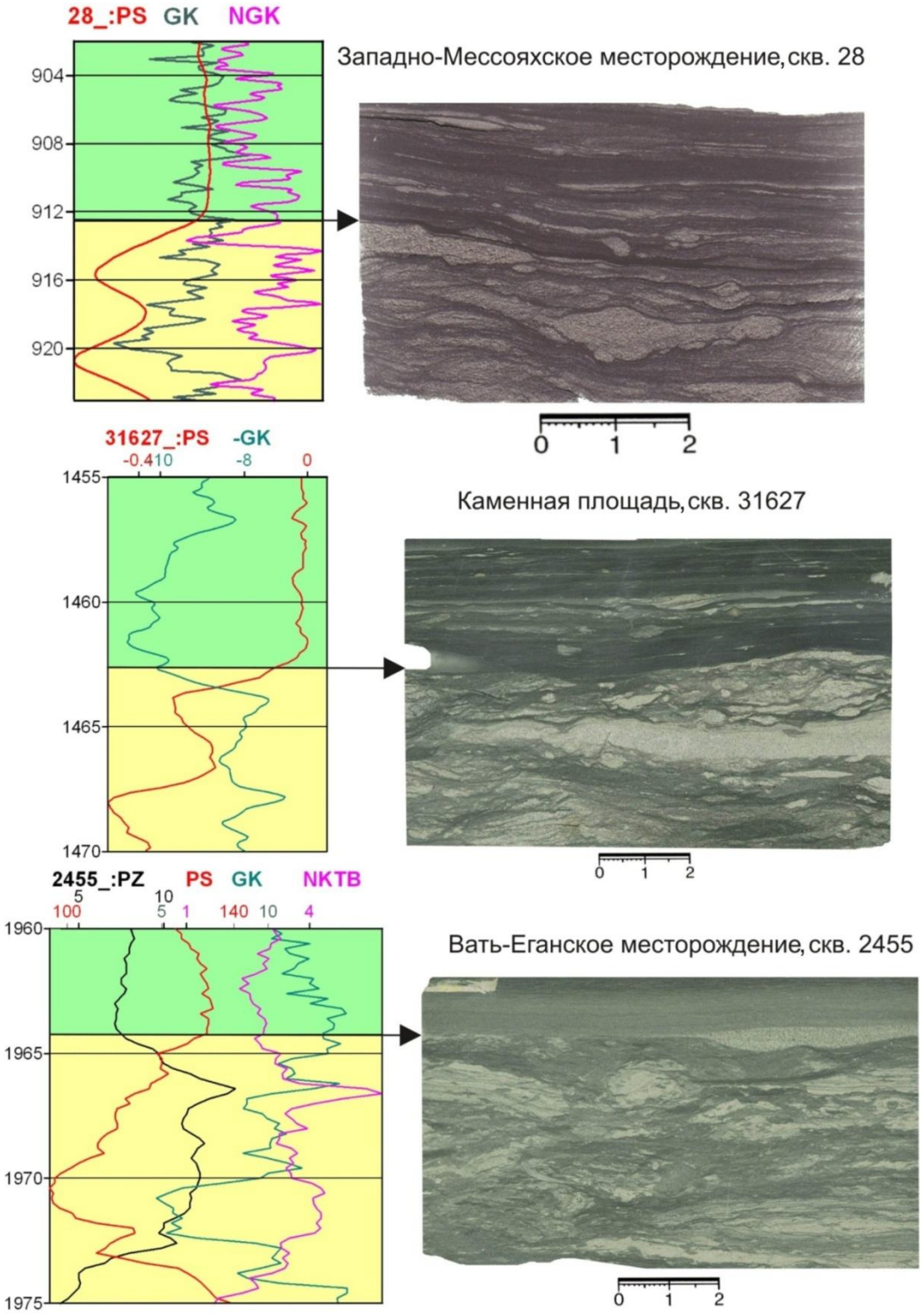


Рис. V.15.6. Эквифинальность границ лито(сейсмо)стратиграфических горизонтов (сверху вниз): кузнецовской и покурской; ханты-мансийской и викуловской; алымской и ванденской свит (см. табл. IV.15.3)

Эквифинальность (лат. aequus – равный; finalis – конечный) – способность открытых систем достигать одинакового конечного состояния, независимо от нарушения их начальных условий реализации (Л. фон Берталанфи, 1962).

V.15.3. Псевдо-«базальные горизонты»

Уже долгие годы в процессе познания закономерностей в строении отложений Западной Сибири активно внедряется «механическое циклирование», на недостатки которого указано в п. III.7.2. Имея свои достоинства (особенно при отсутствии керна), данная методология, в частности, находится в поиске «базальных горизонтов», которые часто «взрезают» последовательно залегающие отложения, как консервным ножом (рис. V.15.8). Этот пример приводится в порядке обсуждения, поскольку он находится в принципиальном противоречии с приведенными выше сведениями (см. рис. V.15.6).

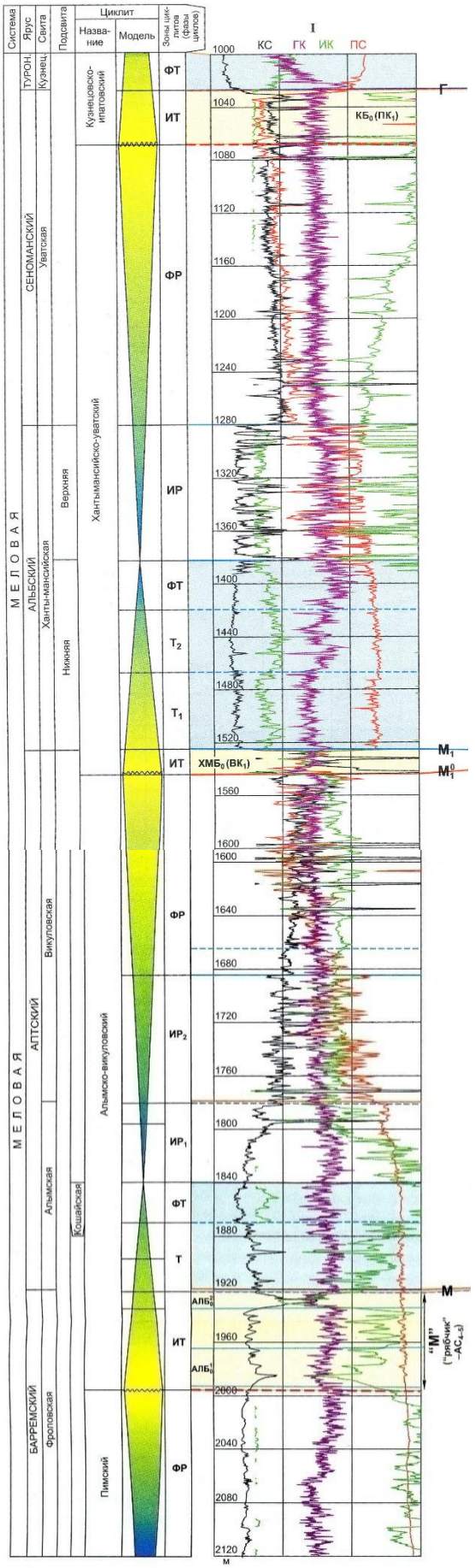


Рис. V.15.8. Детальная литмостратиграфическая схема расчленения и корреляции баррем-сеноманских отложений Красноленинского района (Ю. Н. Карогодин, 2006):

1 – базальные пласты; *2* – трансгрессивные глинистые толщи; границы региональных циклитов: *3* – явная, *4* – предполагаемая; границы зон циклитов (фаз циклов): *5* – явная, *6* – предполагаемая; *7* – границы свит. I, II, III – условные номера скважин. Г, М, $М_1$, $М_1^0$ – сейсмические отражающие горизонты. Основные зоны циклитов (фазы трансгрессивно-регрессивных циклов): ИР – инициально-регрессивная, ИТ – инициально-трансгрессивная (базальный пласт), Т – трансгрессивная, ФР – финально-регрессивная, ФТ – финально-трансгрессивная.

$АЛБ_0$ ($АС_{4-5}$) – базальный пласт алымской свиты апта (предлагаемое и официальное (в скобках обозначение).

$ХМБ_0$ ($ВК_1$) – базальный пласт ханты-мансийской свиты альба: предлагаемое и официальное (в скобках)

V.16. В ПОИСКЕ ОБЩЕГО ДЛЯ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

V.16.1. Методологические аспекты

Принципы и сущность фациальных исследований достаточно полно раскрыты во II части пособия (темы II.1 – II.7). Их вмонтированность в общую структуру литологии иллюстрирует рис. V.16.1.

Рис. V.16.1. Основные разделы современной теоретической литологии и их взаимоотношения (В. Г. Кузнецов, 2010, с. 10). Пунктиром показано широкое значение (sensu lato) седиментационного раздела

Не повторяя изложенные сведения, дополним их только одним – предельно важным, но нередко забываемым приемом, получившим образное название «бритва Оккама».

> **Бритва О́ккама** (иногда **«лезвие Оккама»)** — методологический принцип, получивший название от имени английского монаха-францисканца, философа-номиналиста Уильяма Оккама (Ockham, Occam; ок. 1285 – 1349). В кратком виде он гласит: *«Не следует множить сущее без необходимости»* (либо *«Не следует привлекать новые сущности без крайней на то необходимости»).* Этот принцип формирует базис методологического редукционизма, также называемый *принципом бережливости,* или *законом экономии* (лат. *lex parsimoniae*).
>
> То, что сегодня называют «бритвой Оккама», не было создано Оккамом, если иметь в виду базовое содержание этого принципа. То, что в условиях Проторенессанса сформулировал Оккам, было известно, по крайней мере, со времён Аристотеля.
>
> Принцип «бритвы Оккама» состоит в следующем: если некое явление может быть объяснено двумя способами: например, первым – через привлечение сущностей (терминов, факторов, фактов и проч.) A, B и C, либо вторым – через сущности A, B, C и D, и при этом оба способа дают идентичный результат, то считать верным следует первое объяснение. А сущность D в этом примере – лишняя: и её привлечение избыточно.
>
> Важное уточнение, что бритва Оккама – не аксиома, а презумпция, то есть она не запрещает более сложные объяснения в принципе, а лишь рекомендует *порядок рассмотрения* гипотез, который в большинстве случаев является оптимальным.

«*Следует руководствоваться общим правилом естествознания – сначала объясни легче проверяемыми и естественными причинами (чаще – экзогенными), лежащими «на поверхности», а потом, в случае полного или частичного неуспеха, привлекай отдаленные и экзотичные, в том числе и глубинные причины*» (В. Т. Фролов, 2004).

На рис. V.16.2 приводится использование «бритвы Оккама» для иллюстрации дискуссии о правомерности использования генетического подхода в геологии (см. II.1.2).

Рис. V.16.2. Модель взаимоотношений униформизма и актуализма, с учетом непременного использования принципа «бритвы Óккама»: T – геологическое время, не позволяющее воспроизвести «овеществленное прошлое»; P – практицизм, обеспечивающий воспроизводимость и проверяемость выполняемых операций; S – субъективизм, изначально присущий геологии в силу специфики геологического времени T; V – верификация заключений и построений, являющаяся ключевым этапом моделирования

Проиллюстрированное имеет прямое отношение к коллекторам Западной Сибири. 1. Явный практицизм, базирующийся на униформистских представлениях (P на рис. V.16.2), нередко приводит к поиску «врезанных долин» даже там, где их наличие противоречит «школьным» геологическим представлениям (см. п. V.13.2 и особенно рис. V.13.6). 2. Субъективизм в выделении псевдобазальных горизонтов (S на рис. V.16.2) противоречит азбучным понятиям стратиграфии (см. рис. V.15.8) и не может быть валидизирован в соответствии с представлениями, изложенными в теме IV.14.3. Почти единодушное выделение «классических» турбидитов в ачимовской пачке (S на рис. V.16.2) представляется достаточно спорным. В первую очередь это диктуется малой глубиной бассейна осадконакопления (см. V.10). Кроме того, как и в предыдущем случае, такой подход не валидизируется в рамках седиментологических представлений.

V.16.2. Фациальный анализ в рамках NBICS-конвергенции

В продолжение тематики, представленной в п. IV.16.1, укажем, что фациальные исследования имеют дело с уровнями исследования натурного вида, близкими к 1 (от 1 : 10 при детальном изображении деталей до 100 : 1 и более при построении колонок и т.п.: см. II.7). Это резко отличается от наномасштабных размеров (10^{-6}÷10^{-9}). Однако, будем исходить из того, что в трансдисциплинарных исследованиях более значим не столько размер, сколько подход. Именно в этом ракурсе последовательно рассмотрим перспективы фациального анализа в ракурсе NBICS-конвергенции, по соответствующим вершинам пентаэдра (см. рис. IV.16.1).

***N (нано).** На рис. V.16.3 показана принципиальная методологическая схожесть оценки фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) с помощью интегрированного параметра FZI (см. п. I.11.3) процедуре установления фаций по комплексу диагностических признаков (см. п. II.4.3). Кроме того, усилившийся интерес к проблеме клатратов, т. е. объектов собственно наноуровня (см. п. IV.12.3), вполне может рассматриваться с позиций фациального анализа.

***B (био).** Биологическую компоненту NBICS-конвергенции в плане фациальных исследований можно трактовать разнопланово. Во-первых, для многих областей осадконакопления сами фации суть биоценозы, что реализовано в *биофациях*. Наиболее яркими примерами тому служат органогенные отложения, преобразо-

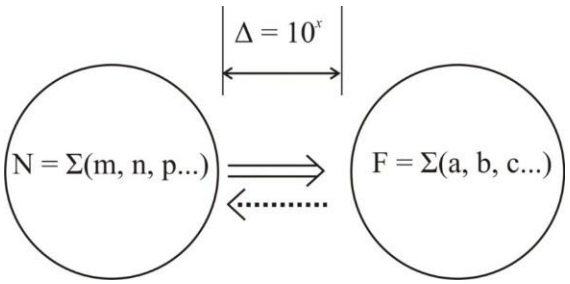


Рис. V.16.3. Установление типов коллекторов N по набору параметров фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС): m, n, p, … и фаций F по набору диагностических признаков: a, b, c, …. Различия в диапазонах наблюдений составляют 10^x, где $x \approx 6\text{-}9$;
⇨ использование интегрального параметра N (FZI и другие) для выделения наиболее перспективных объектов (типов коллекторов);
⇢ характер распределения параметра N в палеоландшафтном пространстве изучаемого объекта

ванные в известняки, а также угли, являющиеся продуктом начального торфонакопления. Во-вторых, биологическая компонента является важной составной частью многих пород, указывающей на условия их формирования. В-третьих, это участие биоты в рельефообразовании, что имеет важное значение как минимум для фанерозоя.

Особые перспективы в развитии фациальных исследований просматриваются в следующем положении. «Иногда современные материаловеды называют созданные ими системы сообразительными или даже "умными" материалами. Цель исследований иногда описывается как "оживление неживого мира" (I. Amato, 1992). С философской точки зрения представляется, что такой девиз возвращает нас к традициям алхимии. Возможно, что кто-то из философов науки может критиковать словарь материаловедов как ненаучный анимизм. Но с точки зрения сложных систем, в нем есть твердое научное ядро. Свойства самоорганизации не обязательно соединяются с сознательным поведением на базе нервной системы. Они даже не обязательно зависят от биологических катализаторов или информационных устройств, закодированных в генах. Таким образом, между **так называемыми неживой и живой природой нет разрыва.** При эволюции материи мы наблюдаем системы с более или менее высокими степенями организации. Ясно, что мы сделали лишь самые первые шаги в понимании таящегося в них потенциала» (К. Майнцер, 2009, с. 109-110).

***I (инфо).** Влияние экспоненциального развития информационных технологий на классический фациальный анализ отчасти рассмотрено в предыдущих разделах (см. пп. II.3.2, II.6.2, II.6.3). Особое значение здесь приобретает **распознавание образов**, переходящее в стадию искусственного интеллекта. Созвучие фациальных основ и нейронных сетей показано на рис. V.16.4.

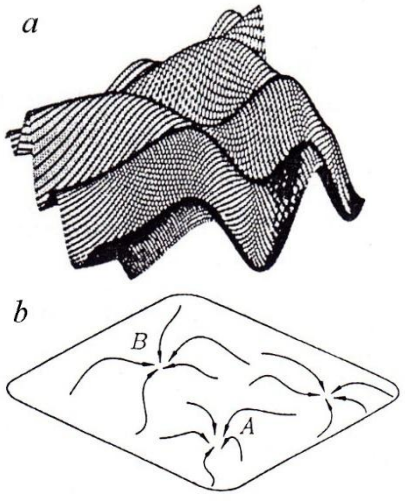


Рис. V.16.4. Модель Хопфилда – динамическая система, аттракторами которой являются устойчивые особые точки: пространство состояний системы Хопфилда как энергетический ландшафт (*a*); локальные минимумы как аттракторы (*b*) (К. Майнцер, 2009, с. 174)

На рис. V.16.5 проиллюстрирована бистабильность восприятия информации, с равноправным восприятием известных в психологии картинок «мужчина – девушка», внутри «клюва», обозначенного пунктиром. Нетрудно соотнести этот пример с реконструкцией фации. В областях, где с изображениями все понятно, определение фигуры (читай – фации) не вызывает особых затруднений, особенно при наличии внятного алгоритма ее установления.

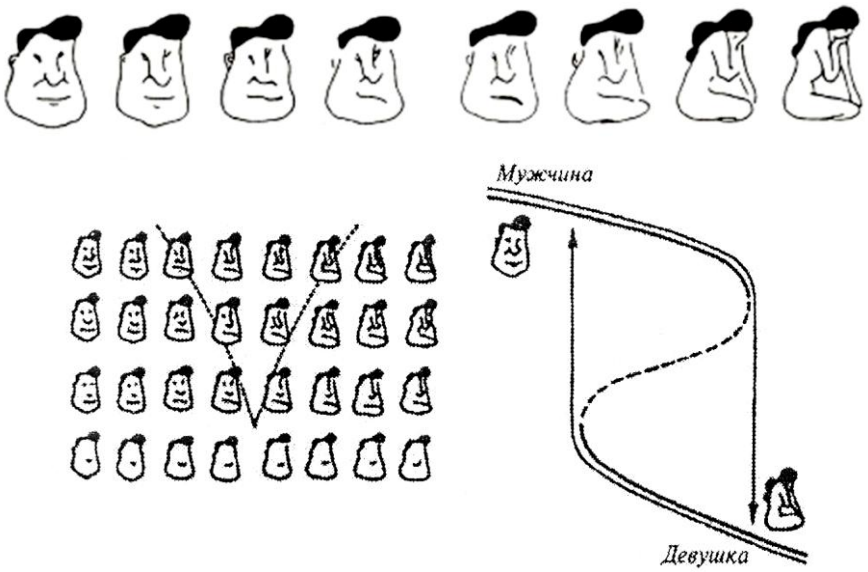


Рис. V.16.5. Оптическая иллюзия, демонстрирующая бистабильность восприятия (Г. Г. Малинецкий, 2005, с. 143). При изменении детальности изображения (по оси ординат) область бистабильности формируется в виде «клюва», где фигура интерпретируется и как «лицо», и как «девушка»

Процедура значительно усложняется при нечеткости, расплывчатости восприятия, что зачастую и является «камнем преткновения» при фациальных реконструкциях (см. II.1.2, II.1.3). Именно данный факт служит традиционным и наиболее весомым аргументом противников фациальных (в более широком плане – генетических) реконструкций. Дополним, что решение задачи (диагностика фации) обычно выполняется *скачком*.

***С (когнито).** На рис. V.16.6 представлена общая модель, иллюстрирующая эволюцию представлений о фациях. Каждый из выделенных витков обозначает новый шаг в продвижении субъекта (С) к пониманию объекта (О), что полностью соответствует непреложной смене парадигм знания (см. табл. IV.15.1).

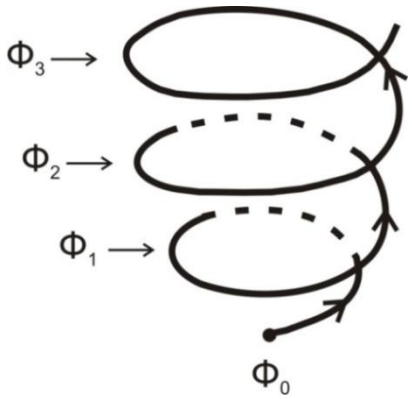


Рис. V.16.6. Модель, представляющая развитие фациального анализа:

$Ф_0$ – исходные понятия А. Грессли;

$Ф_1$ – линейные представления (классическая парадигма);

$Ф_2$ – синергетическое мировидение (неклассическая парадигма);

$Ф_3$ – постнеклассическая парадигма (диалог человека с природой)

***S (социо).** Окружающий геолога-нефтяника социум (S), прежде всего в виде сервисных геолого-геофизических организаций, обслуживающих предприятия нефтегазового комплекса, проявляет непреходящий интерес к фациальным исследованиям. Конечно, диапазон предлагаемых решений здесь очень и очень велик. На одном его конце находятся утверждения вида «Часто для моделирования бывает достаточно двух фаций: породы-коллекторы и породы-неколлекторы» (К. Дойч, 2011, с. 214; см. п. II.3.1). На другом же, по нашему мнению, расположен поиск закономерностей в русле неклассической, а потенциально – и постнеклассической парадигм.

Именно для S-вершины применимо приведенное ниже высказывание. Не относясь к фациальному анализу «напрямую», оно иллюстрирует стержневую нить предлагаемого пособия.

«С синергетической точки зрения процедура обучения, способ связи обучающего и обучаемого, учителя и ученика – это их взаимная циклическая детерминация и их взаимное конструирование, становление и развитие. Обучение – это не передача знаний как эстафетной палочки от одного человека к другому, но создание условий, при которых становятся возможными процессы порождения знаний самим обучающимся, его активное и продуктивное творчество. Это – нелинейная ситуация открытого диалога, прямой и обратной связи, солидаристического образовательного приключения, попадания – в результате разрешения проблемных ситуаций – в один и тот же, самосогласованный, темпомир. Последнее означает, что благодаря совместной активности в такого рода ситуации учитель и ученик начинают функционировать с одной скоростью, жить в одном темпе. Учитель не просто задает вопросы, на которые заранее знает ответ, хотя это и имеет место на начальных стадиях обучения. Он ставит проблемы так, чтобы начать совместное исследование, чтобы ученик удивился тайнам бытия, понял неисчерпаемость познания мира и приобретал не столько "знаю что", сколько "знаю как" (know how)» (Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов, 2006, с. 137).

V.16.3. Фация как интерфейс между наблюдателем и геологическим прошлым

Интерфейс *(англ. interface – поверхность раздела, перегородка) – граница раздела двух систем, устройств или программ, определённая их характеристиками, характеристиками соединения, сигналов обмена и т. п. Совокупность унифицированных технических и программных средств и правил (описаний, соглашений, протоколов), обеспечивающих взаимодействие устройств и/или программ в вычислительной системе или сопряжение между системами.* ***Понятие интерфейса распространяется и на системы, не являющиеся вычислительными или информационными*** (Википедия).

На рис. V.16.7 приведены разные варианты интерфейсов, которые в принципе не имеют своей размерности по «толщине» перегородки.

Такой подход принципиально созвучен *гравюре Фламмариона*, изображенной на рис. V.16.8. На ней изображен пилигрим, проникший сквозь занавес небесного свода и разглядывающий устройство Вселенной.

Применительно к фациальному анализу данная гравюра может рассматриваться с двух позиций: 1) *прямой*, когда «занавес небесного свода» соотносится с

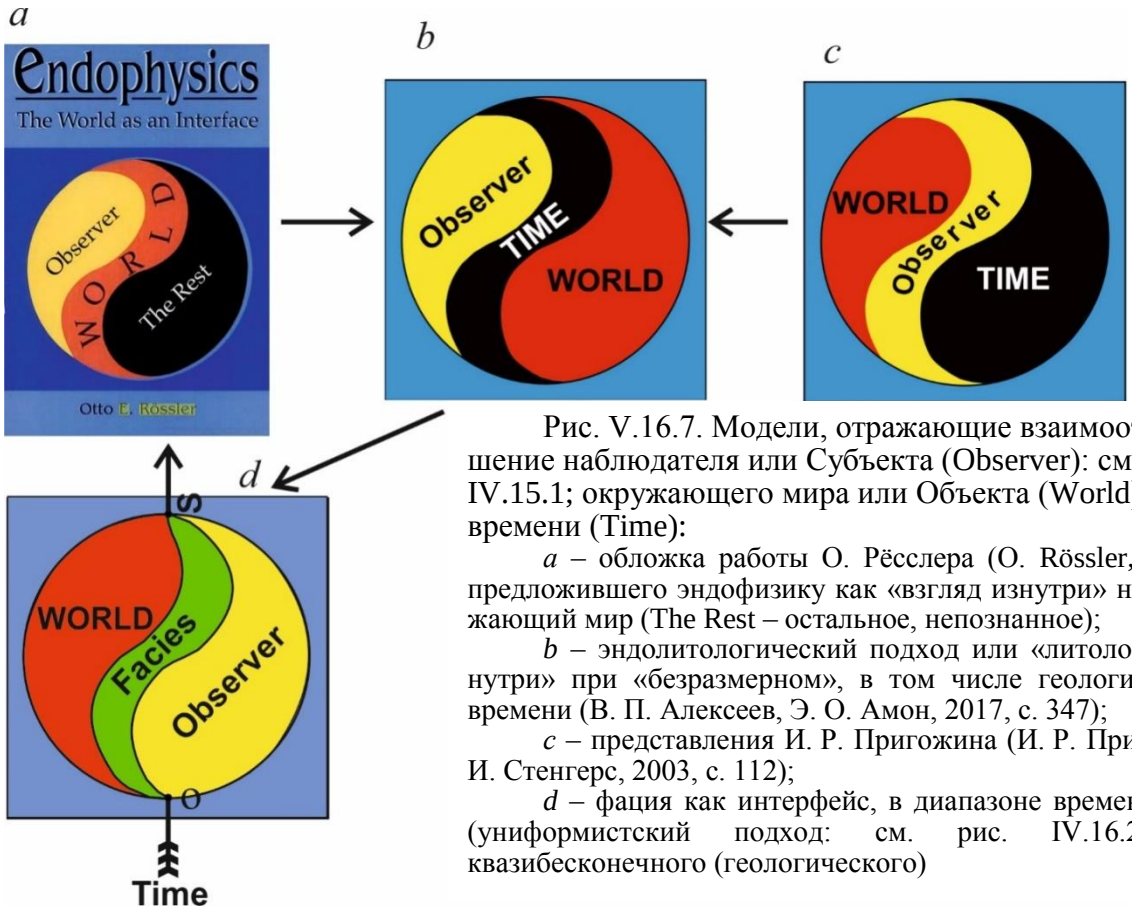


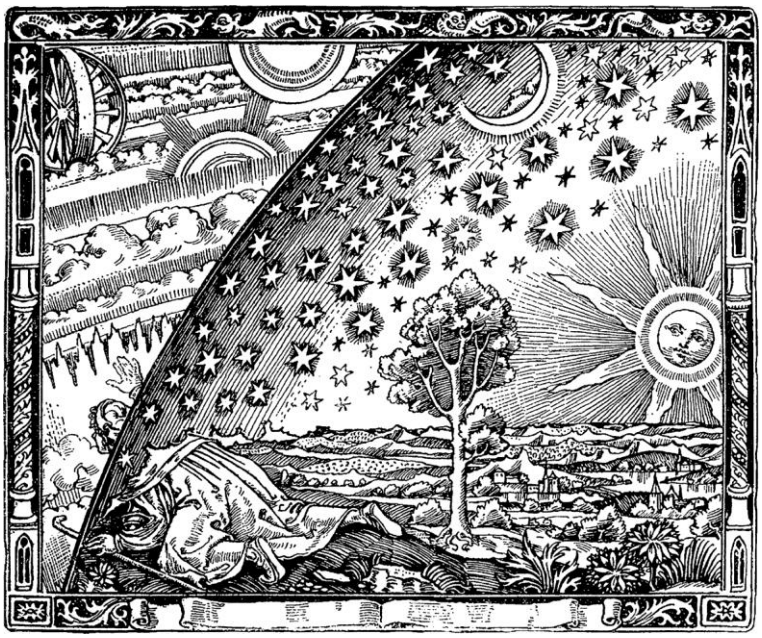
Рис. V.16.7. Модели, отражающие взаимоотношение наблюдателя или Субъекта (Observer): см. табл. IV.15.1; окружающего мира или Объекта (World) и времени (Time):

a – обложка работы О. Рёсслера (O. Rössler, 1987), предложившего эндофизику как «взгляд изнутри» на окружающий мир (The Rest – остальное, непознанное);

b – эндолитологический подход или «литология изнутри» при «безразмерном», в том числе геологическом времени (В. П. Алексеев, Э. О. Амон, 2017, с. 347);

c – представления И. Р. Пригожина (И. Р. Пригожин, И. Стенгерс, 2003, с. 112);

d – фация как интерфейс, в диапазоне времени от 0 (униформистский подход: см. рис. IV.16.2) до квазибесконечного (геологического)



Un missionnaire du moyen áge raconte qu´il avait trouvé le point où le ciel et la Terre se touchent

Рис. V.16.8. Гравюра Фламмариона с надписью: «Миссионер средневековья рассказывает, что нашел точку, где небо касается Земли» (http://ru. wikipedia.org)

с интерфейсом «материального» вида, хотя его толщина → 0 (Это тот рельеф, который и характеризует ландшафт, то есть одну из составляющих фации); 2) *опосредованный*, когда данный «занавес» отражает временно́й интерфейс, приведенный на рис. V.16.7, d.

* * *

Первый, или «вводный», блок завершающей, пятой, части пособия, посвящен геологии Западно-Сибирского осадочного мегабассейна – объекта, являющегося источником ½ российской нефти и почти 90 % газа (темы V.1–V.4). При всей простоте его геологического строения, отмеченного во введении, бóльшая детальность геолого-геофизических работ обнаруживает все бóльшую сложность в казалось бы несложных ситуациях. Это хорошо согласуется с известной геологической аксиомой, гласящей о том, что изученность месторождения может считаться полной только тогда, когда оно полностью выработано.

Главное содержание пятой части изложено в десяти темах (V.5 – V.14), в которых последовательно изложены сведения об основных нефтегазоносных комплексах и подкомплексах. Они, по мере возможности, нацелены на фациальные аспекты, рассмотренные в огромном количестве публикаций большим контингентом исследователей. Это, с одной стороны, определяет фрагментарность и выборочность изложенных сведений. С другой, сведение воедино на однородной (по возможности) площадке разнородных данных, по-видимому, выполнено впервые и в дальнейшем может детализироваться.

В представлении материалов использовались основные подходы к изучению фациального состава осадочных отложений, изложенные во второй части пособия – «Фациальный анализ». По мере возможности (наличия сведений) они базировались на принципах фациально-циклического анализа, разработанного Ю. А. Жемчужниковым, Л. Н. Ботвинкиной и др. на материале угленосных отложений среднего карбона Донецкого бассейна и впоследствии использованного при изучении многих угленосных толщ разного возраста. Для нефтегазоносных толщ этот метод использован впервые и представил хорошие результаты для отложений тюменской свиты как «связующего звена» в раннемезозойской (T_3 – J_2) эпохе торфо(угле)накопления. Использование фациально-циклического анализа для субаквальных (т. е. принципиально безугольных) толщ также принесло обнадеживающие результаты.

В завершающих главах пятой части (V.15, V.16) делается попытка вмонтирования фациальных исследований терригенных толщ в современные представления нелинейной науки, получившие образное название «синергетическое мировидение». Это может оказаться полезным тем студентам, аспирантам и молодым специалистам, которые хотят взглянуть на стандартные проблемы под нетривиальным углом зрения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

Атлас «Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа». Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2004. 148 с.

Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 690 с.

Западная Сибирь // Геология и полезные ископаемые России. Т. 2. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 477 с.

Рудкевич М. Я., Озеранская Л. С., Чистякова Н. Ф. Нефтегазоносные комплексы Западно-Сибирского бассейна. М.: Недра, 1988. 303 с.

Дополнительная

Губина А. И. Основы фациальной цикличности осадочных толщ по результатам геолого-геофизических исследований скважин. Пермь: Пресстайм, 2007. 271 с.

Ежова А. В. Литология нефтегазоносных толщ. Томск: Изд-во ТПУ, 2013. 122 с.

Ежова А. В., Тен Т. Г. Литолого-фациальный анализ нефтегазоносных толщ: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2015. 112 с.

Недоливко Н. М. Исследование керна нефтегазовых скважин: практикум для выполнения учебно-научных работ студентами направления «Прикладная геология». Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 158 с.

Пахомов В. И., Косков В. Н. Литология природных резервуаров с использованием фациально-циклического метода и промыслово-геофизических данных: учеб. пособие. Пермь: Изд-во ПГТУ, 2011. 168 с.

Шашин С. Г., Примина С. П. Нефтегазовая литология: конспекты лекций. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. 99 с.

К теме V.1 «Общие сведения: стратиграфия»

Карогодин Ю. Н. Системная модель стратиграфии нефтегазоносных бассейнов Евразии. Т. 1.: Мел Западной Сибири. Новосибирск: Гео, 2006. 166 с.

Решения 5-го Межведомственного стратиграфического совещания по мезозойским отложениям Западно-Сибирской равнины (г. Тюмень, 14-18 мая 1990 г.). Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1991. 54 с.

Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. 114 с.

К теме V.2 «Тектоника»

Гринёв О. М. Рифтовые системы Сибири: методология изучения, морфотектоника, минерагения. Томск: STT, 2007. 434 с.

Конторович В. А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН. Филиал «Гео», 2002. 253 с.

Сурков В. С., Жеро О. Г. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. М.: Недра, 1981. 143 с.

К теме V.3 «Нефтегазоносность»

Атлас месторождений нефти и газа Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / НАЦ РН им. В. И. Шпильмана. Тюмень – Ханты-Мансийск, 2013. Т. 1. 236 с. Т. 2. 308 с.

Глебов А. Ф. Геолого-математическое моделирование нефтяного резервуара: от сейсмики до флюидодинамики. М.: Научный мир, 2006. 344 с.

Шемин Г. Г. Региональные резервуары нефти и газа юрских отложений севера Западно-Сибирской провинции. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 362 с.

К теме V.4 «История геологического развития»

Атлас и объяснительная записка к Атласу литолого-палеогеографических карт юрского и мелового периодов Западно-Сибирской равнины в масштабе 1 : 5 000 000. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1976. 85 с.

Гайворонский И. Н., Леоненко Г. Н., Замахаев В. С. Коллекторы нефти и газа Западной Сибири. М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. 364 с.

Стратиграфия и палеогеография мезозойско-кайнозойского чехла Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. 257 с.

К теме V.5 «Доюрские комплексы и нижняя зона контакта»

Исаев Г. Д. Основы биоседиментологии и региональный фациальный анализ. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2006. 133 с.

Савко А. Д., Бугельский Ю. Ю., Новиков В. М. и др. Коры выветривания и связанные с ними полезные ископаемые. Воронеж: Истоки, 2007. 355 с.

Триас Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СНИИГГиМС, 2001. 225 с.

К теме V.6 «Юрская система в целом и нижнеюрские отложения»

Атлас литолого-палеогеографических карт юрского периода севера Западной Сибири и акватории Карского моря в масштабе 1 : 2 000 000 и Объяснительная записка к Атласу / отв. ред. М. И. Эпов, В. А. Конторович. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. 88 с.

Геологическое строение и нефтегазоносность нижней – средней юры Западно-Сибирской провинции. Новосибирск: Наука, 2005. 156 с.

Курчиков А. Р., Бородкин В. Н. Характеристика геологического строения и нефтегазоносности юрского нефтегазоносного комплекса Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. 140 с.

К теме V.7 «Тюменская свита (средняя юра без келловея)

Волков В. Н. Геология и охрана ресурсов ископаемых углей (месторождения мощных угольных пластов). Л.: Недра, 1985. 216 с.

Егоров А. И. Глобальная эволюция торфоугленакопления. Ростов-на-Дону. Т. 1. 1992. 332 с.; Т. 2. 1997. 414 с.

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

К теме V.8 «Васюганский горизонт (келловей – оксфорд)»

Геологическое моделирование горизонта $Ю_1$ Томской области / под ред. К. Е. Закревского. Томск: Изд. Дом ТГУ, 2016. 154 с.

Даненберг Е. Е., Белозеров В. Б., Брылина Н. И. Геологическое строение и нефтегазоносность верхнеюрско-нижнемеловых отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты (Томская область). Томск: Изд-во ТПИ, 2006. 291 с.

Кропачев Н. М., Скачек К. Г. Реконструкции литолого-фациальных моделей горизонта $Ю_1$ васюганской свиты по данным сейсморазведки и бурения. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 187 с.

К теме V.9 «Баженовско-абалакский комплекс (БАК)»

Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). Новосибирск: Наука, 1986. 216 с.

Брехунцов А. М., Нестеров И. И. Нефть битуминозных глинистых, кремнисто-глинистых и карбонатно-кремнисто-глинистых пород (презентация доклада). Тюмень, 2010. 39 с.

Гришкевич В. Ф. Макроструктура берриас-аптских отложений Западной Сибири и ее использование при построении информационных технологий в геологии нефти и газа. Тюмень: ИздатНаукаСервис, 2005. 116 с.

К теме V.10 «Ачимовская толща»

Геология и нефтегазоносность ачимовской толщи Западной Сибири / А. А. Нежданов и др. ЗАО «Изд-во АГН», 2000. 246 с.

Сынгаевский П. Е., Хафизов С. Ф., Шиманский В. В. Глубоководные конусы выноса и турбидиты. Модели, циклостратиграфия и применение расширенного комплекса ГИС. М.; Ижевск: ИКИ, 2015. 480 с.

Условия формирования и атлас текстур пород ачимовского клиноформного комплекса севера Западной Сибири / А. Р. Курчиков, В. Н. Бородкин, А. В. Храмцова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 130 с.

К теме V.11 «Неокомский комплекс (осложненный подкомплекс)»

Гурари Ф. Г. Строение и условия образования клиноформ Западно-Сибирской плиты (история становления представлений). Новосибирск: СНИИГГиМС, 2003. 141 с.

Курчиков А. Р., Бородкин В. Н. Характеристика геологического строения и нефтегазоносности неокомского нефтегазоносного комплекса Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. 201 с.

Приобская нефтеносная зона Западной Сибири: Системно-литмологический аспект / Ю. Н. Карогодин, С. В. Ершов, В. С. Сафонов и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996. 252 с.

К теме V.12 «Неокомский комплекс (неосложненный подкомплекс)»

Барков С. Л. Методы геолого-промыслового моделирования залежей нефти с трудноизвлекаемыми запасами на основе литолого-фациального анализа (на при-

мере месторождений Среднего Приобья): дис. … д-ра геол.-минерал. наук. Тюмень: ТюмГНГУ, 2000. 351 с.

Геологическая доразведка нефтяных месторождений Нижневартовского Приобья / В. Н. Нестеров, В. В. Харахинов, А. А. Семячков, С. И. Шленкин, А. Ф. Глебов. М.: Научный мир, 2006. 192 с.

Геологическое моделирование прибрежно-морских отложений (на примере пласта $АВ_1$ ($АВ_1^{1+2}$ + $АВ_1^{3}$) Самотлорского месторождения) / под ред. К. Е. Закревского. Томск: Вектор Бук, 2017. 314 с.

К теме V.13 «Аптский комплекс»

Медведев А. Л. Комплекс заполнения врезанных долин – новый нефтепродуктивный объект в меловых отложениях Красноленинского свода Западной Сибири: дис. … канд. геол.-минерал. наук. М., 2010. 170 с.

Мухаметшин Р. З. Палеоврезы и их роль в освоении трудноизвлекаемых запасов нефти. М.: ООО «Геоинформмарк», 2006. 80 с.

Состав, строение и условия формирования коллекторов группы ВК восточной части Красноленинского нефтяного месторождения (Западная Сибирь). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 325 с.

К теме V.14 «Альб-сеноманский комплекс»

Скоробогатов В. А., Строганов Л. В., Копеев В. Д. Геологическое строение и газонефтеносность Ямала. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. 352 с.

Скоробогатов В. А., Строганов Л. В. Гыдан: геологическое строение, ресурсы углеводородов, будущее... М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. 261 с.

Чухланцева Е. Р. Комплексирование методов литофациального и геолого-геофизического моделирования в целях геометризации верхнесеноманских залежей Мессояхской зоны нефтегазонакопления: дис. … канд. геол.-минерал. наук. Томск: ТПУ, 2016. 197 с.

К теме V.15 «Отложения Западной Сибири»

Иванюк Г. Ю., Горяинов П. М. и др. Самоорганизация рудных комплексов. Синергетические принципы прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых. М.: ГЕОКАРТ-ГЕОС, 2009. 392 с.

Лима-де-Фариа. Эволюция без отбора: Автоэволюция формы и функции: пер. с англ. М.: Мир, 1991. 455 с.

Путь в синергетику. Экскурс в десяти лекциях. М.: КомКнига, 2005. 304 с.

К теме V.16 «В поисках общего для терригенных коллекторов»

Пенроуз Р. Тени разума: в поисках науки о сознании: пер. с англ. М.; Ижевск: ИКИ, 2005. 688 с.

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

Тейяр де Шарден П. Феномен человека: пер. с англ. М.: Прогресс, 1965. 296 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги обширных сведений, представленных в пособии, приведены в той же «лоскутной» (пэчворк) форме, которая присуща ему в целом (см. Вв. 1). Основой заключений служит соотношение тех трех основных участников процесса познания, которые были рассмотрены при определении смены глобальных парадигм (см. п. IV.15.1): Объект (О), Средства (Ср) и Субъект (С). В графическом виде это отображено на рис. Зак.1, *А*. Достоверность представлений верифицируется герменевтическим треугольником Э. Бетти (рис. Зак.1, *В*) (греч. hermeneutikos – разъясняющий, истолковывающий) – изначально учение об истолковании какого-либо текста; в настоящее время – область знания, рассматривающая объяснения и понимание всех аспектов, связанных как с ролью и местом человека в мире, так и с окружающими его объектами.

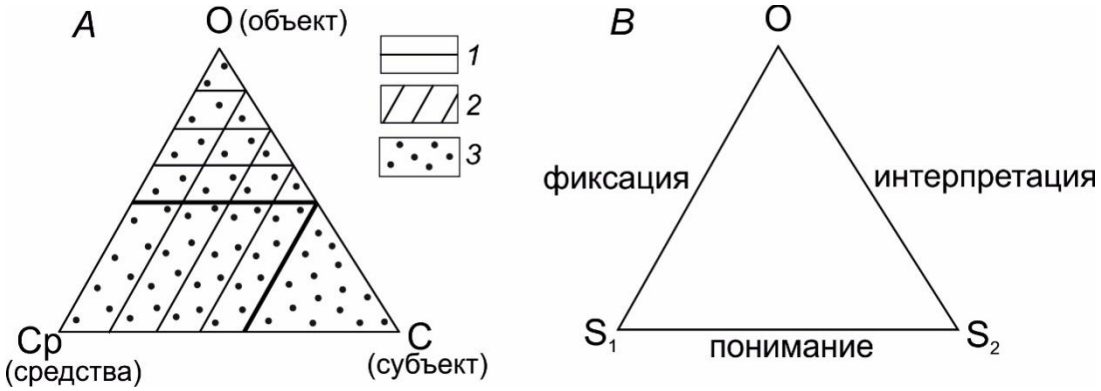


Рис. Зак.1. Эволюция представлений в ходе смены парадигм: *А* – принципиальное отображение представлений, приведенных в табл. IV.15.1: 1: С↔Ср↔(О); 2: С↔[Ср↔О]; 3: {С↔Ср↔О}; *В* – герменевтический треугольник (Э. Бетти, 2011), в котором положение субъекта – интерпретатора (S_2) «на равных» рассматривает изучаемые объекты (О) и их герменевтическую сущность (S_1). В нашем случае под S_1 понимаются средства изучения объектов (Ср)

Зак. 1. Объект исследования

Объектом изучения в предложенном пособии явились осадочные породы и содержащиеся в них углеводородные залежи. Самое общее представление о них дано во введении (см. Вв. 2, 3), а достаточно подробные сведения – в соответствующих частях (полностью ч. I; темы III.2–III.5 и IV.10–IV.12). На рис. Зак.2 приводится предельно сжатое, сублимированное представление об этих сведениях в виде эволюционного процесса. Его описание выглядит следующим образом.

«Многое из изложенного можно суммировать, представив систему кора-океан в виде огромного завода. Циклический характер этой системы очевиден. "Завод" можно разделить на два основных цеха и соединяющий их конвейер. В первом из них производятся первичные изверженные породы за счет остывания магмы, вырабатываемой в ходе длительной дифференциации Земли. Источником энергии для образования магмы является радиоактивный распад элементов U, Th и K во внутренних частях Земли. Побочными продуктами являются кислые газы и вода, которые в конечном счете находят путь к земной поверхности, реагируют с изверженными породами и образуют продукты выветривания.

Во втором цехе осадки перерабатываются путем их захоронения; источником энергии снова является распад радиоактивных элементов. По конвейеру первичные изверженный породы, а также осадочные, метаморфические и вторичные магматические породы поднимаются на земную поверхность и подвергаются выветриванию. Твердый обломочный материал и растворенные вещества, образовавшиеся при химическом выветривании, смываются реками в океаны, где, как в огромном отстойнике и испарителе, они отлагаются и накапливаются, образуя мощные клинья и призмы осадочных пород. Часть материала проходит повторный цикл и вновь возвращается через атмосферу, выпадая обратно на континенты. Осадочные породы медленно погружаются под действием собственного веса и увлекаются на еще большие глубины конвекционными течениями и там сминаются и дробятся. На глубине некоторые осадки изменяются незначительно, другие подвергаются литификации с небольшим изменением в химическом составе, некоторые перекристаллизовываются в метаморфические породы. Газы, в том числе и H_2O, образованные в ходе метаморфизма, улетучиваются на земную поверхность, становясь агентами химического выветривания. Деформированные массы осадочных, изверженных и метаморфических пород медленно поднимаются, образуя горные хребты и сбрасывая обломочный материал снова в океаны. *Завод кора – океан пущен в ход 4 млрд лет назад, и конца его деятельности не видно*» (Р. Гаррелс, Ф. Маккензи, 1974, с. 268; курсив наш. – *В. А.*).

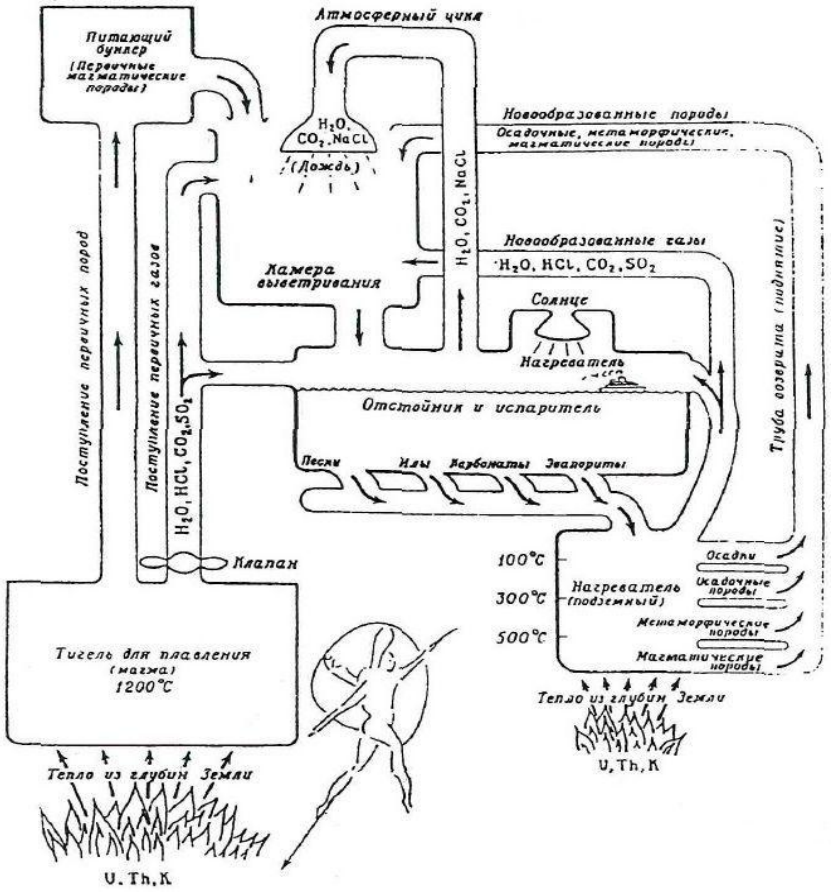


Рис. Зак.2. Схематическое изображение «завода» кора – океан (Р. Гаррелс, Ф. Маккензи, 1974, с. 269)

Приведенный чертеж и его развернутая характеристика соответствуют сведениям, изложенным в части I, значительной части III, и отчасти IV частях пособия. В отношении II и V частей, посвященных фациальному анализу преимущественно терригенных отложений в целом и Западной Сибири – в частности. Общие представления о фациях как объекте изучения в сжатом виде показаны на рис. Зак. 3.

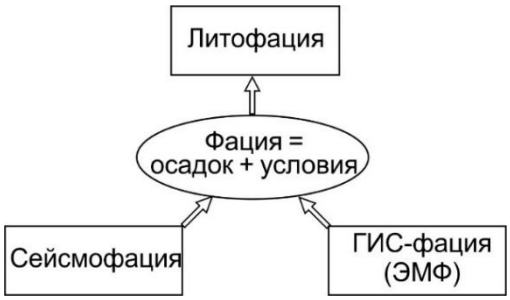


Рис. Зак. 3. Соотношение различных подходов к выделению фаций (см. «фациальный треугольник» на рис. II.2.3)

Зак. 2. Средства исследования

В представленной работе под средствами исследования прежде всего понимаются **методы** изучения объектов. Естественно, что они зависят от масштабности/иерархичности таковых, что применительно к изложенным материалам показано в табл. Зак. 1.

Таблица Зак.1

Уровни организации (см. табл. I.1.1)			Метод изучения (анализ): см. табл. III.1.4	Основные части и главы, в которых рассмотрен данный уровень
Группа	Ранг	Объекты		
Формационная	6	Формационные комплексы	Бассейновый анализ	IV.1-IV.3; IV.8-IV.9; V.1-V.4
	5	Геоформации	Формационный (ФА)	III.9-III.14
	4	Наборы (комплексы) пород: циклы	Фациально-циклический (ФЦА)	III.6- III.8; IV.4-IV.7
Минеральная	3	Фации	Литолого-фациальный (ЛФА)	Ч. II; V.5-V.14
		Породы		Ч. I; III.2-III.5; IV.10-IV.12
	2	Минералы		

Помимо этого, четвертая и пятая части пособия завершены современными представлениями в рамках «нелинейной» науки (IV.13–IV.16 и V.15–V.16). В принципе это может быть иллюстрировано подходом, образно названным «Ёж и лисица», который применил И. Берлин при исследовании исторических взглядов Л. Н. Толстого (I. Berlin, 1953). Он основывается на строке древнегреческого поэта Архилоха (VII в. до н. э.): «Лис знает много секретов, а ёж – один, но самый главный» (рис. Зак. 4).

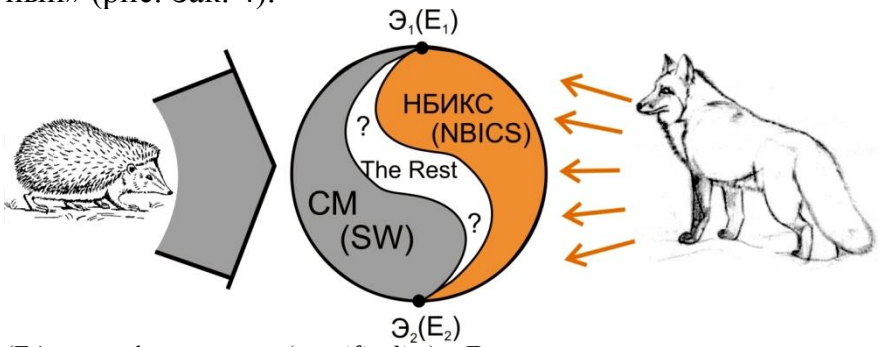


Рис. Зак. 4. Модель «Ёж и лисица» в эндолитологическом ракурсе: СМ (SW) – синергетическое мировидение (synergetic world view); НБИКС (NBICS) – конвергенция; ? The Rest – непознанное. $Э_1$ (E_1) – эмерджентность (emergence); $Э_2$ (E_2) – эквифинальность (aequifinality). Лиса нападает, используя самые разные виды уловок и ухищрений. Это вполне в духе НБИКС (NBICS) – конвергенции и использовано нами при определении фации. Ёж защищается, используя всеохватывающее синергетическое мировидение. Обоими участниками эти взаимодополняющие подходы используются для сокращения области неизученного.

Эндолитология – это литология (наука об осадочных породах) «изнутри», глазами наблюдателя, присутствующего в наблюдаемом. Она соответствует синергетическому мировидению, базирующемуся на приоритете самоорганизации протекающих процессов, и предусматривает взгляд на окружающий мир в его эволюции через интерфейс между состоявшимся прошлым и предсказуемым будущим, в единстве живой и неживой природы.

Вполне резонно предположить, что приведенный пример, равно как и заключительные разделы IV части, ряду пользователей пособия (если таковые, конечно, окажутся) могут представиться излишними, из разряда «*заумствований*». Заранее принимая такие соображения, останемся на позиции их актуальности и своевременности, а правильнее – даже запоздалости. Это определяется существенным отставанием наук о Земле в целом от мировых тенденций в совершенствовании знаний (см. рис. IV.16.1) и такой же «заторможенностью» литологических исследований. Данная ситуация имеет некоторую тенденцию к выправлению (особенно в нефтегазовой литологии). Существенным импульсом в этом процессе может явиться использование наработок в других отраслях знания, в русле NBICS-конвергенции и полноправного учета нелинейных (а в потенции – внелинейных) процессов. Это проиллюстрировано на рис. Зак.5.

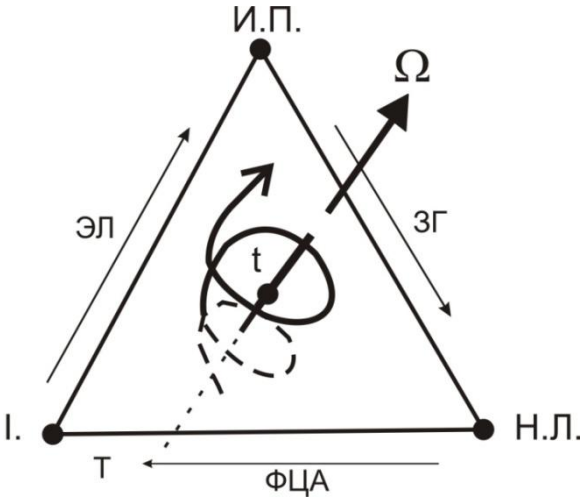


Рис. Зак. 5. Структурализация изложенного материала, относящегося к терригенным осадочным толщам:

И. П. – исходные позиции «обычной» литологии, нередко не имеющие правильного и/или однозначного решения (от десятичной шкалы размерности частиц до многозначности понятия «фация»);

Н. Л. – нелинейно-литологические представления в рамках синергетического мировидения;

I. – представления о «вневременно́м» интерфейсе между субъектом и объектом, свойственное постнеклассической парадигме;

З. Г. – «золотые гвозди», которые постоянно следует иметь в виду при любых исследованиях и построениях;

ФЦА – фациально-циклический анализ как метод, позволяющий достоверно, с постоянной заверкой, реконструировать условия формирования терригенных отложений;

ЭЛ – эндолитологический взгляд на условия осадконакопления;

Т – геологическое время, *t* – его пересечение с изучаемым объектом, с созданием витка спирали познания (И. П.→ Н. Л. → I.) и его выходом на новый виток, в стремлении к Точке Омега (Ω)

Точка Омега – термин, введённый французским философом, теологом и палеонтологом Пьером Тейяром де Шарденом для обозначения состояния наиболее организованной сложности и одновременно наивысшего сознания, к которому эволюционирует Вселенная. Понятие рассматривается в трактате Тейяра де Шардена «Феномен человека» (1938-1940; опубл. 1955; рус. перев. 1965).

Любая энергия, согласно Тейяру де Шардену, является духовной по своей природе. В каждом элементе фундаментальная энергия разделена на два компонента: *тангенциальная* энергия связывает друг с другом элементы одного порядка (одинаковой сложности и внутренней сосредоточенности); *радиальная* энергия направляет элемент ко всё более сложному и внутренне сосредоточенному состоянию.

В ходе эволюции происходит неуклонное развитие психики (сознания) и параллельное усложнение материальных форм. Итогом этого развития становится появление и развёртывание ноосферы, а затем – рождение из синергии всей совокупности человеческих сознаний некоего высшего сознания – *Омеги*. Индивидуальность отдельных человеческих сознаний не будет растворена в этом едином сознании человечества – она сохранится и даже обогатится благодаря причастности ему.

Материал из Википедии – свободной энциклопедии.

Зак. 3. Субъект (исследователь)

В завершающем разделе *учебного* пособия приведем ставшие традиционными тернарные (троичные) выводы, в основном имеющие нетривиальный характер и адресованные *ищущему* пользователю.

1. *«Гвоздевой» подход линейно-плоскостного характера (0Д-2D)*

В отличие от обычно стандартного, преимущественно равномерного подхода к изучаемой дисциплине, рекомендуется сосредоточить внимание на основных, базовых или, рассуждая образно, «гвоздящих» параметрах. Это полностью вписывается в «лоскутное» (patchwork) изложение материала в предложенном пособии, а перечень «гвоздей» приведен в табл. IV.5.3. В ней представлен только один из возможных вариантов, который можно сколько угодно видоизменять, дополнять и т. д. Понимание (а не механическое запоминание) перечисленных понятий дает возможность обучающемуся достаточно хорошо ориентироваться в вопросах литологии/седиментологии терригенных толщ.

В качестве своеобразной верификации данного соображения сошлемся на известное высказывание Екклесиаста:

Слова мудрых – как иглы и как вбитые гвозди,
и составители их – от единого пастыря. (Екк. 12-11)

В образном и шутливом виде такой подход изображен на заставке к «Заключению», где большой «золотой гвоздь» находится в ареале маленьких гвоздиков, символизирующих наблюдаемые факты.

2. *Нелинейно-внелинейный подход (3D-4D)*

Базовые основы такого подхода, нацеленного на понимание сущности изучаемых процессов, заключаются в познании **самоорганизации** как ведущей причины нелинейности протекающих процессов. В модельном виде это показано на рис. Зак.6, по своей сути отображающем не замкнутый процесс, а виток спирали познания. Как видно из него, самоорганизация является движущей силой, своего рода «мотором» цепочки «положительной обратной связи», через которую результаты эмерджентности актуализируются в структурные формы, участвуя в циклическом процессе порождения новых форм реальности.

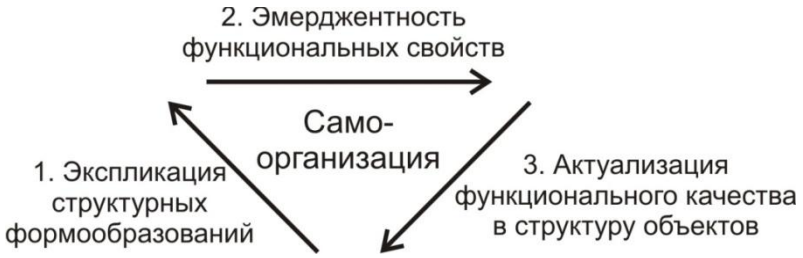


Рис. Зак. 6. Самоорганизация как основа циклического процесса эмерджентной экспликации (В. В. Суворов, 2001; с небольшими изменениями)

Экспликация (лат. explicatio – объяснение, развертывание) – здесь: процесс, в результате которого открывается содержание некоторого единства, а его части начинают самостоятельное существование и могут отличаться одна от другой (филос.) //wiki.ru

Особенное значение такой подход имеет для геологических исследований, которые, во-первых, невоспроизводимы, а во-вторых, характеризуются квазибесконечным геологическим временем. Именно в таком ракурсе особую ценность представляют фациальные исследования. Их оценка в ходе смены парадигм может быть представлена следующим образом.

• В рамках классической парадигмы С ↔ Ср ↔ (О) или Субъект ↔ Средства ↔ (Объект) однозначное установление фации принципиально невозможно, в силу неоднозначной (как минимум дуалистической) трактовки самого термина.

• Установление фации в «классическом» (по Ю. А. Жемчужникову, Л. Н. Ботвинкиной и др.) понимании полностью укладывается в неклассическую (нелинейную парадигму С ↔ [Ср ↔ О] или Субъект ↔ [Средства ↔ Объект], когда ответ зависит и от свойств изучаемого объекта (фация, не сводимая к одному параметру), и от способа вопрошания (литолого-фациальный анализ).

Постнеклассическая парадигма {С ↔ Ср ↔ О} или {Субъект ↔ Средства ↔ Объект} представляет новые возможности для совершенствования фациальных исследований в рамках прямого ДИАЛОГА ЧЕЛОВЕКА С ПРИРОДОЙ (И. Р. Пригожин, 1984).

3. *Пути освоения материала (к верификации предложенных подходов)*

Интересующемуся и пытливому пользователю учебного пособия можно предложить не только традиционный путь последовательного усвоения огромного массива накопленных знаний, но и использование метода, получившего название «**русла и джокеры**». Его принцип проиллюстрирован на рис. Зак.7.

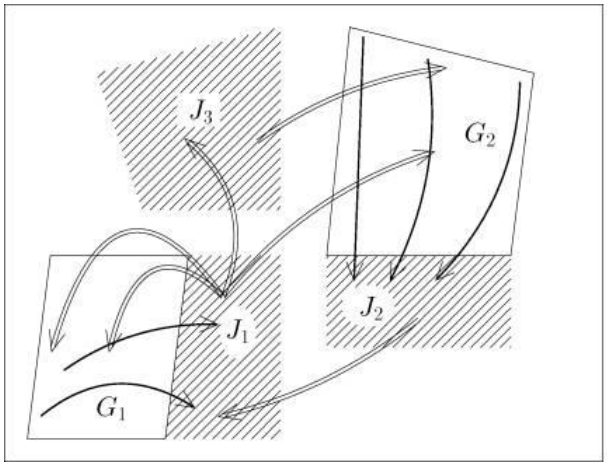


Рис. Зак. 7. Схема представления сложной динамики как комбинации русел и джокеров (Управление …, 2000):

Приведены 2 русла (G_1 и G_2) и 3 джокера (J_1, J_2, J_3). Черные стрелки показывают детерминированное описание динамики (траектории модели для проекции), «пустые» стрелки показывают действие джокеров: когда траектория попадает в область джокера (заштрихованную), она может с некоторой вероятностью направиться в некоторую точку русла или к другому джокеру

«Обычное», последовательное усвоение материала соответствует «руслам» на рис. Зак.7. «Джокеры» отражают **понимание** происходящих процессов, всегда происходящее **скачком** (например, рис. V.16.5). Как реализовать такое понимание – дело обучаемого. Автору пособия, исходя из своего опыта, остается констатировать, что его может добиться практически каждый, но сколько необходимо времени и неизбежного **труда** – вопрос абсолютно индивидуальный.

ПРЕДМЕТНЫЙ СЛОВАРЬ•

АВАНДЕ́ЛЬТА – передовая подводная часть дельты. Располагается за ее непосредственным фронтом и сложена исключительно тонкозернистыми осадками. Син. *продельта* (см.); за рубежом – протодельта (protodelta).

АВТОМОДЕ́ЛЬНОСТЬ (физ.) – особая симметрия физической системы, состоящая в том, что изменение масштаба независимых переменных может быть скомпенсировано преобразованием подобия других динамических переменных. А. приводит к эффективному сокращению числа независимых переменных.

АВТОХТО́ННЫЙ – местный, коренной по происхождению. В тектонике противопоставляется *аллохтонному* (см.).

АГГРАДА́ЦИЯ – 1. Намыв, наращивание при приблизительно равных скоростях поступления осадка и его осаждения. 2. Вертикальная составляющая последовательного налегания в сторону суши (см. также *проградация* и *ретроградация*).

АККОМОДА́ЦИЯ – вертикальное пространство, предоставленное для осадконакопления при заданном положении уровня моря.

АКТУАЛИ́ЗМ – один из методологических подходов в естественных науках. В геологии опирается на положение о том, что процессы, происходившие в прошлые эпохи, имеют много общего с современными. Крайнее проявление выражается в признании полного тождества прошлого и современного – *униформизм* (см.).

АЛЛОХТО́ННЫЙ – принесенный к месту захоронения инородный осадок. Противопоставляется *автохтонному* (см.)

АНА́ЛИЗ – метод исследования, характеризующийся выделением и изучением отдельных частей изучаемых объектов (у термина есть и другие значения).

• **А. бассе́йновый** – комплексный междисциплинарный анализ геологического строения и истории формирования в осадочных бассейнах (см. *Бассейн осадконакопления*).

• **А. лито́лого-фациа́льный** – специализированный метод изучения осадочных (преимущественно терригенных) отложений, основанный на выделении фаций (см. *Фация*) как пород, сформировавшихся в определенных условиях.

• **А. стадиа́льный** – комплексный подход к реконструкции этапов последовательных преобразований исходного вещества осадка по мере его превращения в породу. В СССР – России чаще всего принято выделять следующие этапы или *стадии*: *седиментогенез* (см.) – *диагенез* (см.) – *катагенез* – *метагенез*, с переходом в *метаморфизм* (см.). В целом они могут быть объединены в *литогенез* (см.), который без рассмотрения собственно осадконакопления примерно соответствует *эпигенезу* (см.).

• При составлении словаря широко использованы интернет-ресурсы, преимущественно википедия.

• **А. текстýрный** – в предложенном пособии целенаправленный метод изучения седиментационных текстур осадочных пород; в первую очередь – их слоистости (см. *Слоистость*; *Ритмит*).

• **А. фациáльно-циклúческий** – метод изучения осадочных толщ, в основе которого лежит представление о циклической повторяемости фаций (см. *Литоцикл*). Следующий этап литолого-фациального анализа.

• **А. фациáльный** – исследования, направленные на реконструкцию обстановок осадконакопления. В настоящее время понятие свободного пользования.

• **А. формациóнный** – обобщающий метод изучения истории тектонических движений, эволюции структур земной коры и климатических условий на основе изучения геологических формаций (см. *Формация*).

АРКÓЗ (аркозовый песчаник) – песчаник, состоящий главным образом из зерен кварца и полевых шпатов и образовавшийся преимущественно за счет разрушения гранитов и гнейсов.

АТТРÁКТОР – компактное подмножество фазового пространства динамической системы, все траектории из некоторой окрестности которого стремятся к нему при времени, стремящемся к бесконечности.

БАЗÁЛЬНЫЙ ГОРИЗÓНТ – см. *Горизонт базальный*.

БАССÉЙН ОСÁДОЧНЫЙ – область консолидированной земной коры, перекрытая мощной толщей недеформированных или слабодеформированных осадков.

БИМОДÁЛЬНОСТЬ – двувершинность в распределении каких-либо параметров (например, частиц, слагающих породу), выражающаяся в наличии резко повышенной частоты нахождения двух (не соседних – !) популяций.

БИОКЛÁСТ – скелетный фрагмент любых организмов, привнесенный в породу механическим путем; реже – продукт цементации известкового ила.

БИОТУРБÁЦИЯ – перемешивание и перекапывание осадков передвигающимися животными (червями и др.) при их зарывании в мягкий осадок (см. *Дно*).

БИФУРКÁЦИЯ – деление объектов на две части, при изменении параметров, от которых они зависят. Точка бифуркации – критическое состояние *системы* (см.), при которой она становится неустойчивой относительно даже незначительных изменений и может резко перейти на новый *уровень организации геологических тел* (см.).

БЛОК-ДИАГРÁММА – трехмерный рисунок, совмещающий перспективное изображение объекта (в геологии – участка земной поверхности или палеоповерхности) с продольными и поперечными вертикальными разрезами.

БЛОК ТЕКТОНИ́ЧЕСКИЙ – некоторый объем земной коры, ограниченный разломами и способный перемещаться как в латеральном, так и в вертикальном направлениях. При тектонических движениях ведет себя как единое целое, характеризуясь внутренней общностью структуры (блоковая тектоника).

БРИ́ТВА ÓККАМА – методический принцип, в упрощенном виде гласящий: «Не следует множить сущее без необходимости», что подразумевает как бы «отрезание бритвой» излишние предположения.

БУ́БНОВ – единица *скорости осадконакопления* (см.); правильно – темпа прироста толщин осадочных слоев (см. *Темп осадочного породообразования*). Названа в честь С. фон Бубнова – немецкого геолога с российскими корнями происхождения. Основные значения: 1 бубнов (1Б) = 1 мм/тыс. лет = 1 м/млн. лет.

БУГÓРЧАТАЯ СЛОИ́СТОСТЬ – см. *Слоистость бугорчатая*.

ВАЛИДА́ЦИЯ – процедура, дающая высокую степень уверенности в том, что конкретные процесс, метод или система будут последовательно приводить к результатам, отвечающим заранее установленным критериям приемлемости – то есть окажутся жизнеспособными. Является следующим этапом *верификации* (см.).

ВА́РВЫ (ленточные глины) – годовые пары слойков в ледниковых озерах: «летний» светлый алевритовый и «зимний» темный глинистый.

ВА́ТТЫ – низменная вдольбереговая полоса морского дна, затапливаемая во время приливов и осушающаяся во время отливов.

ВЕРИФИКА́ЦИЯ – процесс оценки метода или системы, заключающийся в определении степени удовлетворяемости заданным параметрам. В геологии обычно реализуется путем использования представлений на новом объекте или с привлечением новых данных: проверка на непротиворечивость. Является обязательным этапом *моделирования* (см.) и может быть продолжена *валидацией* (см.).

ВИТРИНИ́Т – гелифицированный, преимущественно однородный, «стекловидный» микрокомпонент ископаемых углей.

ВРЕ́ЗАННЫЕ РЕЧНЫ́Е ДОЛИ́НЫ (V-образные долины) – общеизвестное представление о форме аллювиальных (русловых) водотоков. В последние десятилетия, благодаря широкому внедрению сейсмостратиграфических реконструкций (см. *Сейсмостратиграфия*), представления о *врезанных долинах* получили широкое распространение при объяснении специфических форм отложения (см. *Сейсмофация*) и связываются с *эстуариями* (см.).

ВРЕ́МЯ ГЕОЛОГИ́ЧЕСКОЕ – категория, не имеющая точного определения, но подразумевающая нечто квазибесконечное (по образному высказыванию, в геологии «плюс-минус один миллион лет ничего не значит»). Принято выделять абсолютное и относительное летоисчисления, сводимые в единой геохронологической шкале.

ГАЗОГИДРА́Т (газовый гидрат) – кристаллическое соединение воды и газа (преимущественно метана), образующееся при определенных термобарических условиях. См. *клатрат*.

ГЕ́НЕЗИС – происхождение тех или иных (геологических) образований.

ГЕНЕТИ́ЧЕСКАЯ СТРАТИГРА́ФИЯ – см. *Стратиграфия генетическая*.

ГЕНЕТИ́ЧЕСКИЙ ТИП – см. *Тип генетический*.

ГЕОЛОГИ́ЧЕСКОЕ ВРЕ́МЯ – см. *Время геологическое*.

ГЕОСИНКЛИНА́ЛЬ – область высокой подвижности, контрастных изменений геодинамических напряжений и большой толщины (10-25 тыс.м) сформировавшихся отложений. В настоящее время – устаревший термин (см. *Тектоника литосферных плит*).

ГЕОФИЗИ́ЧЕСКИЕ ИССЛЕ́ДОВАНИЯ СКВА́ЖИН (ГИС) – комплекс физических методов, используемых для изучения горных пород в околоскважинном и межскважинном пространствах, а также для контроля технического состояния скважины. Другие названия – скважинная геофизика, *каротаж* (см.). Аббревиатура ГИС чаще расшифровывается как *геоинформационные системы*.

ГЕРМЕНЕ́ВТИКА – букв.: искусство толкования древних текстов. В более широком понимании – направление философии, исследующее теорию и практику использования, интерпретации, понимания чего-то (обычно – текста). Отсюда *герменевтический треугольник* – взаимоотношение между текстом, его автором и читателем.

ГИА́ТУС – перерыв: интервал геологического времени (см. *Время геологическое*), не представленный в стратиграфической или литологической колонке. Имеет бóльшую длительность по сравнению с *диастемой* (см.).

ГИБРИ́ДНОСТЬ – комбинированность. Сочетание разнородных и несочетающихся друг с другом в классической традиции элементов. Проявление совместимости несовместимого (в обычном понимании). Во многом опирается на *междисциплинарность* (см.) и в особенности – на *трансдисциплинарность* (см.).

ГИПЕРГЕНЕ́З – совокупность физико-химических процессов, происходящих в приповерхностной части земной коры. Один из результатов Г. – *кора выветривания* (см.).

ГИПЕРТЕ́КСТ – совокупность документов, связанных между собой взаимными ссылками в единое информационное пространство. Присущ презентационной подаче материала (см. *Презентация*).

ГИС – аббревиатура, употребляемая в разных значениях и требующая расшифровки. Примеры: географическая информационная система, городская информационная система. В пособии – *геофизические исследования скважин* (см.).

ГИСТЕРЕ́ЗИС – отставание изменения физического свойства от внешнего воздействия. Выражается в сохранении остаточных явлений при снятии воздействия. Поведение системы на интервале времени во многом определяется ее предысторией (петля Г.).

ГИСТОГРА́ММА – график, на котором по оси абсцисс отложены структурированные наблюдения, а по оси ординат – их число. Трансляция Г. в график с накоплением частостей до 1,0 (или 100 %) представляет собой кумулятивную кривую (см. *Кривая кумулятивная*).

ГОРИЗО́НТ БАЗА́ЛЬНЫЙ – обычно единичный слой, залегающий в основании крупного осадочного комплекса. Почти всегда представлен грубообломочными терригенными породами, что позволяет легко выделять Г. Б. в разрезе. Фиксирует несогласие в залегании и перерыв в геологической летописи.

ГОРИЗО́НТ НУЛЕВО́Й – горизонтальная поверхность (для разреза – горизонтальная линия), к которой приводится наиболее выдержанный и/или хорошо распознаваемый геологический элемент: граница тел, *тоншетейн* (см.) и т. д. Будучи принятой за точку отсчета (условный ноль), от нее отстраиваются колонки скважин (в нефтегазовой литологии, как правило, сверху вниз).

ГРАДАЦИО́ННАЯ СЛОИ́СТОСТЬ – см. *Слоистость градационная*.

ГРАНУЛОМЕТРИ́ЧЕСКИЙ ТИП – см. *Тип гранулометрический*.

ГРАУВА́ККА – песок (песчаник), в составе которого содержится более 25 % обломков горных пород. Как правило, плохо сортирован и содержит значительное количество цемента различного состава.

ГРАФ СВЯ́ЗЕЙ – абстрактный математический объект, представляющий собой набор вершин (как правило, соответствующих исследуемым параметрам) и соединяющих их ребер, характеризующих связи между вершинами (наличие или отсутствие; степень тесноты – качественная или количественная и т. п.).

ДЕДУ́КЦИЯ – способ исследований, при котором новое положение устанавливается путем заключений, следующих от общих представлений к частным выводам (дедуктивный подход). Противоположный способ – *индукция* (см.).

ДЕНДРОГРА́ММА – структура типа «дерево», построенная в соответствии с мерой близости исходных объектов. Отражает их *иерархию* (см.) и выполняется посредством кластерного анализа (см. *Кластер*).

ДИАГЕНЕ́З – 1. Совокупность процессов преобразования рыхлых первичных осадков в сцементированную горную породу; *стадия* (см.), следующая за *седиментогенезом* (см.) и предшествующая *катагенезу* (см.); 2. Сумма всех стадий и процессов преобразования как осадков, так и осадочных пород. Первое (предпочтительное) толкование присуще отечественным исследованиям, второе – зарубежным.

ДИАГРА́ММА – чертеж, показывающий соотношение каких-либо величин, с применением различных приемов визуализации. Широко применяется в литологии, нередко с указанием авторства.

Д. Баррелла – показывает преобладающую роль небольших перерывов (*диастем*: см.) в осадконакоплении, внешне представляемом непрерывным.

Д. Вишера – отражает распределение фракционного состава частиц терригенных пород и позволяет оценить механизм их переноса.

Д. Пассеги – нацелена на реконструкцию гидродинамических условий седиментации, по соотношению медианного размера частиц и 1 % доли (*квантиля*: см.) частиц наиболее крупного размера, характеризующих наибольшую грузоподъемность влекущего потока.

Д. Хьюльстрёма, из которой следует начало размыва (отрыва частиц от дна) при одинаковой силе потока как для частиц размером более 1 мм, так и менее 0,01 мм (в силу более тесного сцепления последних).

ДИАСТЕ́МА – малозначимый (неглубокий, кратковременный) перерыв в осадконакоплении. Механизм формирования проиллюстрирован на *диаграмме Баррелла* (см.). Более крупный перерыв – *гиатус* (см.).

ДИАХРО́ННОСТЬ – разновременность образования литологически однородных слоев (особенно характерно для песчаников). Реализуется в соответствии с основным фациальным законом (см. *Закон основной фациальный)*.

ДИФФЕРЕНЦИА́ЦИЯ ОСА́ДОЧНАЯ – разделение и последовательное осаждение веществ, смытых с водосборных площадей, в ходе их транспортировки (переноса; мотогенеза). Основные виды: *механическая* или *физическая* и *химическая*, сложным образом взаимодействующие друг с другом.

ДНО (в палеоихнологии) – поверхность перерыва, включающая характер грунта, положение относительно уровня моря и гидродинамику среды. В наиболее простом представлении различают **твердое Д**. и **мягкое Д**. Имеет большое значение для установления *ихнофации* (см.).

ЖИВО́Е И НЕЖИВО́Е – одна из наиболее сложных категорий, в рассмотрение которой существенный вклад внес В. И. Вернадский (1863-1945). Им для биосферы (верхней оболочки Земли) выделены собственно живое, биогенное, косное (собственно неживое) и биокосное (почва) вещества, сложным образом взаимодействующие друг с другом. Преобладающее противопоставление (дуализм) *Ж. и Н.* в последнее время интенсивно стирается, в связи с формированием технологического уклада (см. *НБИКС-конвергенция*, *Нейронные сети*).

ЗАКО́Н ОСНОВНО́Й ФАЦИА́ЛЬНЫЙ – установлен Н. А. Головкинским в 1868 г. и сформулирован А. А. Иностранцевым в 1872 г.; за рубежом широко известен как закон Вальтера (1893-1894). В сжатом виде выглядит следующим образом: **в разрезе осадочных толщ друг над другом отлагаются те осадки, которые залегали рядом на поверхности седиментации**. Иллюстрирует миграционное осадконакопление (см. *Режим слоенакопления миграционный*).

ЗА́ЛЕЖЬ УГЛЕВОДОРО́ДОВ – естественное скопление нефти (газа) в *ловушке* (см.), образованной породой-*коллектором* (см.) под *покрышкой* (см.) из непроницаемых горных пород.

ЗЕРНОВО́Й ПОТО́К – гравитационное перемещение материала под действием силы тяжести и гидродинамики влекущего потока, когда распределение зерен поддерживается благодаря силам их сцепления друг с другом и вязкости окружающей среды.

ЗЕТ-СИСТЕ́МА (Z-система) – представления о последовательной смене геологических моделей – от статических к ретроспективным, квазистатическим и прогнозным. Сводная метасистема названа Z-системой по форме ее схематического графического изображения (Ю. А. Косыгин, 1974).

ЗОЛОТО́Й ГВОЗДЬ – в стратиграфии точка в нижней границе яруса, имеющая как символическое, так и конкретное научно-практическое значение. Сокращенно – ТГСГ (точка глобального стратотипа границы), от GSSP (global stratotype section point).

ЗУБЧА́ТОСТЬ – форма слоевых границ. Заключается в том, что при их прослеживании по латерали вдоль береговой линии контакт между выделяемыми типами пород имеют вид «чрезвычайно острых и вытянутых зубцов» (Н. А. Головкинский, 1868, с. 126).

ИЕРА́РХИЯ – порядок подчинения низших звеньев (*рангов*: см. таксонов и пр.) высшим; их организация в *дендрограмму* (см.). Один из способов установления И. – выделение *кластеров* (см.).

ИЗОСТАЗИ́Я – состояние равновесия. В геологии обычно применяется в оценке общего состояния литосферы – взаимоотношений крупных блоков, но может распространяться и на более мелкие объекты.

ИНВАРИА́НТ – свойство, остающееся неизменным при преобразованиях. Как правило, отражает наиболее общие и глубинные характеристики (параметры) исследуемых объектов.

ИНВЕ́РСИЯ – переворачивание, замена на противоположное. Например, в тектонике – смена опускания территории на поднятие (и наоборот). В седиментологии – смена ретроградационной последовательной последовательности смены слоев на проградационную (см. *Проградация*; *Ретроградация*).

ИНГРЕ́ССИЯ – проникновение морских вод в пониженные участки рельефа прибрежной суши. Как правило, происходит при эвстатических (см. *Эвстатические колебания*) повышениях уровня моря. Отличается от *трансгрессии* (см.) изначальной подготовленностью поверхности, обеспечивающей быстрое (по геологическим меркам мгновенное) заполнение отрицательных форм рельефа.

ИНДУ́КЦИЯ – способ рассуждения от частных фактов, положений и наблюдений к общим выводам. Противоположен *дедукции* (см.).

ИНТЕРФЕ́ЙС – общая граница (перегородка) между двумя функциональными объектами, через которую они взаимодействуют.

ИХНОФА́ЦИЯ – сообщество *ихнофоссилий* (см.): характерная ассоциация следов деятельности ископаемых животных.

ИХНОФОССИ́ЛИИ – окаменевшие следы жизнедеятельности ископаемых организмов. Обеспечивают *биотурбацию* (см.) осадков; зависят от типа дна (см. *Дно*).

КАРОТА́Ж – изучение строения отложений по стволу скважины с помощью специальных приборов (см. *Геофизические исследования скважин*). Рядом специа-

листов термин не рекомендуется использовать из-за его неблагозвучного (по их мнению) названия: по-французски carottage – от carotte – морковь. С таковой подразумевается сходство зонда, а процесс его извлечения из скважины – с вытягиванием моркови из земли за ее хвостик (кабель).

КЛА́СТЕР – объединение нескольких однородных элементов. **Кластерный анализ** – многомерная статистическая процедура, последовательно упорядочивающая исследуемые объекты в сравнительно однородные группы, в соответствии с их *иерархией* (см.), посредством построения *дендрограмм* (см.).

КЛАТРА́Т – соединение, включение. Образуется путем включения молекул «гостя» в полости кристаллической решетки «хозяина». Примеры – *газогидрат* (см.), угольный метан (см. *Метан угольный*).

КЛИНОФО́РМА – обстановка (зона) осадконакопления, соответствующая наклонному рельефу дна водоема, в которой формируется геологическое тело – **клинотема**. По направлению к суше переходит в *ундаформу* (см.), а в глубь бассейна – в *фондаформу* (см.). Понятие получило новый импульс в связи с широким развитием *сейсмостратиграфии* (см.), в рамках которой сопоставимо с *сиквенсом* (см.).

КОЛЛЕ́КТОР – горная порода, содержащая пустоты (поры, каверны, системы трещин) и способная фильтровать и задерживать флюиды (нефть, газ, вода). Наиболее распространенные виды – песчаники (псаммитолиты); известняки и доломиты (карбонатолиты).

КОНВЕРГЕ́НЦИЯ – 1. Схождение по латерали тектонических плит любого размера (см. *Тектоника литосферных плит*). 2. Образование продуктов сходного типа из разных источников и (или) разными путями; «предельный» случай – *эквифинальность* (см.).

КОНДЕНСА́ЦИЯ (седимент.) – 1. Накопление осадков с исключительно низкими скоростями седиментации (1-10 м/млн лет = мм/тыс. лет = *бубнов*: см.). 2. Формирование слоев в условиях, когда поступление осадка компенсируется его выносом: см. *Разрез компенсированный*.

КОНКРЕ́ЦИЯ – стяжение аутигенных минеральных компонентов, в основном происходящее на стадии *диагенеза* (см.). Ясно отличается от вмещающей породы (обычно уже визуально), характеризуется кривизной поверхности.

КОНСЕДИМЕНТА́ЦИЯ (консед. тектоника) – возникновение текстур, складчатости и пр. одновременно с накоплением осадков или в их свежеотложенном пластичном состоянии.

КОНТРАДИКТО́РНОСТЬ – противоречие; отношение двух понятий или суждений, каждое из которых является отрицанием другого.

КОРА́ ВЫВЕ́ТРИВАНИЯ – комплекс горных пород, возникших в верхней части литосферы в результате воздействия (при)поверхностных агентов. См. *Гипергенез*.

КОРРЕЛЯ́ЦИЯ – 1. (Матем.) Количественная связь между оцениваемыми параметрами. Для двух переменных (парная К.) характеризуется *коэффициентом корреляции* (см.). 2. (Геол.). Сопоставление слоев, их комплексов, разрезов в целом на любых расстояниях – от общей К. до детальной К.

КОЭВОЛЮ́ЦИЯ – совместное и взаимообусловленное существование и развитие объектов. К. *систем* (см.) – важнейший процесс их взаимодействия, позволяющий формировать объекты более высокого иерархического уровня (см. *Иерархия*; *Уровни организации геологических тел*).

КОЭФФИЦИЕ́НТ КОРРЕЛЯ́ЦИИ (r) – мера силы линейной связи между анализируемыми величинами X и Y. При r = 0 связь отсутствует, при r = ±1 параметры линейно связаны.

КРИВА́Я КУМУЛЯТИ́ВНАЯ – график накопленных частот, на котором по оси абсцисс метризуются значения исследуемого признака в определенной направленности изменения, а по оси ординат откладывается нарастающая сумма их значений, определенных для некоторого исходного массива (с суммой 1.0 или 100 %). Обычно строится вместе с *гистограммой* (см.).

КРОССПЛО́Т – специализированная диаграмма, дающая возможность сравнить многократные измерения величин, сделанных в одно время и в одном месте по двум и больше осям. Пример – соответствие данных по *пористости* (см.) и *проницаемости* (см.), которые выносятся на основу (планшет) в линейном и (или) логарифмическом масштабах.

КУМУЛЯТИ́ВНАЯ КРИВА́Я – см. *Кривая кумулятивная*.

ЛАВИ́ННАЯ СЕДИМЕНТА́ЦИЯ – см. *Седиментация лавинная*.

ЛАНДША́ФТ – основная единица физико-географического районирования; генетически единая территория с комплексом одинаковых характеристик.

ЛИНЕАМЕ́НТ – прямолинейный или дугообразный тектонический элемент ландшафта или геологического субстрата. Как правило, связан с тектоническими разломами (в т. ч. глубинными) и имеет региональное значение.

ЛИТОГЕНЕ́З – 1. Совокупность процессов образования осадочных пород, включающая несколько стадий, по-разному трактуемых в разных источниках (см. *Анализ стадиальный*). 2. Формы литологического (седиментационного) процесса, приводящего к возникновению существенно различных совокупностей горных пород (см. *Типы литогенеза*).

ЛИТОГЕОДИНА́МИКА – отрасль геологического знания, изучающая литологические индикаторы геодинамических режимов прошлого (С. И. Романовский, 1988). Реализуется в рамках *тектоники литосферных плит* (см.)

ЛИТОКЛА́СТ – обломок, включенный в породу (ксенолит). Чаще всего перенесен на некоторое (порой значительное) расстояние, но может быть отложен и почти на месте (in situ). Наиболее распространены различно окатанные обломки тонкозернистых темноокрашенных алевролитов и (или) аргиллитов, хорошо распознаваемые в более светлом песчаном *матриксе* (см.).

ЛИТОЛОГИ́ЧЕСКИЙ ТИП – см. *Тип литологический*.

ЛИТО́ЛОГО-ФАЦИА́ЛЬНЫЙ АНА́ЛИЗ – см. *Анализ литолого-фациальный*.

ЛИТОРА́ЛЬ – прибрежная часть морей и океанов, периодически осушающаяся во время отливов и соответственно затапливаемая приливами. *Сублитораль* – внешняя по отношению к водоему зона литорали, с глубиной 5-10, иногда до 25 м. *Супралитораль* (зона заплеска) – часть территории, лежащая выше собственно Л. и покрываемая водой только во время самых сильных приливов.

ЛИТОРИ́ТМ – результат тонкого, равномерного повторения небольшого количества типов пород как элементов разреза.

ЛИТОФА́ЦИЯ – порода с комплексом присущих ей признаков: латеральная часть стратиграфической единицы (обычно слоя), которая отделяется от соседних по одному или нескольким параметрам.

ЛИТОЦИ́КЛ – комплекс различных отложений, генетически связанных направленностью изменения их признаков в начале в одном, а потом в другом, про-

тивоположном, направлениях. Удобнее выделять Л. по смене *трансгрессии* (см.) на *регрессию* (см.). Синоним: *циклотема* (см.). Имеет принципиальные отличия от «механизированного» *циклита* (см.), хотя в упрощенном виде может быть сопоставлен с таковым.

ЛОВУ́ШКА – объем пород, который может вместить нефть или газ, вне зависимости от своей формы и условий образования, то есть образовать *залежь углеводородов* (см.).

«ЛОСКУ́ТНОЕ» – см. *пэчворк*.

МА́РКОВСКИЙ ПРОЦЕ́СС – см. *Процесс марковский*.

МАРШ – зона отмелого аккумулятивного побережья, затапливаемого только при больших нагонах волн.

МА́ТРИКС – основное, связующее вещество, заполняющее промежутки между зернами и (или) обломками. Обычно имеет алевропелитовую размерность для терригенных пород; в карбонатных – созвучен *микриту* (см.).

МЕЖДИСЦИПЛИНА́РНОСТЬ – осмысление, осуществляемое за рамками конкретной научной дисциплины. Более высокий уровень – *трансдисциплинарность* (см.). См. также *НБИКС*.

МЕЙНСТРИ́М – главное, основное направление в любой отрасли деятельности – в науке, творчестве и т. п. Может иметь как позитивное, так и негативное толкование.

МЕТАМОРФИ́ЗМ – комплекс минеральных и структурно-текстурных преобразований пород, происходящий на глубине, вне зоны первоначального накопления и *литогенеза* (см.).

МЕТАМОРФИ́ЗМ УГЛЕ́Й – необратимый процесс последовательных превращений исходного органического материала преимущественно растительного происхождения. Главные параметры повышения М. У. – увеличение содержания углерода на горючую массу (C^{daf}) и *показателя отражения витринита* R^0 (см.).

МЕТА́Н У́ГОЛЬНЫЙ – метан, содержащийся в сорбированном (связанном) состоянии в угольных пластах: как в системе естественных трещин, так и в молекулярном состоянии (см. *Клатрат*).

МИГРА́ЦИЯ УГЛЕВОДОРО́ДОВ – их перемещение в земной коре. различают первичную М. У. (внутри узких пор в материнской породе) и вторичную М. У. (в породах с более высокой проницаемостью).

МИКРИ́Т – микрокристаллический карбонатный ил с зернами кальцита диаметром 1-4 мкм (0.001-0.004 мм).

МИКСТИ́Т – обломочная порода (кластолит), представляющая собой смесь (микст) нескольких фракций, включая грубообломочные. Характерный признак – наличие тонкозернистого *матрикса* (см.).

МОДЕЛИ́РОВАНИЕ – процесс создания *моделей* (см.) и их исследование. В геологии, при отсутствии возможностей прямого воссоздания процессов, благодаря необратимости времени (см. *Время геологическое*), является единственным и непроверяемым «напрямую» средством реконструкции ранее протекавших процессов.

МОДЕ́ЛЬ – представление некоторого процесса и (или) объекта, исследование которого служит средством для получения информации об изучаемой системе. Жизненность и (или) работоспособность М. оценивается посредством *верификации* (см.) и *валидации* (см.).

МО́ДУЛЬ – 1. В точных науках название некоторых коэффициентов, конкретных мерил каких-либо величин. 2. В геологии – отношения каких-либо величин, нередко измеряемых разными параметрами или вне размерности.

• (1) – **М. Юнга** – физическая величина, характеризующая свойства материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации. Используется при определении скоростей распространения сейсмических волн.

• (2) – **М. лито(петро)химический** – отношение окислов или их групп, определяемых химическим (силикатным) анализом. Предпочтителен по сравнению с использованием конкретных значений в силу замкнутости общей системы, приравненной к 100 %.

МОРФОЛО́ГИЯ – учение о форме, строении и происхождении исследуемых объектов. Следует различать *морфометрию* (измерение формы), *морфографию* (описание формы, нередко ошибочно принимаемое за морфологию), *морфоструктуру* (строение объекта) и *морфогенезис* (представления о происхождении). Только общий анализ всех перечисленных составляющих дает полное представление о М.

НБИКС (NBICS)-КОНВЕРГЕ́НЦИЯ – ядро шестого, нанотехнологического уклада (примерно с 2004 г.), основанного на объединении и синергетическом (см. *Синергетика*) усилении нано-, био-, инфо-, когнито- и социотехнологий.

НЕЙРО́ННАЯ СЕТЬ – математическая модель и ее программно-аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – нервных клеток живого организма (см. *Живое и неживое*; *НБИКС-конвергенция*).

НЕЛИНЕ́ЙНОСТЬ – в буквальном смысле все то, что не соответствует линейной предсказуемости. Множеству решений нелинейного уравнения соответствует множество путей эволюции *системы* (см.). В мировоззренческом (в том числе геологическом) плане Н. отражает многовариантность путей развития, идею выбора из представляющихся альтернатив. Одновременно с этим, в силу ряда внутренних причин, возникает «порядок из хаоса» (И. Пригожин), являющийся объектом **синергетического мировидения** (см. *Синергетика*).

НЕОКО́М – четыре нижних яруса (надъярус) нижнего мела: берриас, валанжин, готерив и баррем. Устаревший термин. Используется в Западной Сибири благодаря хорошей распознаваемости в геологическом разрезе.

НЕФТЕГАЗОНО́СНЫЙ БАССЕ́ЙН (НГБ) – область устойчивого и длительного осадконакопления, геологическое развитие которой обеспечило генерацию, миграцию и аккумуляцию углеводородных ресурсов. Крупные НГБ, в соответствии с нефтегеологическим районированием, разделяются на нефтегазоносные области (НГО) и нефтегазоносные районы (НГР).

НУЛЕВО́Й ГОРИЗО́НТ – см. *Горизонт нулевой*.

ОБДУ́КЦИЯ – процесс надвигания тектонических пластин, сложенных фрагментами океанической литосферы, на континентальную окраину. Предполагается, что она развивалась параллельно с *субдукцией* (см.) в зонах *конвергенции* (см.) тектонических плит.

ОБСТАНО́ВКА ОСАДКОНАКОПЛЕ́НИЯ – комплекс условий, в которых накапливались осадки. Одна из двух основных составляющих в понятии *фация* (см.) при ее интерпретации как «осадок + условия».

ОЛИСТОЛИ́Т – отдельный блок (обломок) горных пород, перемещенный в результате скольжения под действием силы тяжести.

ОЛИСТОСТРО́М – осадочное образование, сформированное из хаотичного скопления слоев, смятых в результате гравитационного перемещения различно консолидированных пород.

ООЛИ́Т – минеральное образование сферической или эллипсовидной формы, часто карбонатного состава. Размеры от микрометров до 15-25 мм. Обычно имеют концентрически-скорлуповатое, или радиально-лучистое строение.

ОРОГЕ́Н – горное сооружение в узком смысле. Особо интересны О., возникающие в результате тектонической активизации консолидированных областей континентальной коры (**орогенез**).

ОСА́ДОЧНЫЙ БАССЕ́ЙН – см. *Бассейн осадочный*.

ПАЛЕОЛАНДША́ФТ – букв. древний *ландшафт* (см.) Соответствует древней *обстановке осадконакопления* (см.).

ПАРАГЕ́НЕЗИС объектов (минералов, пород и пр.) – их ассоциация, возникшая закономерно в ходе какого-то процесса, ограниченного в пространстве и времени и протекавшего в определенных условиях.

ПАРАДИ́ГМА – совокупность фундаментальных научных установок, представлений и терминов, признаваемых научным сообществом и служащих основой для дальнейших научных исследований.

ПАРАСИ́КВЕНС – комплекс генетически связанных слоев; часть *сиквенса* (см.). Мелеющая вверх последовательность слоев, ограниченная поверхностями морского затопления. Соответствует *циклу* (см.) ретроградационной или проградационной направленности (см. *Ретроградация*; *Проградация*).

ПАССИОНА́РНОСТЬ – страстное стремление к цели и готовность к сверхнапряжениям и жертвенности ради ее достижения.

ПЕЛЛЕ́ТЫ – фекальные комочки морских беспозвоночных животных, имеющие размер от нескольких микрон до 1-4 мм.

ПЕТРОФИ́ЗИКА – раздел наук о Земле, находящийся на стыке ряда геологических (в т. ч. литологии), геофизических (в т. ч. скважинной геофизики) и собственно физических исследований.

ПЛАТФО́РМА – одна из главных глубинных структур земной коры, характеризующаяся малой интенсивностью тектонической деятельности, почти полным отсутствием магматических проявлений и плоским рельефом. Понятие близко к *плите* (см.) и нередко синонимизируется.

ПЛЕЙТ-ТЕКТО́НИКА – синоним термина *Тектоника литосферных плит*.

ПЛИТА́ – участок земной коры в пределах *платформ* (см.), который (в отличие от щитов и массивов) перекрыт толщей пологозалегающих отложений – чехлом, нередко имеющим значительную толщину.

ПОВЕ́РХНОСТЬ МАКСИМА́ЛЬНОГО ЗАТОПЛЕ́НИЯ (MFS или mfs – от Maximum Flooding Surface) – максимальная глубина, разделяющая осадки трансгрессивного комплекса и перекрывающие их осадки комплекса высокого стояния. Наиболее близка к изохронности; часто фиксируется конденсированными слоями (см. *Конденсация*; *Разрез конденсированный*).

ПОКАЗА́ТЕЛЬ ОТРАЖЕ́НИЯ ВИТРИНИ́ТА – отношение интенсивности светового потока, отраженного от полированной поверхности аншлифа (аншлифабрикета), к интенсивности потока, падающего перпендикулярно на поверхность. Должен определяться только для *витринита* (см.).

ПОКРЫ́ШКА (флюидоупор) – относительно непроницаемое для флюидов породное тело: экран. Наличие П. является обязательным для формирования *залежи* (см.).

ПО́РИСТОСТЬ – доля объема пор в общем объеме пористого тела. Полная пористость определяется объемом всех пор; открытая – сообщающихся между собой. Основная характеристика породы – *коэффициент пористости*, равный отношению объема пор ко всему объему (%).

ПОРЯ́ДОК 1. Гармоничное, ожидаемое, предсказуемое состояние или расположение чего-либо. 2. *Уровень организации геологических тел* (см.) Характеризирует их *иерархию* (см.); по смыслу близок к *рангу* (см.).

ПРЕЗЕНТА́ЦИЯ – документ или комплект документов, предназначенный для представления информации. Чаще всего – набор графических изображений, сопровождаемый *гипертекстом* (см.)

ПРИ́ЗНАКИ ИНДИКАТИ́ВНЫЕ – параметры, имеющие рекомендательный или пожелательный, но не обязательный характер. Для терригенных пород – ориктоценозы (ископаемые остатки), *конкреции* (см.) и др.

ПРИ́ЗНАКИ КОНСТИТУТИ́ВНЫЕ – существенные параметры, с утратой (или не определением) которых понятие или объект теряет смысл. Для терригенных пород это размерность частиц, их сложение (текстура) и форма геологического тела (как минимум – контакты слоев).

ПРИ́НЦИПЫ СТРАТИГРА́ФИИ – положения, лежащие в основе стратиграфии. Обычно выделяют собственно стратиграфические, общегеологические и седиментологические П. С., общим число до 10.

ПРОГРАДА́ЦИЯ – латеральное наращивание осадков. Рассматривается во взаимосвязи с продвижением береговой линии в сторону моря и характеризуется увеличением размерности частиц вверх по разрезу. Другие процессы – *ретроградация* (см.) и *аггрaдация* (см.).

ПРОДЕ́ЛЬТА – часть дельты, расположенная мористее ее фронта и глубже зоны эффективной волновой деятельности. По существу синоним *авандельты* (см.).

ПРОМИ́ЛЛЕ (‰) – одна тысячная доля (0.001) или одна десятая процента (0.1 %); обозначается ‰. **Пропромилле** (ppm) – одна миллионная доля ($1 \cdot 10^{-6}$); одна десятитысячная доля процента (0.0001 %); одна тысячная доля промилле (0.001‰).

ПРОНИЦА́ЕМОСТЬ – способность горных пород фильтровать сквозь себя флюиды при наличии перепада давления. Количественной единицей П. является *коэффициент проницаемости*, определяемый опытным путем. Внесистемная единица П. – Дарси, приблизительно равная 1 мкм^2. На практике обычно используются миллидарси (мД) = 10^{-3} Д.

ПРОЦЕ́СС МА́РКОВСКИЙ (матем.) – случайный процесс, эволюция которого зависит от состояния *системы* (см.) в настоящем, независимо от того, как она пришла в это состояние. См. *Цепи Маркова*.

ПЭ́ЧВОРК – англ. patchwork: букв. одеяло, покрывало, изделие из разноцветных лоскутов или *«лоскутное»* (см.). В пособии понятие П. использовано как символичное обозначение сборки целого из множества фрагментов. См. также *гипертекст*.

РАЗЛО́М РЕ́ВЕРСНЫЙ – разрывное нарушение с разнонаправленными движениями блоков относительно сместителя, что фиксируется по отношению к нейтральной поверхности.

РАЗРЕ́З КОНДЕНСИ́РОВАННЫЙ – стратиграфический интервал небольшой толщины, сформированный в течение длительного времени, в основном двумя путями (см. *Конденсация*).

РАНГ – уровень в иерархически (см. *Иерархия*) организованной *системе* (см.). Близок к понятию *порядок* (см.). **Ранжирование** – определение системности, направленности (вектора) и ступенях рангов. См. также *Уровни организации геологических тел*.

РАСПОЗНАВА́НИЕ О́БРАЗОВ – раздел информатики и смежных дисциплин, рассматривающий основы и методы классификации и идентификации предметов, явлений и т. п. для объектов, которые характеризуются набором исходных свойств и признаков.

РЕГРЕ́ССИЯ (моря) – медленное отступание моря от берега, часто сопровождающееся *проградацией* (см.) дельтовых выносов. Обусловлена поднятием суши или понижением *уровня моря* (см.) вследствие эвстатических процессов (см. *Эвстатика*). Противоположна *трансгрессии* (см.).

РЕДКОЗЕМЕ́ЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕ́НТЫ (РЗЭ) – группа из 17 элементов, включающая скандий, иттрий, лантан и лантаноиды. Составляют отдельный ряд, что объясняется особенностью строения их электронных структур. Обычно подразделяются на *легкие*, или цериевую группу, и *тяжелые*, или иттриевую группу. Могут обозначаться символом TR (terra rara).

РЕЖИ́М ОСАДКОНАКОПЛЕ́НИЯ (СЕДИМЕНТА́ЦИИ) – механизм формирования слоевых единиц.

• **Р. миграцио́нный** – с постепенным направленным перемещением области с осаждением частиц (см. *Закон основной фациальный*).

• **Р. мутацио́нный** – определяемый путем последовательного вертикального осаждения «частица за частицей».

РЕЖИ́М С ОБОСТРЕ́НИЕМ – динамический процесс, при котором одна или несколько моделируемых величин обращается в бесконечность за конечный промежуток времени (матем.). В реальности вместо ухода в бесконечность наблюдается фазовый переход (см. *Скачок*) в результате *нелинейной* (см.) положительной обратной связи.

РЕЗЕРВУА́Р (геол.) – природное вместилище для флюидов (нефти, газа, воды), форма которого обусловлена соотношением слагающих пород – *коллекторов* (см.) с плохо проницаемыми *покрышками* (см.).

РЕЛЬЕ́Ф – совокупность неровностей твердой земной поверхности; форма и очертания исследуемой поверхности.

РЕ́ПЕР – характерный слой (пласт, интервал, комплекс слоев) или характерное изменение физических свойств горных пород. Близок к термину «маркирующий горизонт». Чем меньше толщина Р. и более выражена его контрастность по отношению к соседним породам, тем выше его корреляционное значение (см. *Корреляция*).

РЕТРОГРАДА́ЦИЯ 1. Постепенное уменьшение размерности частиц, а также слагаемых ими слоев, вверх по разрезу. 2. Регрессивное (см. *Регрессия*) врезание береговой линии в прибрежную полосу в результате волновой эрозии. Обычно противопоставляется *проградации* (см.).

РЕЦИ́КЛИНГ – процесс вовлечения земной коры в мантию вследствие *субдукции* (см.), с последующим выводом переработанных продуктов на поверхность в результате поднятия или вулканизма.

РИТМ – равномерное чередование каких-либо элементов: в осадконакоплении – обычно двух-трех типов пород. См. *Литоритм*; *Флиш*.

РИТМИ́Т – особый текстурный (см. *Слоистость*) тип породы, обычно представленный латерально ограниченным тонким переслаиванием двух (реже трех) контрастных по цвету и (или) размерности типов слойков.

РИФТ – крупная линейная впадина в земной коре, образующаяся в месте ее разрыва, в результате растяжения или продольного движения.

«РЯ́БЧИК» – характерная текстура пород одного из горизонтов Самотлорского месторождения (Западная Сибирь).

РЯБЬ – следы движения водных или воздушных струй на поверхности незатвердевших осадков. Имеется большое количество классификаций **знаков ряби**, по которым идентифицируются наиболее распространенные **Р. течения**, **Р. волнения**, **восходящая Р**., а также другие типы.

САЛЬТА́ЦИЯ – скачкообразное перемещение (см. *Скачок*) частиц во влекущем потоке. Особенно присуще песчаной *фракции* (см.).

САМООРГАНИЗА́ЦИЯ – процесс упорядочения элементов одного уровня в *системе* (см.) за счет внутренних факторов, без внешнего воздействия.

САМООРГАНИЗО́ВАННАЯ КРИТИ́ЧНОСТЬ (СОК) – свойство динамических *систем* (см.). Определяется тем, что при малом возмущении могут происходить значительные превращения, происходящие в режиме *бифуркации* (см.), в виде *скачка* (см.).

СЕДИМЕНТА́ЦИЯ ЛАВИ́ННАЯ – высокоскоростное осаждение переносимого материала. Для древних отложений предложена минимальная *скорость осадконакопления* (см.) или (правильнее) *темпа осадочного породообразования* (см.) более 100 Б (*бубнов*: см.) или 100 мм/тыс. лет = 100 м/млн лет. В соответствии с общими закономерностями, в рельефе Земли (гипсографической кривой) выделены три *уровня лавинной седиментации* (см.).

СЕДИМЕНТОГЕНЕ́З – комплекс процессов, обеспечивающих формирование осадка, первая стадия *литогенеза* (см.).

СЕДИМЕНТОЛО́ГИЯ – раздел геологии, изучающий осадочные горные породы и условия их формирования. В СССР-России принято рассматривать как составную часть *литологии* (см.); в североамериканской геологии как равноправную со *стратиграфией* (см.) составляющую в учении об осадочных породах.

СЕЙСМОСТРАТИГРА́ФИЯ – дисциплина, изучающая строение и особенности формирования осадочных толщ путем их расчленения на иерархизированные (см. *Иерархия*) трехмерные геологические тела – *сейсмофации* (см.), *парасиквенсы* (см.), *сиквенсы* (см.).

СЕЙСМОФА́ЦИЯ – трехмерная сейсмическая единица, определяемая на основе рисунка записи (конфигурации отложений), протяженности, частоты и интервальной скорости.

СИ́КВЕНС – относительно согласно залегающая последовательность генетически связанных слоев, ограниченная несогласиями или соответствующими им согласными границами. Нередко практикуется написание *секвенс*.

СИНЕРГЕ́ТИКА – *междисциплинарное* (см.) направление научных исследований, изучающее закономерности и принципы, лежащие в основе *самооргани-*

зации (см.) в *системах* (см.) разной природы. Основной объект исследований С. – нелинейные процессы (см. *Нелинейность*).

СИНЕРЕ́ЗИС – выделение жидкой фазы из дисперсной структуры (геля). Сопровождается уменьшением объема, что приводит к образованию трещин С. – *индикативного* (см.) признака осадочных пород.

СИСТЕ́МА – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство. Важные свойства целостных С. – иерархичность (см. *Иерархия*) и *эмерджентность* (см.).

СИСТЕ́МНЫЙ ТРАКТ – см. *Тракт системный*.

СКАЧО́К – резкий переход от прежнего состояния к новому.

СКО́РОСТЬ ОСАДКОНАКОПЛЕ́НИЯ – обычно определяется отношением толщины (мощности) накопившихся (наблюдаемых) осадков к соответствующему геологическому времени (см. *Время геологическое*). Правильнее говорить о *темпе осадочного породообразования* (см.), который исключает время перерывов: *диастем* (см.) и *гиатусов* (см.), нередко занимающих бо́льшую часть общей длительности процесса.

СЛА́НЦЕВЫЙ ГАЗ, СЛА́НЦЕВАЯ НЕФТЬ – природные углеводороды, добываемые нетрадиционными методами из осадочных пород с низкой концентрацией органического вещества (см. *Трудноизвлекаемые запасы*).

СЛОИ́СТОСТЬ – строение (см. *Текстура*) горных пород в виде налегающих друг на друга слойков и их серий.

• **С. бугóрчатая** (hummocky cross-stratification) – текстура, характерная для штормовых отложений: колебательных потоков с большой энергией (см. *Темпестит*). Главный признак – дискордантное (несогласное) облекание перекрывающими слойками базальной эродированной поверхности.

• **С. градацио́нная** – тип слоистости, при котором каждый отдельный слоек характеризуется плавным переходом (снизу вверх) от более крупной размерности частиц к более мелким.

СПА́ЙДЕР-ДИАГРА́ММА (СПАЙДЕРГРА́ММА) – график, по оси абсцисс которого показывается серия элементов (например, *РЗЭ*: см.), а по оси ординат – отношения их концентраций в исследуемом объекте к их концентрации в некотором объекте, принимаемом за **стандарт**.

СТАДИА́ЛЬНЫЙ АНА́ЛИЗ – см. *Анализ стадиальный*.

СТРАТИГРА́ФИЯ ГЕНЕТИ́ЧЕСКАЯ – метод исследования осадочных толщ, основанный на установлении *фаций* (см.) и их комплексов – *циклотем* (см.). Граница таковых проводится по *поверхностям максимального затопления* (см.), что принципиально схоже с методикой фациально-циклического анализа (см. *Анализ фациально-циклический*).

СУБДУ́КЦИЯ – поддвигание литосферных плит океанической коры под края других плит. Противоположно *обдукции* (см.).

ТЕКСТУ́РА – совокупность признаков строения горной породы. Для осадочных пород тесно связана с определением *слоистости* (см.).

ТЕКСТУ́РНЫЙ АНА́ЛИЗ – см. *Анализ текстурный*.

ТЕКТО́НИКА ЛИТОСФЕ́РНЫХ ПЛИТ (ТЛП) – научное представление о строении литосферы, согласно которому земная кора состоит из относительно целостных блоков (литосферных плит), которые находятся в постоянном движении друг относительно друга.

ТЕМП ОСА́ДОЧНОГО ПОРОДООБРАЗОВА́НИЯ (ТОП) – приращение толщины осадочного тела за единицу времени (см. *Время геологическое*). Предпочтительнее «обычного» определения *скорости осадконакопления* (см.), не учитывающего времени перерывов.

ТЕМПЕСТИ́Т – мелководно-морские осадки, отложившиеся в результате кратковременных событий с высокой энергией – штормов. Различают проксимальные (близкие к берегу) и дистальные (удаленные) Т. Характерный признак – бугорчатая слоистость (см. *Слоистость бугорчатая*).

ТЕРНА́РНОСТЬ – троичность, трехчленность. Син. *тринитарность* (см.)

ТИ́ПЫ ЛИТОГЕНЕ́ЗА (по Н. М. Страхову, 1956) – устойчивые совокупности процессов *литогенеза* (см.), для континентов выделяемые по климатическому признаку (гумидный, аридный и ледовый), а также проявлению вулканизма (азональный вулканогенно-осадочный).

ТИ́ПЫ ОСА́ДОЧНЫХ ПОРО́Д:

• **генети́ческие** – определяемые *механизмом* формирования конкретных пород или группы отложений;

• **гранулометри́ческие** – выделяемые по *размерности* и *соотношению* частиц, слагающих породу;

• **литогенети́ческие** – устанавливаемые по сумме признаков, позволяющих определить условия формирования породы (см. *Генезис*).

• **литологи́ческие** – обладающие набором конститутивных и индикативных признаков (см. *Признаки индикативные*; *П. конститутивные*).

ТИ́ПЫ СЕДИМЕНТОГЕНЕ́ЗА (С. И. Романовский, 1980) – «вложенные друг в друга» структурные *инварианты* (см.): гранулоседиментогенез, стратоседиментогенез и циклоседиментогенез, соответствующие *уровням организации геологических тел* (см.).

ТОНШТЕ́ЙН – глинистый прослой, наиболее легко распознаваемый в угольных пластах, в связи с резким различием цвета (белое в черном). При незначительной толщине (несколько сантиметров) может прослеживаться на десятки и сотни километров, что делает Т. надежным *реперо́м* (см.) для *корреляции* (см.) отложений. Наиболее вероятна вулканогенная природа происхождения.

ТО́ЧКА ОМЕ́ГА – состояние наиболее организованной сложности и одновременно наивысшего сознания, к которому эволюционирует Вселенная (П. Тейяр де Шарден).

ТРАКТ СИСТЕ́МНЫЙ – набор связанных, одновременно образованных осадочных систем, представляющих собой комплекс последовательных *парасиквенсов* (см.), характеризующихся определенным *мотивом* чередования (см. *Аггрaдация*, *Проградация*, *Ретроградация*). Основные Т. С.: низкого стояния (LST), трансгрессивный (TST), высокого стояния (HST).

ТРАНСГРЕ́ССИЯ – процесс наступания моря на сушу, который может вызываться различными причинами. Разновидность – *ингрессия* (см.); противоположность – *регрессия* (см.).

ТРАНСДИСЦИПЛИНА́РНОСТЬ – способ расширения научного мировоззрения, заключающийся в рассмотрении того или иного явления вне рамок какой-либо одной научной дисциплины. Более высокий этап по отношению к *междисциплинарности* (см.); основа *НБИКС (NBICS)-конвергенции* (см.).

ТРИНИТА́РНОСТЬ – см. *Тернарность*.

ТРУДНОИЗВЛЕКА́ЕМЫЕ ЗАПА́СЫ (ТрИЗ) – 1. Запасы «обычных» месторождений, залежей или их отдельных частей, характеризующиеся относительно неблагоприятными условиями для их извлечения. 2. Нетрадиционные ресурсы углеводородов в виде *сланцевой нефти* и *сланцевого газа* (см.).

ТУРБИДИ́Т – характерная ассоциация осадочных пород, отложившаяся в результате перемещения *мутьевых потоков* и обладающая характерной градационной текстурой (см. *Слоистость градационная*). Типичные Т. характерны для глубоководных отложений с лавинной седиментацией (см. *Седиментация лавинная*; *Цикл Боума*).

ТЯЖЁ́ЛАЯ ФРА́КЦИЯ МИНЕРА́ЛОВ – минеральные зерна плотностью более 2.89 г/см^3, то есть тонущие в бромоформе.

УГЛЕФИКА́ЦИЯ – совокупность процессов преобразования исходного органического вещества растительного происхождения из торфа в бурый уголь и далее в соответствии с *метаморфизмом углей* (см.).

УНДАФО́РМА – обстановка осадконакопления и комплекс форм подводного рельефа в прибрежной области, с выходом на сушу. В сторону моря сменяется *клиноформой* (см.). Для геологического тела соответствует **ундатеме.**

У́РОВЕНЬ ЛАВИ́ННОЙ СЕДИМЕНТА́ЦИИ – гипсографический уровень с максимальной скоростью осаждения переносимого материала (см. *Седиментация лавинная*). А. П. Лисицыным выделено три уровня УЛС: устьев рек или дельтовый, подножий континентальных склонов и дна глубоких желобов. На континенте к ним можно добавить участки подножий горных сооружений (фанлювиальный).

У́РОВЕНЬ МО́РЯ – положение свободной поверхности Мирового океана. В течение геологического времени (см. *Время геологическое*) постоянно изменялся в силу различных причин (см. *Эвстатические колебания*).

У́РОВНИ ОРГАНИЗА́ЦИИ ГЕОЛОГИ́ЧЕСКИХ ТЕЛ – эмпирическое представление о соподчиненности изучаемых объектов, то есть их *иерархии* (см.). Выделение *рангов* (см.) имеет более «жесткий» смысл, проявляющийся в *эмерджентности* (см.) наборов свойств; установление *«порядков»* (см.) – более «мягкий» характер, допускающий трансляцию близких уровней, то есть взаимодействие.

ФАКТОРИЗА́ЦИЯ (ФА́КТОРИНГ) (матем.) – декомпозиция объекта (в т. ч. матрицы) в произведение других объектов или **факторов**, которые, будучи перемноженными, дают исходный объект. Цель Ф. – приведение объекта к «основным строительным блокам» – реализуется посредством **факторного анализа.**

ФАЦИА́ЛЬНО-ЦИКЛИ́ЧЕСКИЙ АНА́ЛИЗ – см. *Анализ фациально-циклический*.

ФА́ЦИЯ – одно из самых «запутанных» понятий в геологии, допускающее много толкований. В представленном пособии – обстановка осадконакопления, овеществленная в осадке или породе: «**осадок (порода) + условия**».

ФИЛЬТРАЦИО́ННО-ЁМКОСТНЫЕ СВО́ЙСТВА (ФЕС) – параметры, позволяющие определять способность *коллектора* (см.) вмещать (см. *Пористость*) и фильтровать (см. *Проницаемость*) флюиды. Полный набор *ФЕС* включает до трех десятков параметров.

ФЛИШ – серия морских осадочных отложений, имеющих отчетливое двух(трех)членное строение, с *равномерным*, монотонным чередованием слоев. Характерные признаки – градационная слоистость (см. *Слоистость градационная*); асимметричность строения, присущая *турбидитам* (см.).

ФЛЮИ́Д – жидкий или газообразный легкоподвижный компонент геологического пространства. В рамках пособия к Ф. относятся нефть, вода, газ.

ФЛЮИДОДИНА́МИКА – раздел динамической (физической) геологии, изучающий закономерности миграции *флюидов* (см.) в недрах Земли и геологическую роль этой миграции.

ФОНДОФО́РМА – обстановка накопления и комплекс форм подводного рельефа в наиболее глубокой области, сменяющая *клиноформу* (см.). Для геологического тела соответствует **фондотеме.**

ФОРМА́ЦИЯ (геол.) – естественная совокупность горных пород, связанных общностью условий своего образования, т. е. возникших в сходной физико-географической (палеогеографической) обстановке и при близких геотектонических (гидродинамических) параметрах.

ФРА́КЦИИ (частиц) – распределение некоторого объема исходного материала по размерности, в зависимости от принятой классификации (см. *Шкалы*).

ЦЕПЬ МА́РКОВА – последовательность случайных событий с конечным числом исходов. Определяется тем, что при фиксированном настоящем будущее не зависит от прошлого (см. *Процесс марковский*). Актуализируя (см. *Актуализм*) взаимоотношения между соседствующими слоями (см. *Закон основной фациальный*), дает **числовую** характеристику основных переходов между наблюдаемыми состояниями.

ЦИКЛ – совокупность явлений (процессов), составляющая кругооборот в геологии в течение известного промежутка времени. Единичный Ц. следует рассматривать как виток спирали, в отличие от «простого» повтора (см. *Ритм*).

• **Ц. Бо́ума** – отражает стадийность образования полного (совершенного) турбидитного комплекса) (см. *Турбидит*), состоящего из пяти последовательно сменяющих друг друга слоев (a – e).

• **Ц. Кондра́тьева** – описывает периодические подъемы и спады мировой экономики от середины XIX в. до настоящего времени, с продолжительностью 48-55 лет. Могут использоваться для прогнозирования будущего.

• **Ц. Мила́нковича** – колебания количества солнечного излучения, достигающего Земли, обусловленные астрономическими причинами. Длительность от 10 до 100; наиболее важная для геологии – 26 и 41 тыс. лет.

ЦИКЛИ́Т – парагенез слоев, теснее связанных друг с другом, чем смежным парагенезом того же *ранга* (см.); целостные во времени слоевые *системы* (см.) (Ю. Н. Карогодин). Сугубо «механизированное» понятие, предназначенное для отличия от *цикла* (см.) как временной категории. В этом плане предпочтительнее *литоцикл* (см.).

ЦИКЛИ́ЧНОСТЬ – свойство процесса развиваться циклично, т. е. по спирали, единичным витком которой является *цикл* (см.).

ЦИКЛОТЕ́МА – комплекс слоев, характеризующихся отчетливой направленностью смены условий осадконакопления. Термин предложен для угленосных толщ, по сути адекватен *литоциклу* (см.). В настоящее время малоупотребим.

ЧЕЧЕВИ́ЦА ГОЛО́ВКИНСКОГО – образное представление о закономерной смене слоев разного состава (см. *Закон основной фациальный*). Отражает форму «оболочки чечевичного зерна, одевающей ядро», с отчетливо уплощенной формой по периферии.

ШКАЛА́ – ряд величин, цифр в восходящем или нисходящем порядке.

• **Ш. γ (Батурина)** – градуируется по значениям параметра γ, который представляет собой отношение $\gamma = -10\,\ell g x_{\square}$, где $x_{\square}$ – размер частиц в миллиметрах.

• **Ш. φ (Ф), ш. «фи»** – градуируется по параметру $\varphi = -\ell og_2 x_{\square}$. Абсолютно преобладает при определении гранулометрических типов пород (см. *Тип гранулометрический*) в зарубежной геологической литературе.

ЭВАПОРИ́ТЫ – хемогенные продукты испарения рассолов, образующихся в замкнутых или полузамкнутых водоемах. Близкое понятие – *соли*.

ЭВОЛЮ́ЦИЯ – развитие; процесс непрерывного количественного изменения, неизбежно переходящего в качественное, нередко – *скачком* (см.).

ЭВСТА́ЗИЯ – неизменность свойств местобитания, характеристики которого длительное время остаются стабильными.

ЭВСТАТИ́ЧЕСКИЕ КОЛЕБА́НИЯ – глобальные изменения *уровня моря* (см.), затрагивающие весь Мировой океан и приводящие к смене *трансгрессий* (см.) и *регрессий* (см.).

ЭКВИФИНА́ЛЬНОСТЬ – динамическое свойство *системы* (см.), осуществляющей движение различными путями из разных начальных состояний в одно и то же финальное (конечное) состояние. См. также *Конвергенция*.

ЭЛЕКТРОМЕТРИ́ЧЕСКИЕ МОДЕ́ЛИ ФА́ЦИЙ (ЭМФ) – седиментологические модели фаций, базирующиеся на анализе кривой самопроизвольной поляризации или естественного электрического потенциала ПС (см. *Геофизические исследования скважин*). В отечественной литературе прочно связаны с исследованиями В. С. Муромцева (1984).

ЭЛЕМЕ́НТЫ-ПРИ́МЕСИ – второстепенные компоненты горных пород, изоморфно замещающие основные компоненты или представленные самостоятельными микровыделениями.

ЭЛИ́ЗИЯ – пополнение ресурсов подземных вод за счет отжима поровых вод в процессе механического и физико-химического уплотнения вмещающих горных пород и/или при тектонических движениях.

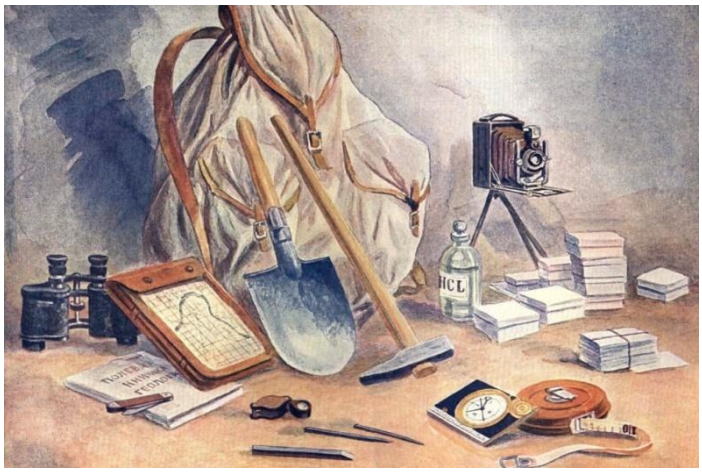
ЭМЕРДЖЕ́НТНОСТЬ – свойство целого, не сводимое к сумме свойств слагающих его компонентов. Близкое понятие – системный эффект.

ЭНДОЛИТОЛО́ГИЯ – «литология изнутри», подобно эндофизике или «физике изнутри» О. Рёсслера (1987 и др.). В Э. моделируется как внешний мир, так и его наблюдатель, а неизменной реальностью остается лишь разделяющий их *интерфейс* (см.).

ЭПЕЙРОГЕНЕ́З – длительные медленные («вековые») поднятия и/или опускания земной коры, не вызывающие изменения ее структуры. Противопоставляется орогенезу (см. *Ороген*).

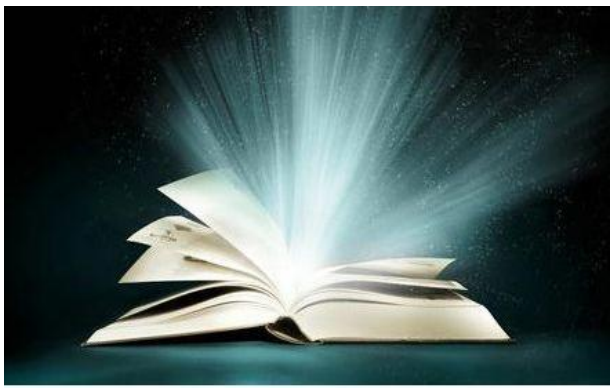
ЭПИГЕНЕ́З – сумма природных изменений осадочных горных пород после их образования. Созвучен *литогенезу* (см.), без стадии седиментогенеза (см. *Анализ стадиальный*).

ЭСТУА́РИЙ – воронко- или рукавообразное затопляемое русло реки при впадении в водоем. Образуется, когда выносимый материал быстро удаляется вдольбереговыми течениями либо при подъеме *уровня моря* (см.), в том числе при *эвстатических колебаниях* (см.).



СПИСОК ПРИВЕДЕННЫХ БИОГРАФИЙ

Берталанфи Карл Людвиг фон (1901-1972) 383
Богданов Александр Александрович (1878-1928) 383
Ботвинкина Любовь Николаевна (1912-1989) 263
Брод Игнатий Осипович (1902-1962) 357
Вальтер Иоганнес (1860-1937) 334
Вассоевич Николай Брониславович (1902-1981) 357
Волков Владилен Нилович (1929-2012) 453
Головкинский Николай Алексеевич (1834-1897) 332
Грессли Аманц (1814-1865) 113-114
Губкин Иван Михайлович (1871-1939) 357
Гумилев Лев Николаевич (1912-1992) 249
Егоров Александр Иванович (1909-2004) 453
Жемчужников Юрий Аполлонович (1885-1957) 262
Иностранцев Александр Александрович (1843-1919) 333
Каледа Глеб Александрович (1921-1994) 272
Кондратьев Николай Дмитриевич (1892-1938) 248
Крашенинников Григорий Федорович (1909-1992) 141
Лутугин Леонид Иванович (1864-1915) 452
Наливкин Дмитрий Васильевич (1889-1982) 141
Павлов Алексей Петрович (1854-1929) 122
Пригожин Илья Романович (1917-2003) 397
Пустовалов Леонид Васильевич (1902-1970) 117
Романовский Сергей Иванович (1937-2005) 118
Рухин Лев Борисович (1912-1959) 296
Страхов Николай Михайлович (1900-1978) 117
Тимофеев Петр Петрович (1918-2008) 453
Фролов Владимир Тихонович (1923-2015) 119
Цейслер Виктор Мартынович (1931-2017) 215
Чижевский Александр Леонидович (1897-1964) 249
Шанцер Евгений Виргильевич (1905-1987) 122
Шатский Николай Сергеевич (1895-1960) 295
Шванов Валентин Николаевич (1933-1992) 118



ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

Александрова Г. Н., Космынин В. А., Постников А. В. Стратиграфия и условия седиментации меловых отложений южной части Варьеганского мегавала (Западная Сибирь) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. Т. 18, № 4. С. 65-91.

Алексеев А. С. Международная стратиграфическая шкала и ее современный статус // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 4. С. 671-681.

Алексеев В. П. Атлас фаций юрских терригенных отложений (угленосные толщи Северной Евразии). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. 209 с.

Алексеев В. П. Нелинейно-литологические эссе. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. 250 с.

Алексеев В. П. Атлас субаквальных фаций нижнемеловых отложений Западной Сибири (ХМАО-Югра). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 284 с.

Алексеев В. П., Аверьянова Е. А., Грачев А. В., Караев А. Ю., Липянина А. В., Павлова А. В. Эпизоды истории геологического развития мезозойских отложений Западной Сибири в образцах керна // Литосфера. 2016. № 1. С. 29-58.

Алексеев В. П., Амон Э. О. Седиментологические основы эндолитологии. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. 476 с.

Алексеев В. П., Ворожев Е. С., Рыльков С. А. Трансрегиональные линеаменты (Западная Сибирь, Урал, Северный Казахстан) // Горно-геологический журнал. 2013. № 1-2. (33-34). С. 20-25.

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

Алексеев В. П., Русский В. И., Федоров Ю. Н. и др. Значимость и разрешающая способность литолого-фациального анализа при изучении терригенных отложений: проверка гипотезы // Геология угольных месторождений. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. Вып. 3. С. 55-66.

Алексеев В. П., Федоров Ю. Н., Лебедев А. И. и др. Фации и палеогеография пластов $АВ_{1-2}$ Кечимовского месторождения (Широтное Приобье, Западная Сибирь) // Литология и геология горючих ископаемых. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. С. 92-105.

Алексеев В. П., Чернова О. С., Амон Э. О. и др. Закономерности изменения состава и строения коллектора $Ю_1$ в Широтном Приобье и его ближнем окружении (Западная Сибирь) // Литосфера. 2014. № 3. С. 51-69.

Алехина М. С., Черкас Е. О., Жуковская Е. А. и др. Методика создания фациально-ориентированной концептуальной модели ачимовских отложений Салымской группы месторождений // Современные проблемы седиментологии в нефтегазовом инжиниринге. Томск: Изд-во ЦППС НД, 2017. С. 215-221.

Амон Э. О., Васильева О. Н., Малышкина Т. П. Очерк палеогеографии региона Большого Урала и сопредельных территорий в позднемеловое и палеогеновое время // Геология Урала и сопредельных территорий. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 136-160.

Антипов М. П., Волож Ю. А., Чамов Н. П. Четырехмерные модели нефтегазоносных бассейнов // Современные проблемы геологии. М.: Наука, 2004. С. 251-270 (Труды ГИН. Вып. 565).

Арефьев С. В., Щергина Е. А. Применение кластерного анализа при фациальной диагностике // Вестник недропользователя ХМАО. 2009. № 20. С. 7-13.

Арманд А. Д. Два в одном: закон дополнительности. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 360 с.

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

Арутюнова Н. М., Саркисян С. Г. О некоторых способах обработки данных гранулометрического анализа // Литология и полезные ископаемые. 1969. № 4. С. 95-103.

Арчегов В. Б. Блоковая делимость земной коры и нефтегазоносность: теория и методика исследований // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т. 7, № 2. 31 с. (http: //www.ngtp.ru/rub/8/22_2012.pdf)

Атлас «Геологическое строение и нефтегазоносность неокомского комплекса Ханты-Мансийского автономного округа – Югры». Тюмень: ГП НАЦ РН им. В. И. Шпильмана, 2007. 191 с.

Атлас «Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа». Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2004. 148 с.

Атлас и объяснительная записка к Атласу литолого-палеогеографических карт юрского и мелового периодов Западно-Сибирской равнины в масштабе 1 : 5 000 000. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1976. 85 с.

Атлас литогенетических типов угленосных отложений среднего карбона Донецкого бассейна. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 368 с.

Афанасьев И. С., Гаврилова Е. В., Бирун Е. М. и др. Баженовская свита. Общий обзор, нерешенные проблемы // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». Декабрь 2010. № 4. С. 20-25.

Афанасьев С. Л. О принципах классификации осадочных образований (на примере верхнемеловых отложений Большого Кавказа) // Методология литологических исследований. Новосибирск: Наука, 1985. С. 241-259.

Афонин И. В., Татьянин Г. М., Тишин П. А. Геохимические неоднородности палеоэстуарного бассейна Ваньеганской структуры (Западная Сибирь) // Изв. ТПУ. 2015. Т. 326, № 2. С. 14-22.

Багринцева К. И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. М.: РГГУ, 1999. 285 с.

Бак П. Как работает природа: Теория самоорганизованной критичности: пер. с англ. М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. 276 с.

Бакиров А. А., Табасаранский З. А., Бордовская М. В., Мальцева А. К. Геология и геохимия нефти и газа. М.: Недра, 1982. 288 с.

Барабошкин Е. Ю. Перерывы в геологической летописи: проблемы и способы решения // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7, № 1. С. 57-63.

Барабошкин Е. Ю. Конденсированные разрезы: терминология, типы, условия образования // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2009. № 3. С. 13-20.

Бейзель А. Л. Изменения интенсивности сноса осадков – основной фактор образования осадочных комплексов (на материале юры Западной Сибири) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2006. № 5-6. С. 34-44.

Бейзель А. Л. Значение и методы выделения аналогов континентальных поверхностей выравнивания в морских разрезах // Био- и литостратиграфические рубежи в истории Земли. Тюмень: ТюмГНГУ, 2008. С. 62-69.

Бейзель А. Л. Модель формирования нефтегазового резервуара на основе концепции географического цикла // Изв. ТПУ. 2010. Т. 316, № 1. С. 52-57.

Бейзель А. Л., Ян П. А., Вакуленко Л. Г., Бурлева О. В. Основные черты импульсной модели формирования васюганского горизонта Западной Сибири // Литология и геология горючих ископаемых. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. Вып. I (17). С. 93-104.

Беленицкая Г. А. Опыт мелкомасштабного литогеодинамического районирования и картирования осадочного чехла территории России // Литосфера. 2007. № 5. С. 3-37.

Беленицкая Г. А. Расширенный вариант классификации типов седиментогенеза: инъекционно-осадочный класс // Литология и геология горючих ископаемых. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. Вып. I (17). С. 25-45.

Белозеров В. Б. Роль седиментационных моделей в электрофациальном анализе терригенных отложений // Известия ТПУ. 2011. Т. 319, № 1. С. 116-123.

Белозеров В. Б., Иванов И. А. Кинематическая модель осадконакопления отложений платформенного чехла Западно-Сибирской плиты // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 8. С. 781-795.

Белозеров В. Б., Иванов И. А., Резяпов Г. И. Верхнеюрские дельты Западной Сибири (на примере Вахского нефтяного месторождения) // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 11/12. С. 1888-1896.

Белоусов В. В. Основы геотектоники. М.: Недра, 1975. 264 с.

Бербенев М. О. Особенности строения и углеводородная продуктивность отложений покурской свиты на Русско-Часельском мегавале (Западная Сибирь) // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории: Матер. VII Всерос. литол. сов. Новосибирск: ИНГГ СО РАН. 2013. Т. 1. С. 85-89.

Бетти Э. Герменевтика как общая методология наук о духе: пер. с нем. М.: Канон + РООИ Реабилитация, 2011. 144 с.

Бижу-Дюваль Б. Седиментационная геология: пер. с англ. М.-Ижевск: ИКИ, 2012. 704 с.

Богданов А. А. Тектология. Всеобщая организационная наука. М.: Экономика, 1989. Кн. 1. 304 с.; Кн. 2. 351 с. (Первое издание в 3-х частях: 1913-1922 гг.)

Ботвинкина Л. Н. О трансгрессивных и регрессивных рядах фаций угленосных толщ // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1956. № 12. С. 46-52.

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

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

Ботвинкина Л. Н. Генетические типы отложений областей активного вулканизма. М.: Наука, 1976. 318 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 263).

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

Ботвинкина Л. Н., Македонов А. В., Любер А. А., Слатвинская Е. А. Типизация ландшафтов угленосных формаций // Угленосные формации и их генезис. М.: Наука, 1973. С. 31-41.

Бриллиант Л. С., Клочков А. А., Разуменко В. Е. и др. Повышение эффективности вовлечения в разработку слабодренируемых запасов нефти Самотлорского месторождения на основе геолого-геофизических моделей (на примере пласта $АВ_1^{1-2}$) // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО (Пятая науч.-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2002. Т. 2. С. 208-216.

Брод И. О., Еременко Н. А. Основы геологии нефти и газа. М.: Изд-во Московского ун-та, 1953. 340 с.

Брылина А. В., Ларичев А. И., Скачек К. Г., Качкин А. А. Прогноз зон распространения продуктивных ачимовских коллекторов с учетом фациальной зональности на территории северной части Сургутского свода // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры (Восемнадцатая науч.-практ. конф.). 2015. Т. 1. С. 193-201.

Буданов В. Г. Методология синергетики в постнеклассической науке и образовании. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 232 с.

Буш Д. А. Стратиграфические ловушки в песчаниках – методика исследований: пер. с англ. М.: Мир, 1977. 215 с.

Вакуленко Л. Г., Ян П. А. Седиментогенез нефтеносного горизонта $Ю_2$ и его значение при поисках и разведке залежей углеводородов // Известия ТПУ. 2010. Т. 316, № 1. С. 61-66.

Валяшко М. Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М.: Изд-во МГУ, 1962. 402 с.

Ван А. В., Казанский Ю. П. Вулканокластический материал в осадках и осадочных породах. Новосибирск: Наука, 1985. 127 с.

Варламов С. Н., Ухлова Г. Д. Косослоистая модель строения шельфовых пластов Нижневартовского свода // Сибнефтегеофизика. Методики. http: // www.sibngf.ru/Bazhen.html

Вассоевич Н. Б. Флиш и методика его изучения. Л., М.: Гостоптехиздат, 1948. 216 с.

Вассоевич Н. Б. Исходное вещество для нефти и газа // Происхождение нефти и газа и формирование их месторождений. М.: Недра, 1972. С. 39-70.

Вашкевич А. А. Баженовские вызовы // Сибирская нефть. № 4 (121). Май 2015. С. 36-41.

Вельдер С. Э. Верификация автоматических моделей на основе построения редуцированного графа переходов. СПб., 2006. 54 с.

Верзилин Н. Н. Методы палеогеографических исследований. Л.: Недра, 1979. 247 с.

Видик С. В., Скачек К. Г., Качкин А. А. Оценка влияния седиментационных и катагенетических факторов на коллекторские свойства пород на основе анализа статистических зависимостей (на примере юрско-меловых отложений Широтного Приобья) // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры (Восемнадцатая науч.-практ. конф.). 2015. Т. 1. С. 291-295.

Вистелиус А. Б. Красноцветные отложения полуострова Челекен. М.-Л.: Наука, 1966. 304 с.

Вистелиус А. Б. Основы математической геологии (определение предмета, изложение аппарата). Л.: Наука, 1980. 389 с.

Вишняков С. Г. Карбонатные породы и полевое исследование их пригодности для известкования почвы // Карбонатные породы Ленинградской области, Северного Края и Карельской АССР. М.-Л.: Госгоргеонефтеиздат, 1933. Вып. 2. С. 3-22.

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

Волков В. Н. Генетические основы морфологии угольных пластов. М.: Недра, 1973. 136 с.

Волков В. Н. Основы геологии горючих ископаемых: учебное пособие. СПб.: Изд-во С-Петерб. ун-та, 2005. 262 с.

Волохин Ю. Г. Мезозойское и мезокайнозойское кремненакопление в окраинных бассейнах востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2012. 434 с.

Вопросы метаморфизма углей и эпигенеза вмещающих пород. Л.: Наука, 1968. 329 с.

Воронин Ю. А., Еганов Э. А. Фации и формации. Парагенезис. Новосибирск: Наука. СО, 1972. 120 с. (Тр. ИГГ СО АН СССР. Вып. 146).

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

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

Высоцкий Б. П. Иоганнес Вальтер и его роль в развитии геологии. М.: Наука, 1965. 176 с.

Гайворонский И. Н., Леоненко Г. Н., Замахаев В. С. Коллекторы нефти и газа Западной Сибири. Их вскрытие и опробование. М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. 364 с.

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

Геологическая доразведка нефтяных месторождений Нижневартовского Приобья / В. Н. Нестеров, В. В. Харахинов, А. А. Семячков и др. М.: Научный мир, 2006. 192 с.

Геологический словарь. М.: Недра, 1973. Т. 1. 485 с.; Т. 2. 456 с.

Геологический словарь. В трех томах. Изд. третье, перераб. и доп. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. Т. 1. 2010. 432 с.; Т. 2. 2011. 480 с.; Т. 3. 2012. 440 с.

Геологическое моделирование прибрежно-морских отложений (на примере пласта $АВ_1$ ($АВ_1^{1+2}$ + $АВ_1^{3}$) Самотлорского месторождения) / под ред. К. Е. Закревского. Тюмень: Вектор Бук, 2017. 314 с.

Геологическое строение и нефтегазоносность нижней-средней юры Западно-Сибирской провинции. Новосибирск: Наука, 2005. 156 с.

Геология и геохимия нефти и газа: учебник. М.: Изд-во МГУ, 2004. 415 с.

Геология и математика. Новосибирск: Наука, 1967. 253 с.

Геология и нефтегазоносность ачимовской толщи Западной Сибири /А. А. Нежданов, В. А. Пономарев, Н. А. Туренков, С. А. Горбунов. ЗАО «Изд-во АГН», 2000. 246 с.

Гилева В. Н., Ульянова А. В., Тарасов С. Л. Литологические особенности пород на контакте с абалакской свитой на примере Красноленинского нефтегазоконденсатного месторождения // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVIII Межд. симп. им. акад. М. А. Усова. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. Т. 1. С. 266-268.

Гладенков Ю. Б. Биосферная стратиграфия (проблемы стратиграфии начала XXI века). М.: ГЕОС, 2004. 120 с. (Труды ГИН РАН; Вып. 551).

Глазьев С. Ю. Уроки современной революции: крах либеральной утопии и шанс на «экономическое чудо». М.: Изд. дом «Экономическая газета», 2011. 575 с.

Глебов А.Ф. Геолого-математическое моделирование нефтяного резервуара: от сейсмики до геофлюидодинамики. М.: Научный мир, 2006. 344 с.

Гогоненков Г. Н., Тимурзиев А. И., Эльманович С. С. и др. Количественные оценки систем сдвиговых дислокаций в Западной Сибири // Геология и геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2010. № 3. С. 4-11.

Голицын М. В., Голицын А. М., Пронина Н. В. и др. Газоугольные бассейны России и мира. М., 2002. 250 с.

Головкинский Н. А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна. СПб., 1868. 143 с. См. также: Литология и геология горючих ископаемых. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. Прилож. к вып. III (19). С. 24-183 (репринтное воспроизведение).

Гончаров М. А., Талицкий В. Г., Фролова Н. С. Введение в тектонофизику. М.: КДУ, 2005. 496 с.

Горяинов П. М., Иванюк Г. Ю. Самоорганизация минеральных систем. Синергетические принципы геологических исследований. М.: ГЕОС, 2001. 312 с.

Грабовская Ф. Р. Строение и условия формирования берриас-валанжинских отложений северо-восточной части Среднеобской области Западной Сибири: автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. Сыктывкар, 2013. 17 с.

Граувакки / Ред. В. Д. Шутов. М.: Наука, 1972. 345 с.

Гришкевич В. Ф., Гатина Н. Н., Долматова С. С. и др. О следах раскола островов протобаженита на седиментационном палеосклоне // Литосфера. 2017. Т. 17, № 4. С. 48-61.

Груза В. В., Ткачев Ю. Р. Состояние и пути совершенствования теоретической геологии // Методы теоретической геологии. М.: Недра, 1978. С. 8-23.

Гумилев Л. Н. От Руси к России: очерки этнической истории. М.: Экопрос, 1992. 335 с.

Гурари Ф. Г. Строение и условия образования клиноформ Западно-Сибирской плиты (история становления представлений). Новосибирск: СНИИГГ иМС, 2003. 141 с.

Даненберг Е. Е., Белозеров В. Б., Брылина Н. А. Геологическое строение и нефтегазоносность верхнеюрско-нижнемеловых отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты. Томск: ТПУ, 2006. 291 с.

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

Девятов В. П., Никитенко Б. Л., Шурыгин Б. Н. Палеогеография Западной Сибири в юрском периоде на этапах основных перестроек // Новости палеонтологии и стратиграфии. 2011. Вып. 16-17. С. 87-101 (Прил. к журналу «Геология и геофизика». Т. 52).

Дельты – модели для изучения: пер. с англ. М.: Недра, 1979. 232 с.

Денисов С. Б., Бирун Е. М., Рудая С. В., Ставинский П. В. Повышение разрешающей способности и достоверности геологических моделей при комплексировании данных сейсморазведки и ГИС // Геофизика-2005. № 3. С. 13-18.

Дмитриевский А. Н., Белонин М. Д. Перспектива освоения нефтегазовых ресурсов Российского шельфа // Природа. 2004. № 9. С. 6-15.

Дойч К. В. Геостатистическое моделирование коллекторов: пер. с англ. М.-Ижевск: ИКИ, 2011. 400 с.

Докинз Р. Эгоистичный ген: пер. с англ. М.: Мир, 1993. 318 с.

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

Драгунов В. И., Айнемер А. И., Васильев В. И. Основы анализа осадочных формаций. Л.: Недра, 1974. 159 с.

Дюбрюль О. Геостатистика в нефтяной геологии: пер. с англ. М.-Ижевск: ИКИ, 2009. 256 с.

Дядин Ю. А., Гущин А. Л. Газовые гидраты // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 3. С. 55-64.

Евсюков В. Г., Комарницкий В. М., Бружес Л. Н., Гордин А. И. Особенности состава и строения разреза юрских и триасовых отложений северной части Тевлинско-Русскинского месторождения // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО (Пятая науч.-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2002. С. 268-277.

Егоров Д. Г. Изменение парадигм в современных науках о Земле. М.: Academia, 2004. 184 с.

Ершов С. В., Зверев К. В., Казаненков В. А., Карогодин Ю. Н. Седиментация в раннемеловом бассейне Западной Сибири и ее влияние на нефтегазоносность // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 11-12. С. 1908-1917.

Жамойда А. И. Эскиз структуры и содержания теоретической стратиграфии. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. 196 с. (Труды. Новая серия. Т. 352).

Жбаков В. А., Петров А. В., Лапердин А. Н. и др. Методика определения коэффициентов пористости и газонасыщенности коллекторов сеномана месторождений Тюменской области // Вестник недропользователя ХМАО. 2005. № 16.

Жижченко Б. П. Методы палеогеографических реконструкций в нефтегазоносных областях. М.: Недра, 1974. 376 с.

Западная Сибирь // Геология и полезные ископаемые России. Т. 2. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 477 с.

Западно-Сибирский угольный бассейн / А. З. Юзвицкий и др. Угольная база России. Т. III. М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. С. 515-559.

Захаров В. А. Условия формирования волжско-берриасской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии // Эволюция биосферы и биоразнообразия. М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. С. 552-568.

Зверев К. В., Казаненков В. А. Седиментогенез отложений ачимовской толщи Северного Приобья // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 4. С. 617-630.

Зенков Д. А. Морфологический анализ оруденения с точки зрения разведки // Мат-лы по методике разведки полезных ископаемых. М.: Госгеолтехиздат, 1962. С. 97-104.

Зорина С. О. Среднеюрские и палеоценовые осадочные последовательности востока Русской плиты (тектоно-эвстатический и литолого-генетический аспекты формирования полезных ископаемых): автореф. дис. … д-ра геол.-минерал. наук. Казань, 2011. 44 с.

Зорина С. О. Комплексирование стратиграфических и геологических данных. Казань, 2015. 42 с.

Зорина С. О., Жабин А. В. Основные направления и уровни секвенс-стратиграфических исследований в России и за рубежом // Вестник ВГУ. Сер. Геология. 2010. № 2. С. 83-93.

Зубков М. Ю., Ишков А. А. Оценка линейных геологических запасов углеводородов в тонкослоистых разрезах по данным микропрофилирования // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО-Югры (Девятнадцатая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2016. Т. 1. С. 289-302.

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

Иванов К. С., Коротеев В. А., Печеркин М. Ф. и др. История геологического развития и строение фундамента западной части Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 4. С. 484-501.

Иванов К. С., Писецкий В. Б., Ерохин Ю. В. и др. Геологическое строение и флюидодинамика фундамента Западной Сибири (на востоке ХМАО). Екатеринбург: ИГГ УрО АН, 2016. 242 с.

Иванов М. К., Бурлин Ю. К., Калмыков Г. А. и др. Петрофизические методы исследования кернового материала. (Терригенные отложения): учебное пособие в 2-х книгах. Кн. 1. М.: Изд-во МГУ, 2008. 102 с.

Иванюк Г. Ю., Горяинов П. М. и др. Самоорганизация рудных комплексов. Синергетические принципы прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых. М.: ГЕОКАРТ-ГЕОС, 2009. 392 с.

Ильин В. Д. и др. Локальный прогноз нефтегазоносности на основе анализа строения ловушек в трехслойном резервуаре: метод. рекомендации. М.: ВНИГНИ, 1982. 52 с.

Иностранцев А. А. Геологические исследования на севере России в 1869 и 1870 гг. СПб., 1872. 179 с.

Иностранцев А. А. Геология. Т. 1. СПб., 1885. 494 с.

Исаев Г. Д. Основы биоседиментологии и региональный фациальный анализ. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2006. 133 с.

Ископаемые растения // Биологический энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1986. С. 235-236.

Казаненков В. А., Ершов С. В., Рыжкова С. В. и др. Геологическое строение и нефтегазоносность региональных резервуаров юры и мела в Карско-Ямальском регионе и прогноз распределения в них углеводородов // Геология нефти и газа. 2014. № 1. С. 27-49.

Каледа Г. А. К изучению закономерностей изменчивости состава пород на тектонических структурах платформенных областей // Литология и стратиграфия палеозойских и мезозойских отложений Русской и Скифской платформ. М.: Наука, 1972. С. 158-172.

Каледа Г. А. Изменчивость отложений на тектонических структурах (ее значение для поисков полезных ископаемых). М.: Наука, 1985. 192 с.

Калинко М. К. Методика исследований коллекторских свойств кернов. М.: Гостоптехиздат, 1963. 225 с.

Каналин В. Г., Вагин С. Б., Токарев М. А. и др. Нефтегазопромысловая геология и гидрогеология. М.: ООО «Недра–Бизнесцентр», 2006. 372 с.

Каптерев А. Мастерство презентации. Как создавать презентации, которые могут изменить мир. М.: Манн, Иванов и Фербер, Эксмо, 2014. 336 с.

Карогодин Ю. Н. Системная модель стратиграфии нефтегазоносных бассейнов Евразии. Т. 1. Мел Западной Сибири. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2006. 166 с.

Кислухин И. В. Особенности геологического строения и нефтегазоносности юрско-неокомских отложений полуострова Ямал: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Тюмень, 2009. 17 с.

Клещев К. А., Шеин В. С. Перспективы нефтегазоносности фундамента Западной Сибири. М.: ВНИГНИ, 2004. 214 с.

Князева Е. Н. Илья Пригожин – физик и философ // Наука и жизнь. 2002. № 11.

Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Основания синергетики. Синергетическое мировидение. М.: КомКнига, 2005. 240 с.

Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Основания синергетики. Человек, конструирующий себя и свое будущее. М.: КомКнига, 2006. 232 с.

Количественная стратиграфическая корреляция: пер. с англ. М.: Мир, 1985. 376 с.

Конторович А. Э. Очерки теории нафтидогенеза: Избранные статьи. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. 545 с.

Конторович А. Э., Богородская Л. И., Голышев С. И. Распределение стабильных изотопов углерода в седикахитах различной генетической природы // Геология и геофизика. 1985а. № 7. С. 3-11.

Конторович А. Э., Богородская Л. И., Голышев С. И. Закономерности фракционирования изотопов углерода в седикахитах // Геология и геофизика. 1985б. № 9. С. 34-42.

Конторович А. Э., Вакуленко Л. Г., Казаненков В. А. и др. Седиментогенез коллекторов среднего-верхнего бата и их нефтеносность в Широтном Приобье // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 2. С. 187-200.

Конторович А. Э., Верховская Н. А., Тимошина Н. Д., Фомичев А. С. Изотопный состав углерода рассеянного органического вещества и битумоидов и некоторые спорные вопросы теории образования нефти // Геология и геофизика. 1986. № 5. С. 3-19.

Конторович А. Э., Ершов С. В., Казаненков В. А. и др. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 5-6. С. 745-776.

Конторович А. Э., Конторович В. А., Рыжкова С. В. и др. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 8. С. 972-1012.

Конторович В. А., Беляев С. Ю., Конторович А. Э. и др. Тектоническое строение и история развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 11-12. С. 1832-1845.

Конюхов А. И. Окраины материков: Обстановка осадконакопления, геоформации, эволюция в мезозое и кайнозое: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 1982. 52 с.

Королев В. А. Объекты геологической среды как термодинамические инженерно-геологические системы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1994. № 2. С. 48-57.

Короновский Н. В., Брянцева Г. В. Общая геология в рисунках и фотографиях: учебно-методическое пособие. М.: ГЕОКАРТ-ГЕОС, 2011. 398 с.

Коротеев В. А., Дианова Т. В., Кориневский В. Г. Вулканические фации Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. 205 с.

Кос И. М., Белкин Н. М., Курышева Н. К. Сейсмогеологическое строение доюрских образований Рогожниковского лицензионного участка // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО (Седьмая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2004. Т. 2. С. 153-163.

Коссовская А. Г. Генетические типы цеолитов стратифицированных формаций // Литология и полезные ископаемые. 1975. № 2. С. 23-44.

Костенко Н. П. Четвертичные отложения горных стран. М.: Недра, 1975. 216 с.

Костицын Ю. А. Накопление редких элементов в гранитах // Природа. 2000. № 2. С. 26-34.

Косыгин Ю. А. Основы тектоники. М.: Недра, 1974. 216 с.

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

Котельников Д. Д., Конюхов А. И. Глинистые минералы осадочных пород. М.: Недра, 1986. 247 с.

Кошовкин И. Н., Белозеров В. Б. Отображение неоднородностей терригенных коллекторов при построении геологических моделей нефтяных месторождений // Известия ТПУ. 2007. Т. 310, № 2. С. 26-32.

Крамбейн У., Кауфман М., Мак-Кеммон Р. Модели геологических процессов: пер. с англ. М.: Мир, 1973. 150 с.

Кропачев Н. М., Скачек К. Г. Реконструкции литолого-фациальных моделей горизонта $Ю_1$ васюганской свиты по данным сейсморазведки и бурения. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 187 с.

Кудаманов А. И., Потапова А. С., Королев Е. С. Особенности седиментации пограничных отложений «баррем- аптского» возраста Самотлорского месторождения // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории: Мат-лы VII Всерос. литол. сов. Новосибирск, 2013. С. 113-117.

Кузнецов В. Г. Фации и фациальный анализ в нефтегазовой геологии: учебник для вузов. М.: РГУНГ, 2012. 244 с.

Кузнецов В. Г. Литология vs седиментология – причины несовпадения терминов русскоязычной и англоязычной литературы // Труды РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. 2013. № 2 (271). С. 23-32.

Кукал Зд. Скорость геологических процессов: пер. с чешск. М.: Мир, 1987. 246 с.

Кулагина С. Ф., Баянов И. А., Мырзак Е. Г. Сейсмогеологические аспекты выделения зон аномальных разрезов баженовской свиты на территории ХМАО-Югры // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО-Югры (Двадцатая науч.-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2017. Т. 1. С. 195-209.

Кулямин В. В. Методы верификации программного обеспечения. М.: Институт системного программирования РАН, 2008. 117 с. (http: //www.ict.edu.ru/ft/005645 /62322e1-st09.pdf)

Кун Т. Структура научных революций: пер. с англ. М.: Прогресс, 1977. 300 с.

Кунин Н. Я., Сафонов В. С., Луценко Б. Н. Основы стратегии поисков месторождений нефти и газа (на примере Западной Сибири). М.: ОИФЗ РАН. 1995. Ч. 1. 132 с.

Курышева Н. К. Прогнозирование, картирование залежей нефти и газа в верхней части доюрского комплекса по сейсмогеологическим данным в Шаимском нефтегазоносном районе и на прилегающих участках: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Тюмень, 2005. 22 с.

Лазарев Д. В. Презентация: Лучше один раз увидеть. М.: Альбина Палишел, 2011. 142 с.

Лебедев М. В. Фациальные несогласия в осадочных бассейнах // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2006. № 10. С. 62-68.

Лебедев М. В. Уточнение формулировки закона Головкинского-Вальтера // Отечественная геология. 2015. № 3. С. 62-69.

Леворсен А. И. Геология нефти и газа. М.: Мир, 1970. 640 с.

Лидер М. Седиментология. Процессы и продукты: пер. с англ. М.: Мир, 1986. 439 с.

Лисицын А. П. Лавинная седиментация и перерывы в осадконакоплении в морях и океанах. М.: Наука, 1988. 309 с.

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

Литогеодинамика и минерагения осадочных бассейнов. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. 480 с.

Литолого-петрографические критерии нефтегазоносности. М.: Наука, 1990. 270 с.

Лифанов В. А. Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности нижнеюрских базальных горизонтов юго-востока Западной Сибири // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры (Пятнадцатая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2012. Т. 1. С. 252-257.

Лобова Г. А., Пракойе Ф. С., Ахметов Е. М., Исаева О. С. Оценка нефтегазоносности доюрских резервуаров Усть-Тымской мегавпадины (с использованием данных геотермии и бурения) // Известия ТПУ. 2015. Т. 326, № 4. С. 67-80.

Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород с основами методики исследования. М.: Высшая школа, 1984. 414 с.

Логвиненко Н. В., Сергеева Э. И. Методы определения осадочных пород. М.: Недра, 1986. 240 с.

Ломтадзе В. Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л.: Недра, 1990. 327 с.

Майнцер К. Сложносистемное мышление: Материя, разум, человечество. Новый синтез: пер. с англ. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 464 с.

Македонов А. В. Методы литофациального анализа и типизация осадков гумидных зон. Л.: Недра, 1984. 243 с.

Максимов Е. М. Литология природных резервуаров нефти и газа. М.: Центр-ЛитНефтьГаз, 2008. 432 с.

Максимов Е. М. Тектоника и геологические формации Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. 370 с.

Максимов Е. М. Нефтегазовая литология. Тюмень: ТИУ, 2016. 353 с.

Малинецкий Г. Г. Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. М.: КомКнига, 2005. 312 с.

Малярова Т. Н. Сейсмофациальный анализ как универсальное средство понимания строения резервуара // Технологии сейсморазведки. 2007. № 2. С. 79-87.

Маргулис Л. С. Секвенсная стратиграфия в изучении строения осадочных чехлов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008 (3). 26 с. (http: //www.ngtp.ru/2/37_2008)

Марченко Е. А., Шилова Ю. В. Использование геолого-статистического анализа для прогноза фациальной характеристики разреза // Нефтяное хозяйство. 2010. № 2. С. 30-33.

Масленников В. В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.

Маслов А. В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 289 с.

Маслов А. В., Крупенин М. Т., Ронкин Ю. Л. и др. Тонкозернистые алюмосиликокластические образования стратотипического разреза среднего рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 4. С. 414-441.

Медведев А. Л. Аптские врезанные речные долины Каменной площади Западной Сибири: региональные аспекты нефтегазоносности // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2010. Т. 5, № 3. 27 с. ((http://www.ngtp.ru/rub/4/ 36_2010.pdf)

Методика литолого-фациальных исследований угленосных отложений (на примере изучения триас-юрских угленосных формаций азиатской части СССР): Препринт. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. 63 с.

Методические рекомендации к корреляции разрезов скважин. М.: ООО «Издательский дом Недра», 2013. 112 с.

Методы корреляции угленосных толщ и синонимики угольных пластов. Л.: Наука, 1968. 381 с.

Методы палеогеографических реконструкций (при поисках залежей нефти и газа). Л.: Недра, 1984. 271 с.

Методы палеогеографических реконструкций: методическое пособие. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2010. 430 с.

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

Микулаш Р., Дронов А. Палеоихнология – введение в изучение ископаемых следов жизнедеятельности. Прага: Геол. ин-т Ак. наук Чешской Респ., 2006. 122 с.

Мильнер Г. Б. Петрография осадочных пород: пер. с англ. М.: Недра, 1968. Т. 1. 500 с. Т. 2. 666 с. (1-е издание – Л.: Госгеонефтеиздат, 1934. 409 с.)

Минский Н. А. Закономерности формирования поясов оптимальных коллекторов. М.: Недра, 1979. 297 с.

Минский Н. А. Литофизическая зональность осадочного чехла платформ и ее влияние на распределение месторождений нефти, газа и гидротермальных руд. М.: ГЕОС, 2007. 148 с.

Михайлов В. Н., Волков Ю. А. О возможности применения математических методов в геологии при проведении фациального анализа // Нефть. Газ. Новации. 2013. № 1 (168). С. 28-35.

Мурдмаа И. О. Фации океанов. М.: Наука, 1987. 303 с.

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

Мухер А. Г., Тугарева А. В. Палеогеографические особенности строения и перспективы нефтегазоносности нижне- и среднеюрских отложений Западной Си-

бири // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО (Вторая науч.-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 1999. С. 123-133.

Мэрфи Д. Д. Технический анализ фьючерсных рынков: теория и практика: пер. с англ. М.: Сокол, 1996. 592 с.

Найдин Д. П. Перерывы и стратиграфия // Бюл. МОИП. отд. геол. 1987. Т. 62. Вып. 6. С. 69-74.

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

Наливкин Д. В. Учение о фациях. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1956. Т. 1. 534 с; Т. 2. 393 с.

Наумов В. А. Оптическое определение компонентов осадочных пород. М.: Недра, 1989. 347 с.

Недропользование в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2011 году. Тюмень – Ханты-Мансийск, 2012. 218 с.

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

Нежданов А. А., Огибенин В. В. Материалы к региональной стратиграфической схеме нижней-средней юры Западной Сибири // Биостратиграфия мезозоя Западной Сибири. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1987. С. 17-27.

Нестеров И. И., Рыльков А. В., Шпильман В. И. и др. Системный анализ при обосновании поисков месторождений нефти и газа // 27-й МГК. Т. 2. Энергетические ресурсы мира. Коллоквиум 02. М.: Наука, 1984. С. 60-73.

Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Вып. 2: Западно-Сибирский бассейн. Новосибирск, 1994. 201 с.

Нефть и газ низкопроницаемых сланцевых толщ – резерв сырьевой базы углеводородов России. СПб.: ВНИГРИ, 2014. 323 с.

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

Оддс Г. Наука в основе визуализации данных // infographer.ru/nauka-v-osnove-vizualizacii-dannyh/14.01.2014

Окнова Н. С., Трушкова Л. Я. Жарков А. М. и др. Проблема поисков залежей нефти и газа в неантиклинальных ловушках на рубеже веков // Нефтегазовая геология на рубеже веков. СПб., 1999. Т. 1. С. 207-216.

Осадочные породы (сравнительная седиментология). Новосибирск: Наука, 1994. 200 с.

Осипов В. И., Соколов В. Н., Еремеев В. В. Глинистые покрышки нефтяных и газовых месторождений. М.: Наука, 2001. 238 с.

Основные закономерности строения и образования угленосных формаций и методы прогноза угленосности. Л.: Недра, 1985. 255 с. (Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер. Т. 313).

Островская Е. А. Погоня за «быстрым спасением» // ReligioPolis. 07.07.2014 (www.religiopolis.org).

Павлидис Ю. А., Никифоров С. Л. Обстановки морфолитогенеза в прибрежной зоне Мирового океана. М.: Наука, 2007. 455 с.

Перевертайло Т. Г. Литология, условия формирования и коллекторские свойства нижнемеловых отложений Усть-Тымского нефтегазоносного района: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Новосибирск, 2011. 24 с.

Петтиджон Ф. Дж. Осадочные породы: пер. с. англ. М.: Недра, 1981. 751 с.

Петтиджон Ф. Дж., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники: пер. с. англ. М.: Мир, 1976. 534 с.

Писецкий В. Б. Прогноз флюидодинамических параметров нефтегазоносных бассейнов по сейсмическим данным: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Тюмень, 2005. 47 с.

Писецкий В. Б., Рещиков Д. Г., Змановская О. И. Оценка перспектив нефтегазоносности восточных районов ХМАО на основе анализа региональных особенностей геодинамического состояния земной коры // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры (Одиннадцатая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2008. Т. 1. С.140-150.

Поднебесных А. В., Овчинников В. П. Проблемы диагностики цеолитов и влияние их наличия на разработку продуктивных отложений Мессояхской группы месторождений // Известия ТПУ. 2014. Т. 324, № 1. С. 137-145.

Позаментьер Г. В., Аллен Дж. П. Секвенсная стратиграфия терригенных отложений. Основные принципы и применение: пер. с англ. М.-Ижевск: ИКИ, 2014. 436 с.

Познанин В. Л. Пространственная дифференциация геологической среды – основа единой системы экзогенных геологических процессов // Пространство и время. 2012. № 3(9). С. 184-192.

Покровский М. П. Введение в классиологию. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2014. 484 с.

Полынов Б. Б. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 751 с.

Поляков А. А. Системный подход к анализу и снижению риска при поисках и разведке месторождений нефти и газа. М.-Ижевск: ИКИ, 2017. 116 с.

Попов В. И, Запрометов В. Ю., Филиппов А. А. Теплоклиматические динамические фации континентальной ступени. Ташкент: Фан, 1989. 216 с.

Попов В. И., Макарова С. Д., Филиппов А. А. Руководство по определению осадочных фациальных комплексов и методика фациального палеогеографического картирования. Л.: Гостоптехиздат, 1963. 714 с.

Попов Ю. В., Пустовит О. Е. Общая геология: учебное пособие к разделу «Континентальные склоновые процессы и отложения». М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. 48 с.

Поппер К. Логика и рост научного знания. Избранные работы: пер. с англ. М.: Прогресс, 1983. 605 с.

Поротов Г. С. Математические методы моделирования в геологии: учебник. СПб.: Изд-во СПбГГИ (ТУ), 2006. 223 с.

Порядок отбора, привязки, хранения, движения и комплексного исследования кернов и грунтов нефтегазовых скважин. РД 39-0147716-505-85 (утв. Миннефтепромом СССР 20.11.1985).

Предтеченская Е. А., Кроль Л. А., Гурари Ф. Г. и др. О генезисе карбонатов в составе баженовской свиты центральных и юго-восточных районов Западно-Сибирской плиты // Литосфера. 2006. № 4. С. 131-148.

Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени: пер. с англ. М.: Едиториал УРСС, 2003. 240 с.

Прозоровский В. А. Начала стратиграфии. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. 228 с.

Птецов Р. С., Виниченко О. С., Твердохлебов Д. Н. 3D-сейсмофациальный анализ как инструмент для уточнения границ распространения песчаных коллекторов // Технологии сейсморазведки. 2008. № 1. С. 55-59.

Пустовалов Л. В. Петрография осадочных пород. М.-Л.: Гостоптехиздат, 1940. Ч. 1. 476 с.; Ч. 2. 420 с.; Ч. 3. 66 с.

Пустовалов Л. В. О состоянии и основных направлениях дальнейшего развития геологической науки // Сов. геология. 1964. № 8. С. 3-35.

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

Рекомендации к методике построения геологических моделей при подсчете запасов углеводородного сырья. М.: ФБУ «ГКЗ», 2014. 100 с.

Решение Совещания по осадочным породам. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 32 с.

Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири. (г. Новосибирск, 2003 г.) Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. 114 с. прил. 3 на 31 листе.

Риле Е. Б., Валиева Д. И. Разрывные нарушения и ловушки углеводородов в трехслойных природных резервуарах // Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России до 2030 г. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2012. С. 34-40.

Риле Е. Б., Коновалова И. Н., Новикова О. В. О термине «природный резервуар» // Актуальные проблемы нефти и газа. 2016. № 3 (15). 18 стр. www.oilgasjournal.ru/issue_15rile.html.

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

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

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

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

Романовский С. И. Великие геологические открытия. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2005. 224 с.

Ронов А. Б. Осадочная оболочка Земли (количественные закономерности строения, состава и эволюции). М.: Наука, 1980. 79 с.

Савко А. Д., Бугельский Ю. Ю., Новиков В. М. и др. Коры выветривания и связанные с ними полезные ископаемые. Воронеж: Истоки, 2007. 355 с.

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

Салин Ю. С. Стратиграфическая корреляция М.: Недра, 1983. 157 с.

Свиточ А. А., Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Палеогеография: учебник. М.: Изд. центр «Академия», 2004. 448 с.

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

Седиментогенез и геохимия нижне-среднеюрских отложений юго-востока Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1999. 213 с.

Седиментология: пер. с пол. М.: Недра, 1976. 646 с.

Сейсмическая стратиграфия – использование при поисках и разведке нефти и газа: пер. с англ. / под ред. Ч. Пейтона. М.: Мир, 1982. 846 с.

Сейсмогеологический прогноз и картирование неантиклинальных ловушек нефти и газа в Западной Сибири / А. А. Нежданов, В. В. Огибенин, А. Н. Бабурин и др. М.: МГП «Геоинформмарк», 1992. Ч. 1. 99 с.; Ч. 2. 101 с.

Селли Р. Введение в седиментологию: пер. с англ. М.: Недра, 1981. 370 с.

Серков В. А., Алексеев В. П., Кузьмина Т. М., Пироженко В. А. Нейросетевые технологии анализа геолого-геофизических данных // Литология и геология горючих ископаемых. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. Вып. II (18). С. 231-239.

Серра О. Восстановление условий осадконакопления по данным геофизических исследований скважин (Перевод книги O. Serra. Sedimentary environments from wireline logs. Schlumberger Limited. 1985. 211 p.)

Сидоренков А. И. Опыт и методика применения конкреционного анализа для прогнозирования литологических ловушек углеводородов // Атлас конкреций. Л.: Недра, 1988. С. 164-167.

Силантьев В. В., Зорина С. О. Основы стратиграфии: учебное пособие. ч. 1. Лекции. Казань: Казанский гос. ун-т, 2009. 81 с.

Скачек К. Г., Суполкина И. В., Пантелейко И. А. Особенности формирования фациального строения неокомских отложений (на примере группы пластов $БС_{10}^{2}$ северной части Сургутского свода) // Георесурсы. 2011. № 3(19). С. 27-31.

Смирнов А. Н. Использование метода микропрофилирования керна для определения фильтрационно-емкостных свойств высоконеоднородных геологических разрезов на примере пластов $ЮС_2$, $ЮС_5$ // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры (Девятнадцатая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2016. Т. 1. С. 282-288.

Соколов Б. А. Автоколебательная модель нефтеобразования // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 1990. № 5. С. 3-16.

Соколов Б. С. Геологическое или палеонтологическое время в стратиграфии // Эволюция органического мира и биотические кризисы: Матер. LVI сессии ВПО СПб., 2010. С. 3-7.

Сорокина А. В., Мальшиков А. В., Зарай Е. А. Актуальные проблемы при определении подсчетных параметров текстурно-неоднородных микрослоистых коллекторов (на примере Красноленинского месторождения) // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры (Девятнадцатая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2016. Т. 1. С. 207-218.

Сорохтин Н. О., Козлов Н. Е., Куликов Н. В. и др. Эволюция северо-западной части Тимано-Варангерского нефтегазоносного бассейна // Вестник Кольского НЦ РАН. 2011. № 3. С. 4-21.

Состав, строение и условия формирования коллекторов группы ВК восточной части Красноленинского нефтяного месторождения (Западная Сибирь). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 325 с.

Справочник по литологии. М.: Недра, 1983. 509 с.

Старосельцев В. С. Трансрегиональные линеаменты и движения плит // Разведка и охрана недр. 2007. № 8. С. 15-20.

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

Стёпин В. С. Теоретическое знание. М.: Прогресс-Традиция, 2000. 743 с.

Стратиграфические и литологические залежи нефти и газа /под ред. Р. Е. Кинга: пер. с англ. М.: Недра, 1975. 470 с.

Стратиграфический кодекс России. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. 96 с.

Страхов Н. М. О «фациальном профиле» гипергенных железных руд и его изменении в истории Земли // Сов. геология. 1941. № 5. С. 7-23.

Страхов Н. М. О периодичности и необратимой эволюции осадкообразования в истории Земли // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1949. № 6. С. 70-111.

Страхов Н. М. К вопросу об общей теории осадочного процесса // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1950. № 4. С. 103-146.

Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР. Т. 1. 1960. 212 с.; Т. 2. 1960. 74 с.; Т. 3. 1962. 550 с.

Стрижнев К. В., Черевко М. А., Жуков В. В. и др. Породы-коллекторы в разрезе баженовского горизонта Пальяновской площади Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. 2014. № 12. С. 45-47.

Строение и корреляция отложений тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. 227 с.

Ступакова А. В. Виртуальные и реальные литологические модели. Их роль в процессе формирования залежей нефти и газа // https: // istina.msu.ru/media /publications /... /Stupakova_A.V.

Ступакова А. В., Стафеев А. Н., Суслова А. А., Гилаев Р. М. Палеогеографические условия в Западно-Сибирском бассейне в титоне – раннем берриасе // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2016. № 6. С. 10-19.

Суворов В. В. Самоорганизация – физический процесс, непсихический интеллект или эмерджентная экспликация? // Искусственный интеллект. 2001. № 1. С. 118-129.

Сынгаевский П. Е., Хафизов С. Ф. Формация коры выветривания в осадочном цикле Западно-Сибирского бассейна // Геология нефти и газа. 1999. № 11-12. С. 22-30.

Сынгаевский П. Е., Хафизов С. Ф., Шиманский В. В. Глубоководные конусы выноса и турбидиты. Модели, циклостратиграфия и применение расширенного комплекса ГИС. М.-Ижевск: ИКИ, 2015. 480 с.

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

Тейлор С. Р., Мак-Леннан С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция: пер с англ. М.: Мир, 1988. 384 с.

Тейяр де Шарден П. Феномен человека: пер. с англ. М.: Прогресс, 1965. 296 с.

Тектоническая карта мезозойско-кайнозойского ортоплатформенного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы /под ред. И. И. Нестерова. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1990.

Тектоническая карта центральной части Западно-Сибирской плиты. М-б 1 : 1 000 000 /под ред. В. И. Шпильмана, Н. И. Змановского, Л. Л. Подсосовой. 1998.

Тёркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика: Геологические приложения физики сплошных сред: пер. с англ. М.: Мир, 1985. Ч. 1. 374 с.; Ч. 2. 360 с.

Термический анализ минералов и горных пород. Л.: Недра, 1974. 399 с.

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

Тимофеев П. П. Аспекты развития учения об осадочных формациях (к теории формационного анализа) // Литология и полезные ископаемые. 1984. № 6. С. 3-22.

Тимофеев П. П. Эволюция угленосных формаций в истории Земли. М.: Наука, 2006. 204 с. (Труды ГИН РАН. Вып. 557).

Тимурзиев А. И. Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты (в связи с нефтегазоносностью): автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2009. 40 с.

Трофимова Е. Н., Алексеева Е. В., Усманов И. Ш. и др. Макроизучение керна. К вопросу о формировании аномальных разрезов баженовской свиты и клиноформного строения неокомского комплекса // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры (Одиннадцатая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2008. Т. 1. С. 240-259.

Трофимова Е. Н., Алексеева Е. В., Быкова О. А. и др. Методика проявления структурно-текстурных особенностей горных пород с макроскопически скрытым, неконтрастным или слабовыраженным рисунком. Результаты применения методики // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры (Пятнадцатая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2012. Т. 2. С. 147-155.

Трофимова Е. Н., Алексеева Е. В., Быкова О. А. и др. Корректное литологическое изучение керна – путь к правильному пониманию геологии и нефтеносности месторождений нефти и газа // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры (Шестнадцатая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2013. Т. 2. С. 130-142.

Трофимова Е. Н., Артюшкина Е. В. Выявление элементов сдвига в колонке керна и изучение сдвиговых деформаций горных пород на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз» // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры (Двадцатая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2017. Т. 2. С. 246-268.

Трофимова Е. Н., Артюшкина Е. В., Быкова О. А и др. О деформациях горных пород (по материалам изучения керна на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз») // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры (Двадцатая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2017. Т. 2. С. 269-296.

Угленасыщенность, петрографический состав и метаморфизм углей тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 158 с.

Угленосные формации и петрология углей. Л., 1985. 139 с. (Тр. ВСЕГЕИ. нов. сер. Т. 332).

Уилсон Дж. Л. Карбонатные фации в геологической истории: пер. с англ. М.: Мир, 1980. 463 с.

Управление риском. Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. М.: Наука, 2000. 431 с.

Усманов И. Ш. Новые технологии исследования полноразмерного керна // Нефтяное хозяйство. 2002. № 8. С. 52-55.

Усманов И. Ш. Совершенствование организации исследования керна – основа оптимизации изучения нефтеносности осадочных бассейнов и повышения эффективности геологоразведочных работ // Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири. Тюмень, 2006. С. 153-158.

Усманов И. Ш., Трофимова Е. Н., Карлов А. М. Особенности строения нефтеносных толщ западных участков Сургутского района, новые методы их изучения // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО (Пятая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2002. Т. 1. С. 260-267.

Успенский В. А., Радченко О. А., Глебовская Е. А. и др. Основные пути преобразования битумов в природе и вопросы их классификации. Л.: Гостоптехиздат, 1961. 318 с. (Тр. ВНИГРИ. Вып. 185).

Уэллер Дж. М. Уплотнение осадков // Проблемы нефтяной геологии в освещении зарубежных ученых. М.: Гостоптехиздат, 1961. С. 84-137.

Фациальные типы глинистых пород (и их первичные литологические особенности). Л.: Недра, 1973. 288 с.

Федоров Ю. Н. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности области сочленения Приполярного Урала и Западно-Сибирского мегабассейна: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург, 2004. 28 с.

Федоров Ю. Н., Иванов К. С., Кормильцев В. В. и др. Основные черты строения и развития доюрского основания западной части ХМАО // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО (Девятая научно-практ. конференция). Ханты-Мансийск, 2006. Т. 1. С. 122-132.

Филиппов Б. В. Типы природных резервуаров нефти и газа. Л.: Недра, 1967. 124 с.

Флоренский П. В. Перерывы и формации // Бюл. МОИП, отд. геол. 1987. Т. 62. Вып. 6. С. 65-68.

Флоровская В. Н. Люминесцентно-битуминологический метод в нефтяной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1957. 291 с.

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

Фролов В. Т. Циклы и циклиты – атрибуты геологических процессов и формаций // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 1998. № 2. С. 3-11.

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

Хабаров А. В. Методика интерактивного петрофизического моделирования недонасыщенных залежей нефти (по данным керна, ГИС и истории разработки месторождений Салымской группы): автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 31 с.

Хаин В. Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1973. 510 с.

Хаин В. Е. Учение о геологических формациях на современном этапе // Изв. АН СССР. Геология. 1980. № 11. С. 5-18.

Хаин В. Е. Крупномасштабная цикличность в тектонической истории Земли и ее возможные причины // Геотектоника. 2000. № 6.

Хайдеггер М. Работы и размышления разных лет: пер. с нем. М.: Гнозис, 1993. 464 с.

Хакен Г. Синергетика: пер. с англ. М.: Мир, 1980. 404 с.

Ханин А. А. Породы-коллекторы нефти и газа. М.: Недра, 1969. 368 с.

Харбух Дж., Бонэм-Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии: пер. с англ. М.: Мир, 1974. 319 с.

Хасанова К. А., Митяев М. Ю. Методика построения геологической модели нефтяного коллектора (на примере пласта $БП_{11}$ Вынгаяхинского месторождения, Западная Сибирь) // Литосфера. 2014. № 4. С. 106-112.

Хисамутдинов Н. И., Мустаева Э Р., Гильманова Р. Х. и др. Уточнение геологического строения пласта $АВ_1^{1-2}$ типа «рябчик» способом разукрупненной корреляции с целью эффективного применения ГТМ // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2010. № 1. С. 39-45.

Холодов В. Н. Типы элизионных систем и связанные с ними месторождения полезных ископаемых // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2013. № 3. С. 5-41.

Храмцова А. В., Карпова М. С. Фациально-циклический анализ отложений тюменской свиты Каменной площади (Западная Сибирь) // Современные проблемы седиментологии в нефтегазовом инжиниринге. Томск: Изд-во ЦППС НД, 2017. С. 137-142.

Цейслер В. М. Геологические формации. Вопросы выделения и тектонического анализа. М.: Наука, 1979. 80 с.

Чернова Г. А., Тугарева А. В. Вещественный состав продуктивных коллекторов в доюрских отложениях на территории ХМАО-Югры // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры (Шестнадцатая научно-практ. конф.). Ханты-Мансийск, 2013. Т. 2. С. 230-241.

Чернова Л. С., Иванова Н. А. Терригенно-минералогические модели генетических типов пород для прогноза развития коллекторов (на примере нефтегазоносных районов Западной Сибири) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2011. № 1(5). С. 8-16.

Чернова О. С. Литолого-фациальный и формационный анализ нефтегазоносных толщ. Томск: Изд-во ЦППС НД, 2007. 258 с.

Чернова О. С. Основы геологии нефти и газа: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 372 с.

Чернова О. С. Седиментология резервуара: учебное пособие по короткому курсу. Томск: Изд-во ЦППС НД, 2008. 295 с.

Чернова О. С. Палеогеографические условия формирования верхнеюрских отложений Усть-Тымской впадины (Томская область) // Известия ТПУ. 2010. Т. 316. № 1. С. 72-79.

Чернова О. С. Фациально-циклический анализ юрской продуктивной толщи юго-востока Западно-Сибирской плиты // Литология и геология горючих ископаемых. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. Вып. IV (20). С. 83-92.

Чернова О. С. Обстановки седиментации терригенных природных резервуаров: учебное пособие. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 108 с.

Чернова О. С., Клименко А. В. Моделирование литолого-петрографической зональности Двуреченско-Крапивненской зоны нефтегазонакопления // Литология и геология горючих ископаемых. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. Вып. III (19). С. 99-110.

Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976. 366 с.

Чухланцева Е. Р. Комплексирование методов литофациального и геолого-геофизического моделирования в целях геометризации верхнесеноманских залежей Мессояхской зоны нефтегазонакопления: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Томск, 2016. 197 с.

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

Шарапов И. П. Метагеология. М.: Наука, 1989. 208 с.

Шарф И. В., Борзенкова Д. Н. Трудноизвлекаемые запасы нефти: понятие, классификационные подходы и стимулирование разработки // Фундаментальные исследования. 2015. № 2 (часть 16). С. 3593-3597.

Шатский Н. С. Аманц Грессли // Портреты геологов. М.: Наука, 1986. С. 184-198.

Шванов В. Н. Песчаные породы и методы их изучения. Л.: Недра, 1969. 248 с.

Шванов В. Н. Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л.: Недра, 1987. 269 с.

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

Шванов В. Н. Из истории литологии. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000. 66 с.

Швецов М. С. Петрография осадочных пород. М.: Госгеолиздат, 1958. 416 с.

Шеремета О. О., Тронов Ю. А., Федоровский Ю. Ф. и др. Перспективы открытия новых месторождений нефти и газа на Северном Сахалине // Геология нефти и газа. 1981. № 2.

Шишлов С. Б. Структурно-генетический анализ осадочных формаций. СПб.: Изд-во СПГГИ, 2010. 276 с.

Шишлов С. Б. Позднеаптские речные долины в пределах Красноленинского свода Западной Сибири (верификация сейсмофациальной модели результатами структурно-генетического анализа кернового материала) // Осадочные комплексы Урала и прилежащих регионов и их минерагения. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. С. 289-292.

Шрок Р. Последовательность в свитах слоистых пород: пер. с англ. М.: Изд-во ин. лит., 1950. 564 с.

Шубин С. В. Скорость накопления осадочных отложений по данным палеонтологии // Альманах «Божественное откровение и современная наука». М.: Паломник, 2001. С. 123-193.

Шульга В. Ф. Нижнекарбоновая угленосная формация Донецкого бассейна. М.: Наука, 1981. 176 с.

Шульц С. С. Тектоника земной коры (на основе анализа новейших движений). Л.: Недра, 1979. 272 с.

Шумилова Е. В. Материалы к литолого-минералогической характеристике четвертичных отложений Усть-Енисейского района // Неогеновые и четвертичные отложения Западной Сибири. М.: Наука, 1968. С. 112-131.

Эттингер И. Л. Необъятные запасы и непредсказуемые катастрофы (твердые растворы газов в недрах Земли). М.: Наука, 1988. 175 с.

Юдович Я. Э. Геохимия ископаемых углей. (Неорганические компоненты). Л.: Наука, 1978. 262 с.

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

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

Яковец Ю. В., Гамбурцев А. Г. Цикличность как всеобщее свойство природы // Вестник РАН. 1996. Т. 66, № 8. С. 729-735.

Яншин А. П. Николай Сергеевич Шатский // Портреты геологов. 1986. С. 7-50.

Япаскурт О. В. Предметаморфические изменения осадочных пород в стратисфере: Процессы и факторы. М.: ГЕОС, 1999. 260 с.

Япаскурт О. В. Генетическая минералогия и стадиальный анализ процессов осадочного породо- и рудообразования: уч. пособие. М.: ЭСЛАН, 2008а. 356 с.

Япаскурт О. В. Литология: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Изд. центр «Академия», 2008б. 336 с.

Allen P., Allen J. Basin analysis: principles and applications. Blackwell Sc. Pub. 2005. 560 p.

Amato I. Animating the material world // Science. 1992. V. 255. P. 284-286.

Augsburg T. Becoming Interdisciplinary: An Introduction to Interdisciplinary Studies. Dubuque, Iowa: Kendall Hunt Publ. Comp. 2005. 178 p.

Baird G. C., Brett C. E. Submarine erosion on the anoxis sea floor: stratinome, paleoenvironmental and temporal significance of reworked pyrite-bone deposits. Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia. Geol. Soc. Spec. Publ. 1991. V. 58. P. 233-257.

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

Berlin I. The Hedgehog and the Fox; An Essay on Tolstoy's View of History. London: Weidenfeld & Nicolson. 1953. 96 p.

Bertalanffy L. fon. General System Theory // General Systems. 1956. Vol. 1.

Bertalanffy L. fon. General System Theory – A Critical Review // General Systems. 1962. Vol. VII. P. 1-20. См. также: Берталанфи Л. фон. Общая теория систем – критический обзор // Исследования по общей теории систем. М.: Прогресс. 1969. С. 28-82.

Bevis K. A. The Geology of Sedimentary Rocks // In the Playground of Giants. 2013. e.a.

Bhatia M. R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // J. Geol. 1983. V. 91. № 6. P. 611-627.

Bjorlikke K. Sedimentology and petroleum geology. Berlin-Heidelberg: Springer. 1989. 369 p.

Börner K. Mapping the Structure and Evolution of Science // School of Library and information Science. Indiana University. 2006. 58 p.

Boyack K. W., Klavans R., Börner K. Mapping the backbone of science // Scientometrics. 2005. Vol. 64. N 3. P. 351-374.

Browning T. J., Bouman H. A., Martinez-Vicente V., Stone K. Volcanic ash supply to the surface ocean – remote sensing of biological responses and their wider biogeochemical significance // Frontiers in Marine Science. March 2015. V. 2. Article 14. 22 p.

Catuneanu O. Sequence stratigraphy of clastic systems: Concepts, merits and pitfalls // J. of African Earth Sciences. 2002. 35 (1). P. 1-43.

Chamberlin T. C. Diastrophism and the Formative Processes. VI: Forest Beds and Slope Deposits // Journal of Geology. 1914. vol. 22. iss. 3. P. 268-274.

Cheel R. J. Introduction to Clastics Sedimentology. Brock Univ. St. Catharines, Ontario, Canada. 2005. 129 p.

Clarke E. M., Emerson E. A. Synthesis of synchronization skeletons for branching time logic / Logic of Programs, LNCS 131. 1981. P. 52-71.

Converging Technologies for Improving Human Performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. Edited by Mihail C. Roco and William Sims Bainbridge, National Science Foundation. Report. 2002. 482 p.

Curray J. R. Tracing sediment masses by grain size modes // Report of the Twenty-First Session Norden. Jnt. Geol. Congr. Copengagen. 1960. P. 119-130.

Dalrymple R. W. *Incised* Valleys in time and space: an introduction to the volume and an examination of the controls on valley formation and filling in Incised valleys in time and space // Incised Valleys in Time and Space. Tulsa. USA. 2006. P. 5-14.

Dalrymple R. W., *Leckie* D. A., Tillman R. W., eds. *Incised*-Valleys Systems in Space and Time. Soc. Sediment. Geol. (SEPM) Spec. Publ. 85. 2006. 348 p.

Dalrymple R. W., Zaitlin B. A., Boyd R. A conceptual model of estuarine sedimentation // J. of Sed. Petrology. 1992. V. 62. P. 1130-1146.

De Geer G. A. Geochronology of the last 12 000 years // 11 Congres Geologique Internationale, Comptes Rendues. Stockholm. 1912. P. 241-253.

Dott R. H. Episodic sedimentation – how normal is average? How rare is rare? Does it matter? // J. Sediment. Petrol. 1983. V. 53. N 1. P. 5-23.

Dumas S., Arnott K. W. C. Origin of hummocky and swaley cross-stratification – The controlling influence of unidirectional current strength and aggradation rate // Geology, 2006. V. 34. N 12. P. 1073-1076.

Dunham R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture // Classification of carbonate rocks: American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1962. P. 108-121.

Einsele G. Sedimentary basins: Evolution, facies and sediment budget. Springer, 1992. 628 p. 2nd. 2000.792 p.

Embry A. F., Klovan J. E. A Late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island. NWT // Canadian Petroleum Geology Bulletin. 1971. V. 19. P. 730-781.

Ettenson E. R., Lierman R. T., Mason C. E. Upper Devonian-Lower Mississippian clastic rocks in northeastern Kentucky: Evidence for Acadian alpine glatiation and models for source-rock and reservoir development in the eastern United State // Amer. Inst. Prof. Geol.- Kentucky Section. 2009. Apr. 18. 59 p.

Fitcher L. S., Poche D. J. Ancient environments and the interpretation of geologic History. 3rd Ed. Printice-Hall Upper Saddle River. New Jersey. 2001. 309 p.

Folk R. L. Practical petrographic classification of limestones // American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 1959. V. 43. P. 1-38.

Folk R. L. Spectral subdivision of limestone types // Classification of carbonate Rocks-A Symposium: American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1962. P. 62-84.

Gall N., Newman D., Allega P., Lapkin A., Handler R. Introducing Thinking for Transformation, Innovation and Strategy // Gartner Research. 13.04.2010. 15 p.

Garzanti E., Vermeesch P., Ando S. Al-Juboury A.I.A. Provenance and recycling of Arabian desert sand // Earth-Science Reviews. 2013. P. 1-19.

Gilluly J. Distribution of mountain building in geologic time // Bull. Geol. Soc. Amer. 1949. V. 60. N 4. P. 561-590.

Harms J. C., Southard J. B. and Walker R. B. Structures and sequences in clastic rocks // Soc. of Economic, Mineralogists and Paleontologists Short Course. 1982. № 9. P. 8-51.

Heinz J., Aigner Th. Hierarchical dynamic stratigraphy in various Quaternary gravel deposits. Rhine glacier area (SW Germany): Implications for hydrostratigraphy // Int. J. Earth Sci. 2003. № 92. P. 923-938.

Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sed. Petrol. 1988. V. 58. P. 820–829.

Holditch S. A. The Increasing Role of Unconventional Reservoirs in the Future of the Oil and Gas Business // Journal of Petroleum Technology. 2003. № 3 (4). P. 340.

Ilichinski A. Land Warfare and Complexity. Part II: An Assessment of the Applicability of Nonlinear Dynamic and Complex Systems Theory to the Study of Land War-

fare. Alexandria, VA: Center for Naval Analyses, Research Memorandum CRM-68. July 1996. 162 p.

Jantsch E. The Self-organizing Universe. Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution. Pergamon Press. 1980. 370 p.

Jenkyns H. C. Pelagic environment // Sedimentary Environments and Facies. Ch. 11. Sec. edition / Ed. H.G. Reading. Oxf.-Lond.-Edinburg-Boston-Palo.-Alto-Melbourne: Blackwell Scientific Publication. 1986. P. 343-398.

Krassay A. A. Outcrop and drill core gamma ray logging integrated with sequence stratigraphy: examples from Proterozoic sedimentary successions of northern Australia // AGSO J. of Australian Geol. And Geoph. 1998. 17 (4). P. 285-299.

Lien T., Walker R. G., Martinson O. J. Turbidites in the Upper Carboniferous Ross Formation, western Ireland: reconstruction of a channel and spillover a system // Sedimentology. 2003. V. 50. P. 113-148.

Lucia F. J. Rock-Fabric / Petrophysical Classification of Carbonate Pore Space for Reservoir Characterization // AAPG Bull. 1995. V. 79. № 9. P. 1275-1300.

Mason D. T. Limnology of Mone Lake. California. Unviv Calif. Publ. Zool. 1967. V. 83. P. 1-110.

Milton N. J., Emery D. Outcrop and Well Data // Sequence Stratigraphy. Oxford, Blackwell Science. 1996. P. 61-79.

Moor R. C. Geological understanding of cyclic sedimentation represented by Pennsylvanian and Permian rocks of northern Mid-Continent region // Kans. Geol. Surv. 1959. P. 46-55.

Moriya S. Effective permeability to water in petroleum column from capillary pressure data: implications for hydrodynamic effects on capillary seal capacity // Petroleum Geoscience. 2011. V. 17. Iss. 4. P. 397-404.

Morsilli M., Pomar L. Internal waves vs. surface storm waves: a review on the origin of hummocky cross-stratification // Terra Nova. V. 24. Is. 4. P. 273-282.

Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.

Norretranders T. The User Illusion: Cutting Consciousness Down to Size. New York: Viking. 1998. 467 p. (См. также: Норретрандес Т. Иллюзия пользователя: Урезание сознания в размерах // www.rulit.me ... norretrandestor/illuziya polzovatelya...)

North American Stratigraphic Code. The Amer. Ass. of Petroleum Geol. Bull. 05. V. 89. № 11. P. 1547-1591.

North C. P., Hote M. J., Jones D. G. Geochemical correlation in deltaic successions: A reality check // Geol. Soc. of Amer. Bull. 2005. V. 117. no 5/6. P. 620-632.

Olivarius M., Weibel R., Hjuler M. L. e.a. Diagenetic effects on porosity-permeability relationships in red beds of the Lower Triassic Bunter Sandstone Formation in the North German Basin // Sed. Geology. 2015. № 321. P. 139-153.

Parsons B., Sclater J. G. An analysis of the Variation of Ocean Floor Bathymetry and Heat Flow with Age // J. Geophys. Res. 1977. V. 82. P. 803-827.

Patruno S., Hampson C. J., Jackson A-L. Quantitative characterization of deltaic and subaqueous clinoforms // Earth-Science Reviews. 2015. V. 142. P. 79-119.

Powell T. G., Snowdon L. R. A composite hydrocarbon generation model implications for evaluation of basins for oil and gas // Erdőlund Kohle, Erdgas, Petroleum. Brennst-Chem. 1983. V. 36 (4). P. 163-170.

Quielle J., Sifakis J. Specification and verification of concurrent systems in CE-SAR / Proceeding 5-th International Symposium on Programming, LNCS 137. 1982. P. 337-351.

Reijers T. J. A. Stratigraphy and Sedimentology of the Niger Delta // Geologos, 2011. 17(3). P. 133-162.

Rössler O. E. Endophysics: The World as an Interface. Singapore: World Scientific. Publ. Comp. 1998. 204 p.

Sargent R. G. Verification and Validation of Simulation Models. Proc. Of 1998 Winter Simulation Conf. 1998. P. 121-130. (То же: 2009. p. 162-176; 2011. P. 183-189 и др.).

Seilacher A. Bathymetry of trace fossils // Marine Geology, 1967. N 5. P. 413-428.

Senkayi A. L., Dixon J. B., Hossner L. R., Abder-Ruhman M., Fanning D. S. Mineralogy and genetic relationships of tonstein, bentonite and lignitic strata in the eocene Yegua Formation of East-Central Texas // Clays and Clay Minerals. 1984. V. 32. № 4. P. 259-271.

Serra O. Sedimentary Environments from Nireline Logs. Schlumberger. Houston. 1985. 211 p. (рус. перевод на сайте Lithology.ru)

Sonnenberg S. A. The Giant Continuous Oil Accumulation in the Bakken Petroleum System, Williston Basin // Adapted from presentation at the AAPG DPA Playmaker, Calgary, Alberta. March 31. 2015. 87 p.

Soua M. Application on Facies Associations, Integrated Prediction Error Filter Analysis, and Chemostratigraphy to the Organic-Rich and Siliceous Cenomanian-Turonian Sequence, Bargou Area, Tunisia: Integrated Sequence Stratigraphic Analysis // J. of Geol. Research. Vol. 2012 (2012). Article ID 973195. 15 p.

Straaten L. M. J. U. van. Coastal barrier deposits in the south and north Holland – in particular in the area around Scheveningen and Ijmulden // Meded. Geol. Sticht. 1965. № 517. P. 41-75.

The COOP Guidelines for Risk Assessment of Petroleum Prospects. 2000. 35 p. (http://www.ccop.or.th/ppm/document/INWSI/INWSIDOCII_caluyong.pdf).

Turekian K.K. Oceans. Prentice-Hall. 1968.120 p.

Van Wagoneer J. C., Mitchum R. M., Campion K. M. and Rahmanian V. D. Siliciclastic Sequence Stratigraphy // Well logs, Cores and Outcrops, American Association of Petroleum Geologists, Methods in Exploration Series. Tulsa. № 7. 1990. 55 p.

Visher G.S. Grain size distribution and depositional process // J. Sed. Petrol. 1969. V. 39. P. 1074-1106.

Visser J. N. J., Young G. M. Major element geochemistry and paleoclimatology of the Permo-Carboniferous glaciogene Dwyka Formation and post-glacial mudrocks in Southern Africa // Palaeogeogr., Palaeoclimat,. Palaeoecol. 1990. V. 81. P. 49-57.

Walker R.G., James N. P. (Eds). Facies models response to sea-level change. Ontario: Geol. Assoc. of Canada, 1992. 409 p.

Walther J. Einleitung in die Geologie als historishe Wissenschaft. Bd. 1-3. Jena. 1893-1894. 1055 S.

Whelan J. K. When Seafloor Meets Ocean, The Chemistry Is Amazing. Oceanus magazine. 2004. V. 42. № 2. P. 66-71.

Wright V. P. A revised classification of limestones // Sed. Geol. 1992. V. 76. P. 177-185.

СОДЕРЖАНИЕ С ОДНОГО ВЗГЛЯДА

Часть I. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД 14
Часть II. ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 111
Часть III. ФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ 213
Часть IV. МЕТОДОЛОГИЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ТОЛЩ 307
Часть V. КОЛЛЕКТОРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (фациальный аспект) 414

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ СТРУКТУРНЫМИ БЛОКАМИ

ВВЕДЕНИЕ 5
Часть I. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД 14
РАБОТА С КЕРНОМ 16
РАБОТА С МИКРОСКОПОМ 36
ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 60
КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ 88
Часть II. ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 111
ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ 113
ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 133
ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ФАЦИИ 159
Континентальные обстановки 159
Переходная группа 177
Морские (бассейновые) обстановки 183
Часть III. ФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ 213
ВЕЩЕСТВО – ПЕРВАЯ КОНСТИТУТИВНАЯ СУБСТАНЦИЯ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ 221
СТРОЕНИЕ – ВТОРАЯ КОНСТИТУТИВНАЯ СУБСТАНЦИЯ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ 248
ИНДИКАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ 268
ОСАДОЧНЫЕ ФОРМАЦИИ И ОСАДОЧНЫЕ БАССЕЙНЫ 285
Часть IV. МЕТОДОЛОГИЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ТОЛЩ 307
ОСАДОЧНЫЕ БАССЕЙНЫ: ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 309
ЛИТОЛОГИЯ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ 357
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И НЕЛИНЕЙНАЯ ЛИТОЛОГИЯ 383
Часть V. КОЛЛЕКТОРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (фациальный аспект) 414
ЗАПАДНО-СИБИРСКИЙ ОСАДОЧНЫЙ МЕГАБАССЕЙН 416
НЕФТЕГАЗОЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ: ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ И ФАЦИАЛЬНЫЕ «ИЗЮМИНКИ» 440
К ПОИСКУ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ИЗМЕНЕНИЯХ ФАЦИАЛЬНОГО СОСТАВА 500
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 517

ПОЛНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3
ВВЕДЕНИЕ 5
В.1. Принципы представления информации и структура пособия 5
В.2. Осадочные породы, их формирование и изучение 8
В.3. Нефтегазовая литология: содержание пособия 10
Рекомендуемая литература по курсу «Нефтегазовая литология» 13
Часть I. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД 14
РАБОТА С КЕРНОМ 16
I.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 16
I.1.1. Иерархия слоевых единиц 16
I.1.2. Выделение слоев 18
I.1.3. Этапность и последовательность изучения керна 20
I.2. ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ: КОНСТИТУТИВНЫЕ ПРИЗНАКИ 22
I.2.1. Размерность частиц 22
I.2.2. Сортированность (соотношение фракций) 24
I.2.3. Текстура (слоистость) 25
I.2.4. Морфология 28
I.3. ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ: ИНДИКАТИВНЫЕ ПРИЗНАКИ 30
I.3.1. Растительные остатки 30
I.3.2. Ихнофоссилии и биотурбация 31
I.3.3. Карбонатность, конкреции и другие индикативные признаки 32
РАБОТА С МИКРОСКОПОМ 36
I.4. ПЕТРОГРАФИЯ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД 36
I.4.1. Состав песчаников 36
I.4.2. Классификации песчаников 38
I.4.3. Примеры песчаников и решаемых геологических задач 39
I.5. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ 41
I.5.1. Размерность частиц 41
I.5.2. Сортированность (соотношение фракций) 43
I.5.3. Интерпретация режимов седиментации 46
I.6. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ 48
I.6.1. Выделение фракций и определение минералов 48
I.6.2. Тяжелая фракция и терригенно-минеральные коэффициенты 50
I.6.3. Терригенно-минералогические ассоциации и провинции 52
I.7. СТАДИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 54
I.7.1. Общие представления; изменения кластолитов 54
I.7.2. Преобразования органического вещества 57
I.7.3. Сводная характеристика стадий литогенеза 59
ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 60
I.8. ХИМИЧЕСКИЙ (СИЛИКАТНЫЙ) АНАЛИЗ 60
I.8.1. Химический состав осадочных пород 60
I.8.2. Литохимия и петрохимические модули 62
I.8.3. Интерпретация результатов 64
I.9. ГЕОХИМИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ 66
I.9.1. Общие представления 66
I.9.2. Спектральный анализ 68
I.9.3. Масс-спектрометрия (ICP-MS) 69

I.9.4. Изотопный состав ... 72
I.10. ДРУГИЕ МЕТОДЫ ... 74
I.10.1. Термический анализ ... 74
I.10.2. Рентгеноструктурный анализ ... 75
I.10.3. Люминесцентно-битуминологический анализ ... 77
I.10.4. Электронная микроскопия ... 80
I.11. ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА ... 82
I.11.1. Основные параметры ... 82
I.11.2. Взаимосвязь и изменения пористости и проницаемости ... 83
I.11.3. Обобщенные параметры ... 86
КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ... 88
I.12. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ... 88
I.12.1. Подготовка данных и одномерная статистика ... 88
I.12.2. Двухмерные модели ... 91
I.12.3. N-мерные модели ... 93
I.13. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ... 95
I.13.1. Комплексирование описания керна и микроскопических методов ... 95
I.13.2. Комплексирование микроскопических и лабораторных методов ... 97
I.13.1. Разработка петрофизической модели «керн – ГИС» ... 99
I.14. РЕШЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ... 101
I.14.1. Общие представления ... 101
I.14.2. Традиционные способы обработки исходной информации ... 102
I.14.3. Нетрадиционные способы получения новой геологической информации ... 104
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА ... 108
Часть II. ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ... 111
ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ... 113
II.1. УЧЕНИЕ О ФАЦИЯХ В РЕТРОСПЕКТИВЕ ... 113
II.1.1. Аманц Грессли ... 113
II.1.2. Актуализм и униформизм (Первое Всесоюзное совещание по осадочным породам) ... 115
II.1.3. О «генетизме» в геологии ... 118
II.2. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ФАЦИЯХ ... 120
II.2.1. Полисемичная трактовка понятия «фация» ... 120
II.2.2. Рельеф как организующий фактор седиментогенеза ... 123
II.2.3. Ландшафт как распределяющий фактор седиментогенеза ... 126
II.3. ФАЦИЯ – «ПОРОДА» И ФАЦИЯ – «ОБСТАНОВКА» ... 127
II.3.1. Литофации ... 127
II.3.2. Сейсмофации ... 128
II.3.3. ГИС-фации ... 130
ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ... 133
II.4. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ... 133
II.4.1. Методы фациальных реконструкций ... 133
II.4.2. Первый этап – установление диагностических признаков ... 134
II.4.3. Второй этап – определение генезиса отложений ... 136
II.5. ФАЦИАЛЬНОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ ... 139
II.5.1. Примеры классификаций ... 139
II.5.2. Сопоставление и детализация схем фациального расчленения терригенных (угленосных) отложений) ... 142

II.5.3. Предлагаемая классификация ... 145
II.6. ПРОВЕРКА (ВЕРИФИКАЦИЯ) ФАЦИАЛЬНЫХ РЕКОНСТРУКЦИЙ ... 147
II.6.1. Общие положения ... 147
II.6.2. «Внутренняя» верификация ... 149
II.6.3. «Внешняя» верификация ... 150
II.7. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ... 153
II.7.1. Колонки скважин (1D) ... 153
II.7.2. Разрезы и карты (2D) ... 156
II.7.3. Блок-диаграммы (3D) ... 158
ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ФАЦИИ ... 159
КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ ОБСТАНОВКИ ... 159
II.8. ЛЕДНИКОВЫЕ (ГЛЯЦИАЛЬНЫЕ) И ДЕЛЮВИАЛЬНО-ПРОЛЮВИАЛЬНЫЕ ОБСТАНОВКИ ... 159
II.8.1. Гляциальные и перигляциальные обстановки ... 159
II.8.2. Коллювиально-делювиальные обстановки ... 161
II.8.3. Пролювий ... 163
II.9. АЛЛЮВИЙ ... 165
II.9.1. Общие представления и механизм формирования ... 165
II.9.2. Основные виды речных систем ... 168
II.9.3. Пойма и общая типизация аллювия ... 170
II.10. ОЗЕРНЫЕ, БОЛОТНЫЕ И ЭОЛОВЫЕ ОБСТАНОВКИ ... 171
II.10.1. Озера ... 171
II.10.2. Болота ... 174
II.10.3. Эоловые обстановки ... 175
ПЕРЕХОДНАЯ ГРУППА ... 177
II.11. ЗАЛИВЫ И ДЕЛЬТЫ ... 177
II.11.1. Заливно-лагунное побережье ... 177
II.11.2. Дельты (подводная часть) ... 179
II.11.3. Эстуарии ... 182
МОРСКИЕ (БАССЕЙНОВЫЕ) ОБСТАНОВКИ ... 183
II.12. МЕЛКОВОДЬЕ ... 183
II.12.1. Схемы типизации ... 183
II.12.2. Приливно-отливное (полуизолированное) мелководье ... 184
II.12.3. Открытое (подвижное) мелководье ... 186
II.13. ОТКРЫТЫЙ БАССЕЙН ... 189
II.13.1. Зерновые потоки ... 189
II.13.2. Турбидиты ... 190
II.13.3. Фации океанов ... 193
II.14. МЕЛКОВОДНЫЕ МОРСКИЕ КАРБОНАТНЫЕ ОБСТАНОВКИ ... 195
II.14.1. Общие представления ... 195
II.14.2. Побережья с карбонатной седиментацией ... 198
II.14.3. Рифы ... 200
II.15. ИНЫЕ ОБСТАНОВКИ ... 202
II.15.1. Красноцветные и пестроцветные толщи ... 202
II.15.2. Эвапориты ... 204
II.15.3. Обстановки вулканогенных областей ... 206
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА ... 209

Часть III. ФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ 213
III.1. ФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И ОСАДОЧНЫЕ ФОРМАЦИИ 215
III.1.1. Формационные идеи: история и направления исследований 215
III.1.2. Формации в ранговой шкале геологических тел 217
III.1.3. Осадочные формации – формационный анализ 219
ВЕЩЕСТВО – ПЕРВАЯ КОНСТИТУТИВНАЯ СУБСТАНЦИЯ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ 221
III.2. ПРОИСХОЖДЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД 221
III.2.1. Формирование осадочной оболочки Земли 221
III.2.2. Классификации осадочных пород 224
III.2.3. Распространение осадочных пород 226
III.3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД 227
III.3.1. Формирование терригенных (кварц-силикатных) и карбонатных пород 227
III.3.2. Карбонатолиты: происхождение 228
III.3.3. Классификации карбонатолитов 230
III.4. ДРУГИЕ ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ 233
III.4.1. Алферманголиты 233
III.4.2. Силициты (кремнистые породы) 235
III.4.3. Фосфориты 237
III.4.4. Эвапориты 239
III.5. ОСОБЫЕ ТИПЫ ПОРОД 241
III.5.1. Биогенные (кроме карбонатных) породы: каустобиолиты 241
III.5.2. Нафтиды 243
III.5.3. Вулканогенно-осадочные породы 246
СТРОЕНИЕ – ВТОРАЯ КОНСТИТУТИВНАЯ СУБСТАНЦИЯ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ 248
III.6. ЦИКЛИЧНОСТЬ: ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ 248
III.6.1. «Всюдность» цикличности 248
III.6.2. Основные понятия цикличности в геологии 250
III.6.3. Иерархия – главная характеристика циклогенеза 252
III.6.4. Причины и законы формирования цикличности 255
III.7. ЦИКЛИЧНОСТЬ «ПРОСТАЯ» (РИТМИЧНОСТЬ) И «МЕХАНИЗИРОВАННАЯ» 258
III.7.1. Ритмиты и литоритмы 258
III.7.2. «Треугольниковая» цикличность 260
III.8. ФАЦИАЛЬНО-ЦИКЛИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (ФЦА) 262
III.8.1. Мыслить циклами 262
III.8.2. Выделение циклов 264
III.8.3. Значимость и перспективность изучения цикличности 267
ИНДИКАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ 268
III.9. СКОРОСТЬ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ 268
III.9.1. Осаждение материала и общие представления о скоростях 268
III.9.2. Скорости современной и древней седиментации 270
III.9.3. Лавинная седиментация 273
III.10. ПЕРЕРЫВЫ В ОСАДКОНАКОПЛЕНИИ 274

III.10.1. Несогласия и значение перерывов ... 274
III.10.2. Перерывы стратиграфические (гиатусы) и седиментологические (диастемы) ... 276
III.10.3. Конденсированные разрезы и раннедиагенетические перерывы ... 278
III.10.4. Классификация перерывов и «формации-фантомы» ... 280
III.11. УПЛОТНЕНИЕ ПОРОД ... 281
III.11.1. Процесс и результаты уплотнения пород ... 281
III.11.2. Геологические наблюдения и реконструкции ... 283
ОСАДОЧНЫЕ ФОРМАЦИИ И ОСАДОЧНЫЕ БАССЕЙНЫ ... 285
III.12. ВЫДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ ... 285
III.12.1. Границы и внешние характеристики осадочных формаций ... 285
III.12.2. Классификации и распространение осадочных формаций ... 287
III.12.3. Осадочные формации и полезные ископаемые ... 289
III.12.4. Этажность строения и моделирование угленосных толщ ... 291
III.13. ОСАДОЧНЫЕ ФОРМАЦИИ В РАМКАХ ФИКСИЗМА ... 293
III.13.1. Геосинклинальная концепция ... 293
III.13.2. Осадочные формации с «вертикалистских» позиций ... 295
III.14. ПЛЕЙТ-ТЕКТОНИКА И ЛИТОГЕОДИНАМИКА ... 297
III.14.1. Тектоника литосферных плит ... 297
III.14.2. Осадочные бассейны ... 299
III.14.3. Литогеодинамика ... 301
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА ... 304
Часть IV. МЕТОДОЛОГИЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ТОЛЩ ... 307
ОСАДОЧНЫЕ БАССЕЙНЫ: ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ... 309
IV.1. ЛИТОГЕОДИНАМИКА ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ... 309
IV.1.1. Иерархические системы ... 309
IV.1.2. Классификация осадочных бассейнов и их строение ... 311
IV.1.3. Осадочные бассейны России ... 313
IV.2. ТЕКТОНИКА И ЛИТОЛОГИЯ ... 314
IV.2.1. Конседиментационная тектоника ... 314
IV.2.2. Блоковая тектоника ... 316
IV.2.3. Коэволюция процессов текто- и седиментогенеза ... 318
IV.3. СТРАТИГРАФИЯ И ЛИТОЛОГИЯ ... 320
IV.3.1. Структура и принципы стратиграфии ... 320
IV.3.2. Геологическое время и стратиграфические шкалы ... 322
IV.3.3. Основные (региональные и местные) стратиграфические подразделения ... 324
IV.4. КОРРЕЛЯЦИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ... 326
IV.4.1. Исходные положения ... 326
IV.4.2. Построение разрезов ... 328
IV.4.3. Сопоставление колонок скважин ... 330
IV.5. ОСНОВНОЙ ФАЦИАЛЬНЫЙ ЗАКОН ... 332
IV.5.1. История открытия закона ... 332
IV.5.2. Значение закона (диахронность слоевых единиц) ... 334
IV.5.3. Современные представления ... 336
IV.6. СЕКВЕНСНАЯ СТРАТИГРАФИЯ ... 338
IV.6.1. Общие положения и исходные представления ... 338

IV.6.2. Сиквенсы и парасиквенсы 340
IV.6.3. Сиквенсы, фации и формации 344
IV.7. УСЛОЖНЕНИЯ ПРИ КОРРЕЛЯЦИИ: РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ 345
IV.7.1. Зубчатость латеральных границ 345
IV.7.2. Инверсия и трансляция коллекторов 347
IV.7.3. Модельные представления и практическое использование сведений о диахронности слоевых единиц 349
IV.8. ЛИТОЛОГИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ 351
IV.8.1. Структура и методы палеогеографии 351
IV.8.2. Палеогеографические карты 353
IV.8.3. Литолого-фациальные карты 355
ЛИТОЛОГИЯ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ 357
IV.9. НЕФТЕГАЗОНОСНЫЕ БАССЕЙНЫ; ФЛЮИДОДИНАМИКА 358
IV.9.1. Общие представления 358
IV.9.2. Флюидодинамика в осадочно-породных бассейнах 360
IV.9.3. Литофизическая зональность 362
IV.10. КОЛЛЕКТОРЫ НЕФТИ И ГАЗА 364
IV.10.1. Общие представления 364
IV.10.2. Терригенные коллекторы 366
IV.10.3. Карбонатные коллекторы 368
IV.11. РЕЗЕРВУАРЫ, ЛОВУШКИ И ЗАЛЕЖИ НЕФТИ И ГАЗА 370
IV.11.1. Природные резервуары 370
IV.11.2. Ловушки углеводородов 372
IV.11.3. Залежи нефти и газа 374
IV.12. НЕТРАДИЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ И ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫЕ ЗАПАСЫ 376
IV.12.1. Общие представления; терминология 376
IV.12.2. Сланцевый газ и сланцевая нефть 378
IV.12.3. Угольный метан и газогидраты 380
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И НЕЛИНЕЙНАЯ ЛИТОЛОГИЯ 383
IV.13. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ 383
IV.13.1. Общая теория систем; системность в геологии 383
IV.13.2. Геологическое моделирование 385
IV.13.3. 3D-моделирование и четырехмерные модели 388
IV.13.4. Марковские процессы 390
IV.14. ПРОВЕРКА ПОСТРОЕНИЙ И РЕКОНСТРУКЦИЙ 392
IV.14.1. Верификация 392
IV.14.2. Валидация 394
IV.15. ЛИТОЛОГИЯ В РАКУРСЕ СМЕНЫ ПАРАДИГМ 396
IV.15.1. Общие представления 396
IV.15.2. Смена парадигм в геологии и «золотые гвозди» нелинейной литологии 399
IV.15.3. Нелинейно-литологические модели 401
IV.15.4. Самоорганизованная критичность; режимы с обострением 403
IV.16. ЛИТОЛОГИЯ В ТРАНСДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ 405
IV.16.1. NBICS-конвергенция 405
IV.16.2. Литология в рамках междисциплинарных исследований 407
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА 410

Часть V. КОЛЛЕКТОРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (фациальный аспект) 414
ЗАПАДНО-СИБИРСКИЙ ОСАДОЧНЫЙ МЕГАБАССЕЙН 416
V.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ; СТРАТИГРАФИЯ 416
V.1.1. Общие сведения 416
V.1.2. Стратиграфия 418
V.1.3. Кризисная ситуация в «свитной» стратиграфии 420
V.2. ТЕКТОНИКА 422
V.2.1. Тектоническое строение фундамента 422
V.2.2. Тектоническое строение осадочного чехла 424
V.2.3. Некоторые закономерности и особенности тектонического строения Западной Сибири 426
V.3. НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ 428
V.3.1. Общие сведения и распределение промышленных объектов 428
V.3.2. Коллекторы нефти и газа 430
V.3.3. Нефтегазоносность и угленасыщенность 431
V.4. ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ 433
V.4.1. Основные комплекты палеогеографических карт Западной Сибири 433
V.4.2. Палеогеографические реконструкции для перестроек режима осадконакопления 439
НЕФТЕГАЗОЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ: ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ И ФАЦИАЛЬНЫЕ «ИЗЮМИНКИ» 440
V.5. ДОЮРСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И НИЖНЯЯ ЗОНА КОНТАКТА 440
V.5.1. Общие представления; внутренний палеозой 440
V.5.2. Триасовый нефтегазоносный комплекс 442
V.5.3. Кора выветривания (зона контакта юрского чехла с породами фундамента) 445
V.6. ЮРСКАЯ СИСТЕМА В ЦЕЛОМ И НИЖНЕЮРСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ .. 447
V.6.1. Разрастание территории осадконакопления; индексация коллекторов 447
V.6.2. «Наращивание» нижней части разреза 449
V.6.3. Речные системы нижнеюрских коллекторов ($Ю_{10}$, $Ю_{11}$) 450
V.7. ТЮМЕНСКАЯ СВИТА (СРЕДНЯЯ ЮРА БЕЗ КЕЛЛОВЕЯ) 452
V.7.1. Связующее звено в раннемезозойском торфо(угле)накоплении 452
V.7.2. Модели литоциклов 454
V.7.3. Верификация представлений 456
V.8. ВАСЮГАНСКИЙ ГОРИЗОНТ (КЕЛЛОВЕЙ – ОКСФОРД) 458
V.8.1. Контакт нижнеплитного и плитного комплексов: вогулкинская толща (коллектор П); пахомовская пачка (коллектор $Ю_2^0$) 458
V.8.2. Строение васюганского горизонта 460
V.8.3. Палеогеографические реконструкции 461
V.9. БАЖЕНОВСКО-АБАЛАКСКИЙ КОМПЛЕКС (БАК) 464
V.9.1. Общие представления 464
V.9.2. Строение и палеогеография (коллектор $Ю_0$) 465
V.9.3. Аномальный разрез баженовской свиты (АРБ) 468
V.10. АЧИМОВСКАЯ ТОЛЩА 470
V.10.1. Общие представления 470
V.10.2. Турбидитная концепция 471
V.10.3. Мелководно-шельфовый вариант 474

V.11. НЕОКОМСКИЙ КОМПЛЕКС (ОСЛОЖНЕННЫЙ ПОДКОМПЛЕКС) 476
V.11.1. Общие представления ... 476
V.11.2. Основные модели осадконакопления ... 478
V.11.3. Петрофизическая характеристика фаций ... 481
V.12. НЕОКОМСКИЙ КОМПЛЕКС (НЕОСЛОЖНЕННЫЙ ПОДКОМПЛЕКС) ... 482
V.12.1. Континентальные отложения ... 482
V.12.2. Эволюция палеоландшафтов ... 483
V.12.3. Горизонт $АВ_1^{1-2}$ («рябчик») ... 485
V.13. АПТСКИЙ КОМПЛЕКС ... 488
V.13.1. Викуловская свита ... 488
V.13.2. «Врезанные долины» ... 489
V.13.3. Состав и строение отложений (фациально-циклический анализ) ... 491
V.14. АЛЬБ-СЕНОМАНСКИЙ КОМПЛЕКС ... 494
V.14.1. Общие представления ... 494
V.14.2. Фациальные реконструкции разными методами ... 496
V.14.3. Литолого-фациальный анализ пластов $ПК_{1-3}$ ... 498
К ПОИСКУ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ИЗМЕНЕНИЯХ ФАЦИАЛЬНОГО СОСТАВА ... 500
V.15. ОТЛОЖЕНИЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ... 500
V.15.1. Исходные представления ... 500
V.15.2. Временны́е и латеральные изменения фациального состава ... 502
V.15.3. Псевдо-«базальные горизонты» ... 505
V.16. В ПОИСКЕ ОБЩЕГО ДЛЯ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ... 506
V.16.1. Методологические аспекты ... 506
V.16.2. Фациальный анализ в рамках NBICS-конвергенции ... 507
V.16.3. Фация как интерфейс между наблюдателем и геологическим прошлым ... 510
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА ... 513
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ... 517
Зак.1. Объект исследования ... 517
Зак.2. Средства исследования ... 519
Зак.3. Субъект (исследователь) ... 521
ПРЕДМЕТНЫЙ СЛОВАРЬ ... 523
СПИСОК ПРИВЕДЕННЫХ БИОГРАФИЙ ... 542
ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ ... 543

Заявки на книгу направлять по адресу:
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Кафедра литологии и геологии горючих ископаемых
e-mail: igg.lggi@ursmu.ru

Учебное издание

Валерий Порфирьевич АЛЕКСЕЕВ,
доктор геолого-минералогических наук, профессор

НЕФТЕГАЗОВАЯ ЛИТОЛОГИЯ

Учебное пособие

Редактор изд-ва Л. В. Устьянцева
Компьютерная верстка и макетирование Т. С. Мызниковой

Подписано в печать 12.12.2018 г.
Бумага офсетная. Формат 60×84 $^{1}/_{8}$. Печать офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 72,0. Уч.-изд. л. 48,2. Заказ №

Издательство Урал. гос. горного университета
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Отпечатано с оригинал-макета в типографии
ООО “ИРА УТК”
Адрес: 620089, г. Екатеринбург, ул. Луганская, 59/4
Тел.: (343) 221-36-06

АЛЕКСЕЕВ
Валерий Порфирьевич
Профессор кафедры литологии и геологии горючих ископаемых Уральского гос. горного университета
Доктор геолого-минералогических наук
Автор и соавтор более 400 научных и учебно-методических работ, включая 19 монографий и учебных пособий
Основные научные интересы: литология, геология горючих полезных ископаемых (нефть, газ, уголь)
E-mail: igg.lggi@ursmu.ru; alekseevvp48@mail.ru. Сайт: alekseevvp.ru